



**T.C.**

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**



**AYRIK ÇİFT YILDIZ BİLEŞENLERİ ÜZERİNE**

**ATMOSFER VE EVRİM MODELLERİ**

**UYGULAMALARI**

**Fahri ALIÇAVUŞ**

**Fizik Anabilim Dalı**

**ÇANAKKALE**

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

**AYRIK ÇİFT YILDIZ BİLEŞENLERİ ÜZERİNE**  
**ATMOSFER VE EVRİM MODELLERİ**  
**UYGULAMALARI**

**Fahri ALİÇAVUŞ**

**Fizik Anabilim Dalı**

Tezin Sunulduğu Tarih: **22/02/2018**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN**

**ÇANAKKALE**

Fahri ALIÇAVUŞ tarafından Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN yönetiminde hazırlanan ve **22/02/2018** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Ayrık Çift Yıldız Bileşenleri Üzerine Atmosfer ve Evrim Modelleri Uygulamaları**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **DOKTORA TEZİ** olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

Prof. Dr. Selçuk BİLİR .....

**Başkan**

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN .....

**Üye**

Prof. Dr. Ahmet ERDEM .....

**Üye**

Prof. Dr. İbrahim BULUT .....

**Üye**

Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI .....

**Üye**

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FDK-2016-860. Ayrıca, TÜBİTAK tarafından, 111T224 numaralı proje ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi RTT150 (1.5-m Rus-Türk Teleskopu) kullanımında, 09ARTT150-463-0 ve 10ARTT150-490-0 numaralı projeler ile kısmi olarak desteklenmiştir.

## İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



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

Fahri ALİÇAVUŞ



## TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN'a, FDK-2016-860 nolu proje kapsamında tez çalıŐmalarıma katkıda bulunan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi'ne sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Ayrıca, T122 ve İST60 teleskoplarıyla verilerin alınmasında büyük katkılar sunan Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevine, kısmi destekleri için DPT (p.no: DPT-2007K120660) ve İstanbul Üniversitesi BAP birimine (p.no: 3685) teşekkür ederim. Son olarak, çalıŐmalarım süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunarım.

Fahri ALİÇAVUŞ  
anakkale, Őubat 2018

## SİMGELER VE KISALTMALAR

H-R	Hertzsprung-Russell
$\delta$ Sct	$\delta$ Scuti
$\gamma$ Dor	$\gamma$ Doradus
KIC	<i>Kepler</i> input catalog
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı
c/d	çevrim / gün
$T_{\text{eff}}$	Etkin sıcaklık
$\log g$	Yüzey çekim ivmesi
ODF	Opacity Distribution Function
OS	Opacity Sampling
$\xi$	Mikro türbülans hızı
$v \sin i$	Dönme hızı
Fe	Demir
SME	Spectroscopy Made Easy
VALD	Vienna Atomic Data base
$v_{\text{rad}}$	Dikine hız
[m/H]	Metal bolluğu
$P_{\text{orb}}$	Yörünge dönemi
$i$	Yörünge eğimi
$e$	Yörünge dışmerkezliği
$\omega$	En berinin boylamı
$\Omega_1$	Birinci bileşenin yüzey potansiyeli
$\Omega_2$	İkinci bileşenin yüzey potansiyeli
q	Kütle oranı $M_2/M_1$
L	Işıtma
x	Kenar karama katsayısı
g	Çekim karama katsayısı
A	Bolometrik albedo
S/G	Sinyal / Gürültü
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility

E(B-V)	Yıldızlar arası kızılillaşma
2MASS	Two Micron All-Sky Survey
R	Çözünürlük (Resolution)
mag	Kadir
GCPD	The General Catalogue of Photometrik Data
$M_{bol}$	Bolometrik parlaklık
a	Yarı-büyük eksen uzunluğu
f	Roche lobu doldurma oranı
V	Görsel parlaklık
Amp	Zonklama genliği
$f_{orb}$	Yörünge frekansı
p	Basınç modu
g	Çekim modu
$J_p$	Yörünge açısal momentumu
$V_\gamma$	Sistemin kütle merkezinin dikine hızı
M-L	Kütle-Işıtma
M-R	Kütle-Yarıçap
Z	Ağır element bolluğu
RLOF	Roche yüzeyi taşımları
Myıl	Milyon yıl
Gyıl	Milyar yıl
LMC	Büyük Macellan Bulutsusu
SMC	Küçük Macellan Bulutsusu
RGB	Kırmızı Dev Kolu
AGB	Asimtotik Dev Kolu
LBV	Yüksek ışıtmalı Mavi Değişen
WR	Wolf-Rayet

## ÖZET

### AYRIK ÇİFT YILDIZ BİLEŞENLERİ ÜZERİNE ATMOSFER VE EVRİM MODELLERİ UYGULAMALARI

Fahri ALİÇAVUŞ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi

Danışman : Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

22/02/2018, 153

Görünür evrenin temel bileşeni olan yıldızların nasıl evrimleştiklerini ve içyapılarını anlamamız, buldukları gökadalara oluşumunu ve evrimini anlamamızda oldukça önemlidir. Bu nedenle yıldızların temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi anahtar çalışma alanlarından birisidir. Bu çalışmada, seçilen dokuz adet ayırık örten çift sistemin detaylı analizleri yapılmış ve mutlak parametreleri elde edilmiştir. Seçilen sistemler için belirlenen kütleler,  $1 M_{\odot}$  ile  $4.8 M_{\odot}$  aralığında olup %0.5-3 duyarlılıkla belirlenmiştir. Seçilen yıldızlardan yeterli verisi bulunanların tayfsal analizleri yapılarak bileşenlerin ayrıştırılmış tayfları ayrı ayrı modellenmiştir. Ek olarak, ayırık çift yıldızlar kullanılarak fotometrik uzaklıklar ile Gaia ve Hipparcos ile elde edilen uzaklıklar karşılaştırılmış ve 300 pc üzeri uzaklıklarda Gaia ve fotometrik yolla belirlenen uzaklıkların daha güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bileşenler için belirlenen duyarlı atmosfer parametreleri kullanılarak oluşturulan tek ve çift yıldız evrim modelleri ele alınmıştır. Üretilen evrim modellerinde sistem yaşları 0.07 ile 4.5 milyar yıl aralığında değişmektedir. Ayrıca, tutulmalar dışındaki küçük genlikli etkiler incelenmiş ve ışık eğrisi üzerine etkileri tartışılmıştır. KIC 6525196 ve KIC 8043961 sistemlerinin leke modelleri ve zonklama yapıları ilk defa detaylı olarak araştırılmıştır ve KIC 8043961 üçlü sisteminde  $\gamma$  Doradus ve  $\delta$  Scuti türü zonklamalar keşfedilmiştir. Eksen dönmesi gösteren sistemlerinin yörünge dönem değişimleri incelenmiştir. Çift yıldız evrim modelleri kullanılarak üretilen kuramsal modeller yardımıyla yörünge dönemi, basıklık, dönme hızı ve manyetik frenleme etkilerinin modeller üzerindeki ve çift yıldızın yörünge evrimine etkileri tartışılmıştır. Ayrıca, duyarlı mutlak parametreleri bilinen ayırık çift yıldızlar kullanılarak yörünge açısal momentumuyla yörünge dönemi, kütle

ve yüzey çekim ivmesi arasındaki gözlemsel ilişkiler elde edilmiş ve kuramsal bağılıklar ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Çift Yıldızlar: Ayrık Çift Yıldızlar, Yıldızlar: Temel Parametreler, Atmosfer Özellikleri, Evrim



## ABSTRACT

### APPLICATIONS OF ATMOSPHERE AND EVOLUTION MODELS ON THE COMPONENTS OF DETACHED BINARIES

Fahri ALIÇAVUŞ

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Doctoral Dissertation in Natural Science

Advisor : Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

22/02/2018, 153

Understanding the evolution and the interior structure of stars are rather substantial to explain the formation and the evolution of galaxies. Therefore, determination of the fundamental parameters of stars is crucial. In this study, a comprehensive analysis of the selected nine systems is presented and the absolute parameters of the stars were derived. When the masses of the selected systems were examined, it turned out that their masses range approximately from 1 to 4.8  $M_{\odot}$  with the 0.5-3 % accuracy. If the examined stars have enough spectroscopic data, their spectroscopic analysis was carried out and the disentangled spectra of the stars were modelled. Additionally, using the detached binary stars, the photometric distances were determined and they were compared with the Gaia and Hipparcos distances. Using the determined accurate atmospheric parameters of each component, the evolutionary tracks of single and binary systems were examined. The age of the systems changes from 0.07 to 4.5 gigayear in the generated evolutionary tracks. Additionally, out of eclipse variations of the systems were investigated and the effect of these variations on the light curves was discussed. The pulsation and the surface spot examinations of KIC 6525196 and KIC 8043961 were performed at the first time in this study and  $\gamma$  Doradus and  $\delta$  Scuti type oscillations were found in the light curve of the triple system KIC 8043961 For the systems showing apsidal motions, the orbital period changes were investigated. The effect of orbital period, eccentricity, rotational velocity and magnetic breaking on the evolutionary tracks and the orbital evolution of the binary systems were discussed utilizing the theoretical models which were generated using the binary stars' evolutionary tracks. Furthermore, the correlations between the orbital angular momentum, orbital period, mass and surface gravity were obtained using the accurate absolute

parameters of the known detached systems. These correlations were also compared with the theoretical ones.

**Keywords:** Binary Stars: Detached Binary Stars, Stars: Absolute Parameters, Atmospheric Features, Evolution



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU .....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	v
ÖZET .....	vii
ABSTRACT.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xx
BÖLÜM 1 .....	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 .....	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	7
2.1. Mutlak Parametreler.....	7
2.2. Model Atmosferler .....	11
2.3. Tek ve Çift Yıldızlarda Evrim Modeli Çalışmaları.....	14
BÖLÜM 3 .....	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Gözlemsel Veriler .....	20
3.1.1. Yer Tabanlı Gözlemler .....	20
3.1.1.1. ÇAAM Verileri.....	21
3.1.1.2. Tayf Verileri.....	21
3.1.1.3. ASAS Verileri.....	22
3.1.2. Uydu Gözlemleri .....	23
3.1.2.1. Kepler Verileri.....	23
3.1.2.2. Hipparcos Verileri.....	23
3.2. Işık Eğrisi Analiz Yöntemleri .....	24
3.2.1. Wilson-Devinney Yazılımı.....	24
3.2.2. JKTEBOB Yazılımı.....	25
3.3. Zonklama Analiz Yöntemleri.....	26
3.3.1. Period04 Yazılımı.....	26
3.3.2. SigSpec Yazılımı .....	27
3.4. Tayf Analiz Yöntemleri .....	27
3.4.1. Ön İndirgeme ve Dikine Hız Ölçümü .....	28



3.4.2. Tayfsal Ayrıştırma .....	30
3.4.2.1. Korel Yazılımı.....	30
3.4.2.2. FDBinary Yazılımı.....	32
3.4.3. Taysal Sentezleme Yöntemi.....	32
3.4.3.1. SME Yazılımı.....	33
3.4.3.2. iSpec Yazılımı.....	33
3.5. Sentetik Evrim Modelleri .....	34
3.5.1. Y <sup>2</sup> Evrim Modelleri .....	34
3.5.2. MESA Yazılımı .....	34
3.6. Yörünge Dönem Değişimi Analiz Yöntemleri .....	35
3.7. Yörünge Açısal Momentum Hesaplamaları .....	38
BÖLÜM 4 .....	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	41
4.1. Işık Eğrisi ve Dikine Hız Analizleri .....	41
4.1.1. HD 350731 .....	41
4.1.2. KIC 6525196 .....	45
4.1.3. KIC 8043961 .....	52
4.1.4. V335 Ser .....	55
4.1.5. V397 Cep.....	59
4.1.6. V1385 Ori.....	63
4.1.7. HIP 25284.....	65
4.1.8. KIC 3327980 .....	67
4.1.9. KIC10156064 .....	69
4.2. Tutulmalar Dışındaki Işık Değişimlerinin İncelenmesi .....	70
4.2.1. KIC 6525196 .....	70
4.2.2. KIC 8043961 .....	73
4.3. Yörünge Dönem Değişimi Analizleri .....	75
4.3.1. HD 350731 .....	75
4.3.2. V335 Ser .....	76
4.3.3. V397 Cep.....	77
4.4. Tayfsal Ayrıştırma ve Model Atmosfer Analizleri .....	78
4.4.1. HD 350731 .....	79
4.4.2. KIC 6525196 .....	81
4.4.3. KIC 8043961 .....	82

4.4.4. V335 Ser .....	84
4.4.5. V397 Cep.....	85
4.5. Çalışılan Ayrık Sistemlerin Mutlak Parametreleri .....	87
4.6. Fotometrik Uzaklıklarla Gaia ve Hipparcos Uzaklıklarının Karşılaştırılması .....	88
4.7. Seçilen Sistemler için Tek Yıldız Evrim Modelleri .....	91
4.7.1. HD 350731 .....	92
4.7.2. KIC 6525196 .....	92
4.7.3. KIC 8043961 .....	92
4.7.4. V335 Ser .....	93
4.7.5. V397 Cep.....	95
4.7.6. V1385 Ori .....	95
4.7.7. HIP 25284.....	96
4.7.8. KIC 3327980 .....	97
4.7.9. KIC10156064 .....	98
4.8. Çift Yıldız Evrim Modellerinin Farklı Parametrelerle İncelenmesi .....	99
4.8.1. Yörünge Dönemi Etkisi .....	99
4.8.2. Basıklık Etkisi .....	100
4.8.3. Başlangıç Dönme Hızı Etkisi .....	102
4.8.4. Manyetik Frenleme Etkisi .....	104
4.8.5. Çekimsel Işıma Etkisi.....	106
4.9. Çalışılan Bazı Sistemlerin Çift Yıldız Evrim Modelleri .....	106
4.10. Ayrık Çift Yıldızlarda Açısız Momentum Dağılımı .....	116
BÖLÜM 5 .....	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	122
KAYNAKLAR .....	136
EKLERİ .....	I
EK 1. Frekans analizi çözüm sonuçları.....	II
EK 2 O-C analizinde kullanılan minimum zamanları.....	XI
ÖZGEÇMİŞ .....	XII

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

- Şekil 1.1. Birbirlerinden  $a = 0.718R_{\odot}$  uzaklıkta bulunan  $M_1 = 0.85 M_{\odot}$  ve  $M_2 = 0.17 M_{\odot}$  lik yakın ayırık bir çift yıldızın eş potansiyel yüzeylerinin gösterimi. Burada “x” sembolü kütle merkezini göstermektedir.  $L_1$  ise iki bileşenin roche yüzeylerinin keşiştiği ilk nokta olan birinci lagrange noktasının bulunduğu noktadır..... 3
- Şekil 1.2. Eker ve ark. nın ayırık çift yıldızlar üzerine yaptığı çalışmadan roche yüzüğü doldurma oranlarına ilişkin elde ettikleri istatistiki sonuçlar. (a) Tüm yıldızların doldurma oranlarına göre yüzde dağılımı. (b) Bileşen yıldız sayısına göre doldurma oranları dağılımı (Eker ve ark. 2015).....5
- Şekil 2.1. Farklı kaynaklarla elde edilen  $T_{\text{eff}}$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$  ve  $\log g$  değerlerinin Gaulme ve ark. (2016) çalışmasında tayfsal analizler ile elde edilen sonuçlar (siyah yıldız) ile kıyaslaması. Şekilde, kırmızı daireler Kepler girdi kataloğunda (KIC) verilen değerleri, kırmızı elmaslar SDSS griz filtrelerinden elde edilen değerleri, sarı üçgenler IRFM, açık yeşil üçgenler güncellenmiş KIC ve, koyu yeşil üçgenler APOGEE nin DR12 IR tayfsal değerlerini göstermektedir. Ayrıca dinamik yolla elde edilen (mavi kareler) ve astrosismik olanlar (more üçgen) gösterilmektedir (Gaulme ve ark. 2016).....9
- Şekil 2.2. Mosser ve ark. 2013 ten alınan astrosismik bağıntılar ile elde edilen Kütle (sağ) ve yarıçapa (sol) karşılık dinamik modellerden gelen değerler gösterilmektedir (Gaulme ve ark. 2016).....10
- Şekil 2.3. Dinamik modellerden (Dyn) gelen kütle ile yedi farklı astrosismik ölçekleme bağıntısından çıkarılan kütlelerin seçilen yıldızların kırmızı devlerine göre dağılımı. Alt eksen çift yıldızların KIC numaraları göstermektedir. Astrosismik bağıntılar sırasıyla, Mosser ve ark. (2013) (Mos), Kjeldsen ve Bedding (1995) (K&B), Chaplin ve ark. (2011) (Cha), Kallinger ve ark. (2010) (Kal), White ve ark. (2011) (Whi), Sharma ve ark. (2016) (Sha) ve Guggenberger ve ark. (2016) (Gug) dan alınmıştır (Gaulme ve ark. 2016).....10
- Şekil 2.4. SMC deki O5.5V((f)) tayf türünden AzV 388 isimli yıldızta uygulanan model fitleri. Siyah çizgi gözlenmiş tayfı, kırmızı çizgi FASTWIND modelini ve kesikli mavi çizgi CMFGEN fitini göstermektedir (Massey ve ark. 2013).....12
- Şekil 2.5. LMC deki O9.5 I tayf türünden BI 170 isimli yıldızta uygulanan model fitleri. Siyah çizgi gözlenmiş tayfı, kırmızı çizgi FASTWIND modelini ve kesikli mavi çizgi CMFGEN fitini göstermektedir (Massey ve ark. 2013).....13
- Şekil 2.6. LL Aqr ayırık çift yıldızının yoldaş bileşene ait ayrıştırılmış tayfı (kırmızı çizgi (S/G=90)) ile güneş tayfının (mavi çizgi (S/G=700)) kıyaslaması (benzer çözünürlükte UVES ile alınmış Güneş tayfı) (Graczyk ve ark. 2016).....14
- Şekil 2.7. Metalce zengin  $5M_{\odot}$  kütleli yıldızın Hertzsprung-Russell diyagramındaki evrim yolu. Şekilde ışıtmalar güneş birimi cinsinden sıcaklıklar ise Kelvin biriminde verilmiştir. Numaralandırılmış her bir nokta arasındaki yaşam süresi yıl cinsinden verilmiştir (Iben 1967a).....15
- Şekil 2.8. Dönmeli (düz siyah çizgi) ve dönme olmadan (Uzun-kısa mavi çizgiler) oluşturulan modellerin anakol bandı boyunca kıyaslaması (Schaller ve ark. 1992).....16
- Şekil 2.9. Dönme (sol) ve dönme olmadan (sağ) elde edilen modeller ile oluşturulan Hertzsprung-Russell diyagramı.  $0.8-120M_{\odot}$  evrim yolları siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Nitrojenin hidrojene göre bolluğu renk ölçeği ile gösterilmiştir. Yıldız WNE türü Wolf-Rayet olduğunda evrim yolu siyah kesikli çizgi olarak gösterilmektedir. Ayrıca gri alan Sefeid kararsızlık kuşağını göstermektedir

	(Ekström ve ark. 2012).....	17
Şekil 2.10.	RMT' nin bir göstergesi olarak, kütle oranı değişimi sırasında kütle veren (a) ve kütle alan (b) bileşenin kütle konumuna göre iç C/N oranı değişimi (Kolbas ve ark. 2014).....	19
Şekil 3.1.	Çapraz eşleme yönteminin sentetik bir tayf ve gözlenen çift yıldız tayfına uygulanması sonucunda elde edilen uyuşum tayfı. En üst çift yıldız tayfı, orta sentetik tayf, en alt ise uyuşumu göstermektedir.....	28
Şekil 3.2.	Korel yazılımının tüm adımlarının kontrol edildiği korel.par dosyasının örnek bir görünümü.....	30
Şekil 3.3.	FDBinary yazılımı için tayfsal ayrıştırmaya uygun klasik bir üçlü dizge. A ve B ikili sistemdeki baş ve yoldaş bileşeni, C ise üçüncü bileşeni göstermektedir. cm ise kütle merkezini temsil etmektedir ( <a href="http://sail.zpf.fer.hr/fdbinary/">http://sail.zpf.fer.hr/fdbinary/</a> ).....	31
Şekil 3.4.	Üst kısımda, 1994-2009 yılları arasında MACHO, OGLE-II ve OGLE-III gözlemlerinde I bandında gözlenmiş 3 çift sistemin ışık eğrileri. Işık eğrilerinde birinci minimum sıfır evreye sabitlenmiştir ve dolayısıyla ikinci minimumun eksen dönmesi dolayısıyla zamanla değişimi gösterilmektedir. Alt kısımda ise, 3 çiftin tutulma zaman değişimi grafikleri gösterilmektedir. Dolu simgeler birinci minimum, boş simgeler ise ikinci minimum göstermektedir. Düz çizgiler ise teorik fitleri temsil etmektedir (Hong ve ark. 2015).....	36
Şekil 4.1.	Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. İçi dolu kırmızı noktalar baş bileşeni, içi boş olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Düz ve kesikli çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir (Soydugan ve ark. 2015).....	43
Şekil 4.2.	HD 350731'in BVR filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrisi (Soydugan ve ark. 2015).....	43
Şekil 4.3.	KIC 6525196 sisteminin kepler minimum zamanlarından elde edilmiş O-C eğrisi (Borkovits ve ark. 2015).....	45
Şekil 4.4.	KIC 65225196 sistemin iç yörüngedeki hareketi, Dikine hız verileri ve kepler ışık eğrisinin teorik eğri ile uyuşumu temsil edilmektedir (Helminiak ve ark. 2017).....	46
Şekil 4.5.	KIC 6525196 üçlü sistemi için çift yıldız (içi dolu kırmızı noktalar) ile üçüncü bileşenin(içi boş diogonal) dikine hız değişimi ve öngörülen yörünge ile uyuşumu(mavi çizgi). Burada giri noktalar minimum zamanlarının değişiminden öngörülen ikili sistemin dikine hız değişimini göstermektedir (Helminiak ve ark. 2017).....	46
Şekil 4.6.	Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.....	49
Şekil 4.7.	KIC 6525196'in vby filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrileri gösterilmektedir.....	50
Şekil 4.8.	KIC 6525196'in Kepler uydusu aracılığı ile gözlenmiş (siyah) ve tutulma dışı değişimlerden arındırılmış (kırmızı) ışık eğrileri gösterilmektedir.....	50
Şekil 4.9.	KIC 8043961 sisteminin kepler minimum zamanlarından elde edilmiş O-C eğrisi (Borkovits ve ark. 2015).....	52
Şekil 4.10.	KIC 8043961'in Kepler uydusu aracılığı ile gözlenmiş (siyah) ve tutulma dışı değişimlerden arındırılmış (kırmızı) ışık eğrileri gösterilmektedir.....	54
Şekil 4.11.	Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah	

	ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir .....	55
Şekil 4.12.	KIC 8043961'in vby filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrileri gösterilmektedir .....	55
Şekil 4.13.	V335 Ser'in ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.....	58
Şekil 4.14.	V335 Ser'in BVR filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrileri ile uyuşumu gösterilmektedir.....	59
Şekil 4.15.	V397 Cep'in ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.....	62
Şekil 4.16.	V397 Cep'in vby filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrileri ile uyuşumu gösterilmektedir.....	62
Şekil 4.17.	V1385 Ori'nin ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.....	64
Şekil 4.18.	V1385 Ori'in ASAS V filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrisi ile uyuşumu gösterilmektedir.....	64
Şekil 4.19.	HIP 25284'ün ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyuşumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.....	66
Şekil 4.20.	HIP 25284'ün Hipparcos ile gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrisi ile uyuşumu gösterilmektedir.....	67
Şekil 4.21.	KIC 3327980'in kepler ışık eğrisi ve çözüm sonucu elde edilen eğrisin uyuşumu.....	68
Şekil 4.22.	KIC 10156064'ün kepler ışık eğrisi ve çözüm sonucu elde edilen eğrisin uyuşumu.....	70
Şekil 4.23.	KIC 6525196'nın zaman içindeki leke etkisiyle meydana gelen ışık değişimi (Siyah noktalar) ve elde edilen teorik eğri (kırmızı çizgi) ile uyuşumu.....	71
Şekil 4.24.	KIC 6525196 lekeli çözümlerden elde edilen sonuçların yıldız üzerindeki konumları sağ taraf başlangıç çevrimdeki durum sol taraf üçüncü yörünge çevrimi sonrası durumu göstermektedir.....	72
Şekil 4.25.	KIC 6525196 elde edilen frekansların gösterimi.....	73
Şekil 4.26.	KIC 8043961 elde edilen frekansların gösterimi.....	74
Şekil 4.27.	HD 350731'in O-C analizi sonucunda elde edilen sonuçların gözlem verileri ile uyuşumu.....	76
Şekil 4.28.	V335 Ser'in O-C analizi sonucunda elde edilen sonuçların gözlem verileri ile uyuşumu.....	77
Şekil 4.29.	V397 Cep'in O-C analizi sonucunda elde edilen sonuçların gözlem verileri ile uyuşumu.....	78
Şekil 4.30.	HD 350731'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir (Soydugan ve ark. 2015).....	79
Şekil 4.31.	Ayrıştırılmış bileşen tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin	

	(kırmızı çizgi) uyumu (Soydugan ve ark. 2015).....	80
Şekil 4.32.	KIC 6525196'nın tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen, (orta) yoldaş bileşen ve (alt) üçüncü bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.....	81
Şekil 4.33.	KIC 6525196'nın ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu .....	82
Şekil 4.34.	KIC 8043961'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.	83
Şekil 4.35.	KIC 8043961'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu .....	84
Şekil 4.36.	V335 Ser'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.	84
Şekil 4.37.	V335 Ser'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu .....	85
Şekil 4.38.	V397 Cep'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.....	86
Şekil 4.39.	V397 Cep'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu.....	87
Şekil 4.40.	Seçilen tüm ayırık çiftlerin, Gaia ve Hipparcos uzaklıklarının kıyaslaması ve $x=y$ çizgisine (Kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlen ayırık çift yıldızları temsil etmektedir.....	89
Şekil 4.41.	Seçilen tüm ayırık çiftlerin, fotometrik ve Hipparcos uzaklıklarının kıyaslaması ve $x=y$ çizgisine (Kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlen ayırık çift yıldızları temsil etmektedir.....	90
Şekil 4.42.	Seçilen tüm ayırık çiftlerin, Gaia ve fotometrik uzaklıklarının kıyaslaması ve $x=y$ çizgisine (Kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlen ayırık çift yıldızları temsil etmektedir.....	90
Şekil 4.43.	HD 350731 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	91
Şekil 4.44.	KIC 6525196 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	92
Şekil 4.45.	KIC 8043961 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	93
Şekil 4.46.	V335 Ser çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu..	94
Şekil 4.47.	V397 Cep çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.	95
Şekil 4.48.	V1385 Ori çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	96
Şekil 4.49.	HIP 25284 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	97
Şekil 4.50.	KIC 3327980 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	98
Şekil 4.51.	KIC 10156064 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.....	98
Şekil 4.52.	Mesa ile oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin yörünge dönemi değişimi ile ilk roche taşıma (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve başlangıç dönemi ile son durumdaki dönem arasındaki değişim (üst).....	100

Şekil 4.53. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin basırlık değişimi ile ilk roche taşım (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve başlangıç basırlığı ile son durumdaki dđnem arasındaki değişim (üst).....	102
Şekil 4.54. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin başlangıç dđnme hızı değişimi ile ilk roche taşım (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve başlangıç dđnme hızı ile son durumdaki dđnem arasındaki değişim (üst).....	103
Şekil 4.55. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin ikinci bileşenin kütle değişimi ile ilk roche taşım (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve ikinci bileşenin kütle değişimi ile son durumdaki RLOF dđnemi arasındaki dağılım (üst).....	105
Şekil 4.56. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin ikinci bileşenin kütle değişimi ile ilk roche taşım (RLOF) yaşındaki toplam momentum değişimi, $J_{dot}$ değeri arasındaki ilişkisi (alt) ve ikinci bileşenin kütle değişimi ile ilk roche taşım (RLOF) yaşındaki manyetik frenleme etkisiyle oluşan momentum değişimi, $J_{dot}(mb)$ değeri arasındaki ilişki (üst).....	105
Şekil 4.57. WW Aur bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	108
Şekil 4.58. WW Aur bileşenlerinin log $g$ -logT diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	108
Şekil 4.59. WW Aur bileşenlerinin $M$ - $R$ diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	109
Şekil 4.60. WW Aur bileşenlerinin Yaş-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	109
Şekil 4.61. HD 350731 bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	110
Şekil 4.62. HD 350731 bileşenlerinin $M$ - $R$ diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	111
Şekil 4.63. HD 350731 bileşenlerinin Yaş-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	111
Şekil 4.64. HD 350731 bileşenlerinin Yaş- $P_{yör}$ diyagramındaki konumu ve yörünge basırlığının çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	112
Şekil 4.65. KIC 6525196'nın bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	113
Şekil 4.66. KIC 8043961'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	113
Şekil 4.67. V335 Ser'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	114
Şekil 4.68. V397 Cep'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleri ile uyumu .....	114
Şekil 4.69. Parametresi iyi bilinen tüm ayrıık çift yıldızların toplam kütleye açısıl momentum ilişkisi. Taralı bölge teorik olarak elde edilen kütleye karşılıık olması gereken yörünge açısıl momentum değerlerini göstermektedir.....	117
Şekil 4.70. Doldurma oranı (FF) %75'ten büyük olan ayrıık çiftlerin logM-log $J_p$ dağılımı .....	117
Şekil 4.71. Kütlesi $1.5M_{\odot}$ 'ten büyük bileşen barındırmayan ayrıık çift yıldızlardaki logM-log $J_p$ dağılımı.....	118
Şekil 4.72. Kütlesi $1.5M_{\odot}$ 'ten küçük bileşen barındırmayan ayrıık çift yıldızlardaki logM-log $J_p$ dağılımı .....	118
Şekil 4.73. Kütlesi $1.5M_{\odot}$ 'ten büyük bileşen barındırmayan ayrıık çift yıldızlar arasındaki log $g$ -log $J_p$ dağılımı.....	119
Şekil 4.74. Çift yıldız evrim modelleri ile oluşturulan teorik $t_{RLOF}$ sınırının (yeşil çizgi)	

	gözlemsel veri (içi boş kareler) ile uyumu ve toplam kütle çizgileri (gri çizgiler) gösterilmektedir .....	120
Şekil 5.1.	HD 350731 ayrık çift yıldız bileşenleri için tek ve çift Yıldız (T.Y. ve Ç.Y.) evrim yolları ve bileşenlerin konumları .....	123
Şekil 5.2.	Tez çalışması kapsamında salt parametresi hesaplanan tüm ayrık çift yıldız bileşenlerinin, $\log L - \log T$ ve $\log g - \log T$ diyagramındaki konumları. Düz çizgi ZAMS, kesikli çizgi ise TAMS sınırını temsil etmektedir.....	128
Şekil 5.3.	Eker ve ark. (2014)'dan alınan ayrık çift yıldız bileşenleri (DB) ile birlikte bu çalışmada seçilen ayrık çift yıldızların $M-L$ diyagramındaki dağılımı. Kırmızı kırıklı çizgi Eker ve ark. (2015)'nin dört kütle aralığı için vermiş olduğu denklemleri temsil etmektedir.....	130
Şekil 5.4.	Eker ve ark. (2014)'dan alınan ayrık çift yıldız bileşenleri (DB) ile birlikte bu çalışmada seçilen çift yıldızların $M-R$ diyagramındaki dağılımı.....	130
Şekil 5.5.	Ayrık çift yıldızların kütleye göre normalize edilmiş açısız momentumları ile kütle oranı dağılımı. Sürekli siyah çizgiler, Sabit bir yörünge dönemi boyunca normalize açısız momentumun kütle oranıyla değişimini göstermektedir. Yeşil noktalı çizgi ise degen çift sistemlerin ortalama dağılımını vermektedir.....	134
Şekil 5.6.	Bünyesinde aktif bileşen barındıran çift sistemlere ilişkin oluşturulan $\log J_P - \log P$ düzleminde, farklı kütle oranıyla (kırmızı kesikli çizgi $q=0.75$ ve yeşil kesikli çizgi $q=1$ ) çizdirilmiş kuramsal $t_{RLOF}$ ölçekleri. Siyah sürekli çizgi gözlemsel verilerdeki $\log J_P - \log P$ yi en iyi temsil eden doğruyu, gri sürekli çizgiler ise eş kütleleri temsil etmektedir .....	135



## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa No

Çizelge 3.1.	Gözlemleri yapılan çift sistemlerin Simbad veri tabanından alınan genel bilgileri. ....	20
Çizelge 3.2.	Fotometrik gözlemleri yapılan çift sistemlerin gözlemsel bilgileri.....	21
Çizelge 3.3.	Tayf gözlemleri yapılan çift sistemlerin gözlem bilgileri.....	22
Çizelge 3.4.	Dikine hız ölçümlerinde kullanılan standart yıldızlar ve özellikleri.....	28
Çizelge 4.1.	HD 350731 çift yıldızının okunan dikine hız değerleri.....	42
Çizelge 4.2.	Ölçülen dikine hızlar kullanılarak hesaplanan yörünge parametreleri.....	43
Çizelge 4.3.	HD 350731'in eşzamanlı ışık eğrisi ve dikine hız çözüm sonuçları.....	44
Çizelge 4.4.	KIC 6525196 çift yıldızının okunan dikine hız değerleri.....	48
Çizelge 4.5.	KIC 6525196 yörünge çözüm sonuçları.....	49
Çizelge 4.6.	KIC 6525196 ve KIC 8043961 sisteminin eşzamanlı ışık eğrisi ve dikine hız analiz sonuçları.....	51
Çizelge 4.7.	KIC 8043961 çift yıldızının okunan dikine hız değerleri.....	53
Çizelge 4.8.	KIC 8043961 çift yıldızının yörünge çözüm sonuçları.....	54
Çizelge 4.9.	Catania gözlemeviden elde edilen tayflardan okunan dikine hızlar.....	57
Çizelge 4.10.	V335 Ser çift yıldızının yörünge çözüm sonuçları.....	58
Çizelge 4.11.	V335 Ser'in BVR ışık eğrilerinin çözüm sonuçları.....	59
Çizelge 4.12.	V397 Cep'in ölçülen dikine hız değerleri.....	61
Çizelge 4.13.	V397 Cep çift yıldızının yörünge çözüm sonuçları.....	61
Çizelge 4.14.	V397 Cep'in UBV ve vby ışık eğrilerinin dikine hız verileriyle eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler ve hataları.....	63
Çizelge 4.15.	V1385 Ori ve HIP 25284 sisteminin ışık eğrisi ve dikine hız analiz sonuçları.....	65
Çizelge 4.16.	KIC 3327980 ve KIC 10156064 sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları.....	68
Çizelge 4.17.	KIC 6525196'nın belirli bir zaman aralığındaki leke modelleme sonuçları.....	72
Çizelge 4.18.	KIC 6525196 ve KIC 8043961 yıldızlarının başlangıç frekans analizi sonuçları.....	73
Çizelge 4.19.	HD 350731'in eksen dönmesi parametreleri.....	75
Çizelge 4.20.	V335 Ser'in eksen dönmesi parametreleri.....	77
Çizelge 4.21.	V397 Cep'in eksen dönmesi parametreleri.....	78
Çizelge 4.22.	HD 350731'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri...80	
Çizelge 4.23.	KIC 6525196'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.....	82
Çizelge 4.24.	KIC 8043961'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.....	83
Çizelge 4.25.	V335 Ser'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.....	85
Çizelge 4.26.	V397 Cep'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.....	86
Çizelge 4.27.	Seçilen ayırık sistemlerin mutlak parametreleri.....	88
Çizelge 4.28.	WW Aur Çift yıldızının bazı mutlak parametreleri.....	107
Çizelge 4.29.	Çalışılan sistemlerin çift yıldız evrim modelleri sonucunda elde edilen evrim başlangıç parametreleri ve sistem yaşları.....	115
Çizelge 4.30.	Çift yıldız evrim modelleriyle elde edilen sonuç parametreleri.....	121
Çizelge 5.1.	Salt parametreleri belirlenen ayırık çift yıldız bileşenlerinin ışıtmalarıyla Eker ve ark. (2015)'nin verdiği <i>M-L</i> ilişkilerinden hesaplanan ışıtmalar ve farkları.....	131



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

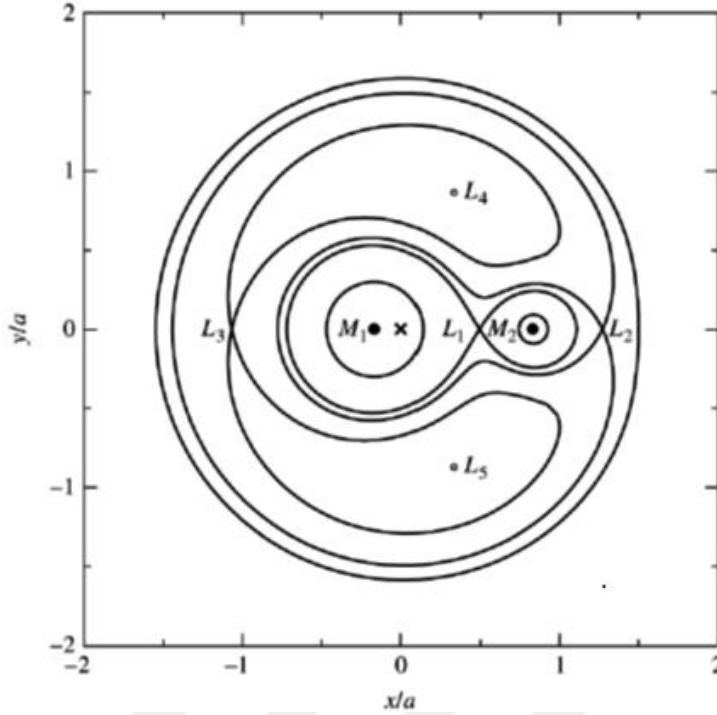
Yıldızlar görünür evrenin temel bileşenleridir. Yıldızların ne şekilde evrimleştiklerini ve iç yapılarını anlamamız, buldukları gökadalara oluşumunu ve evrimini anlamamıza katkı sağlar. Bu nedenle yıldızların temel fiziksel özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Özellikle yıldızların nasıl evrimleştiklerinin ve evrimleşeceklerinin önde gelen belirteçleri olan kütle ve kimyasal yapının belirlenmesi, yıldız modellerinin gözlemler ile uyumunun karşılaştırılması açısından kritik role sahiptir. Bu bağlamda, kütle ve yarıçap parametrelerinin yüksek duyarlılıkla belirlenebildiği örten çift yıldızların önemi, gelişen gözlem teknikleri sayesinde her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmaya konu olan ayırık çift sistemler, Roche geometrilerine göre yapılan çift yıldız sınıflamasında yarı-ayırık ve değen dizgeler ile birlikte üç türden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sınıflama, özellikle çift yıldız evrimini konu alan çalışmalar içinde sıklıkla kullanılmaktadır. Değen çiftlerde her iki bileşen de Roche yüzeyini doldurmuştur ve bileşenler birbirleriyle doğrudan etkileşim halindedirler. Diğer tür olan yarı-ayırık çift yıldızlarda ise evrim durumuna bağlı olarak yıldızlardan biri Roche yüzeyini doldurmuş ve birinci Lagrange noktasından diğer bileşene kütle aktarmaktadır. Ayırık çift yıldızlarda ise her iki bileşen de Roche yüzeyleri içinde kalmaktadır ve bu sistemler, bileşenlerinin birbirleriyle en az etkileştiği çift yıldız türleridir (Şekil 1.1).

Ayırık çift yıldızlar, örtme-örtülme gösteriyorsa ve ayrıca çift çizgili tayfsal çift sistem olarak sınıflanabiliyorsa, özellikle bileşenlerin kütle ve yarıçapları diğer türlere göre oldukça duyarlı olarak elde edilebilmektedir. Bu iki temel parametre, yıldız yapı ve evrimi açısından oldukça önemli olmasına karşın sistemlerin ve bileşenlerin doğasının anlaşılması için diğer bazı temel parametrelerin de (sıcaklık, kimyasal bolluk, uzaklık, vb.) bilinmesinde yarar vardır.

Çift çizgili ayırık örten çift sistemlerde kütle duyarlı şekilde belirlenmesine rağmen, bileşenlerin sıcaklıkları ve kimyasal yapılarının belirlenmesi, bileşenlerin oluşturduğu bileşik etkiler nedeniyle zorlaşmaktadır. Günümüzde gelişen gözlem teknikleri ve analiz yöntemleri, çift ve çoklu bileşenli sistemlerin tayflarının duyarlı bir şekilde ayrıştırılıp detaylı bir şekilde incelenmesine ve bu sayede sıcaklık ve kimyasal yapısının her bir bileşen için ayrı ayrı incelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece, her bir bileşen için elde edilen atmosfer özellikleri ve mutlak parametreler yardımıyla duyarlı yıldız evrim modelleri oluşturulabilmektedir. Özellikle, ayırık örten çift sistemlerin bileşenlerinin temel

parametreleri ile evrim modellerinin karşılaştırılmasında ortaya çıkan uyuşum ve farklılıklar, tek ve çift yıldız evrimi arasındaki farklılıkların anlaşılmasında ve teorideki eksikliklerin giderilmesinde önemli görülmektedir.



Şekil 1.1. Birbirlerinden  $a = 0.718 R_{\odot}$  uzaklıkta bulunan  $M_1 = 0.85 M_{\odot}$  ve  $M_2 = 0.17 M_{\odot}$  lik kütleli bileşenlere sahip ayrık bir çift yıldızın eş potansiyel yüzeylerinin gösterimi. Burada “x” sembolü kütle merkezini,  $L_1$  ise iki bileşenin Roche yüzeylerinin keşiştiği nokta olan birinci Lagrange noktasını göstermektedir (Carroll ve Ostlie 2017).

Ayrık örten çift sistemlerin çalışmaları incelendiğinde, bileşenleri yakın kütle değerine sahip sistemlerde sıcaklık-yarıçap dejenerasyonunun bu iki temel parametrenin belirlenmesinde bazı belirsizlikler oluşturabileceği görülmektedir (örneğin; Soyduğan ve ark. 2015). Bu tür etkilerin giderilebilmesi, yıldızların doğasını daha iyi anlayabilmemize ve kuramsal modellerle duyarlı karşılaştırmalar yapabilmemize olanak sağlayacaktır. Yıldızların evrim modelleri uzun yıllardır çalışılan bir konu olmakla birlikte bu alanda hala eksikliklerin ve anlaşılmayan bölümlerin olduğu açıktır. Özellikle çift yıldızların etkileşimleri dikkate alındığında ve ek olarak bileşenlerin parametrelerinin ayrı ayrı belirlenmesindeki zorluklar da düşünüldüğünde, evrim modellerinin gözlem sonuçlarını temsilinde zorluklar ile daha da sık karşılaşılmaktadır. Bu nedenle, daha duyarlı verilerle bileşen yıldızlar ayrı ayrı incelenerek bu farklılıkların araştırılmasına yönelik çalışmalar,

artan bilgisayar teknolojisinin de katkısıyla, özellikle son yirmi yıldır önemi artarak devam etmektedir (Southworth ve ark. 2004, Kupka ve ark. 1999, Soyduğan ve ark. 2015). Parametreleri duyarlı olarak belirlenen sistemleri de içine alacak şekilde bu alanda yapılan bazı çalışmalar incelendiğinde, modellerle gözlem verilerinin analizlerinden belirlenen parametreler arasında ortaya çıkan farklılıklar dikkat çekmektedir. Örneğin bazı Güneş benzeri küçük kütleli çift yıldızlarda bileşenlerin yarıçapları, yıldız evrim modellerinden belirgin biçimde ayrılmaktadır. Bu farklılıklar konusunda manyetik aktivite nedeniyle oluşan etkilerin baskın olduğu konusunda tartışmalar (Usenko ve ark. 2000, Lehmann ve ark. 2013) olsa da, bu ayrışmanın ne kadarının gözlemsel etkiler ile ortaya çıkan dejenerasyondan, ne kadarının da manyetik alanlı model uyuşumundan kaynaklandığı hala belirsizdir. Bu noktada duyarlı uydu verilerinin önemi daha da artmaktadır.

Son yıllarda uydular yardımıyla elde edilen duyarlı ve uzun dönemli gözlem verileri, çift sistemlerin ve bileşenlerinin temel parametrelerinin yüksek duyarlılıkla elde edilmesine önemli katkı sunmuştur. Bunun yanında, kısa dönemli ve genlikli bünyesel etkilerin de (zonklama, leke ve plaj etkinliği vb.) ayrıntılı şekilde çalışılmasına olanak sağlanmıştır. Diğer taraftan, bu tür yüksek duyarlılık ışık eğrilerinin analizlerinde kenar ve çekim kararması gibi çok küçük ölçekli etkiler, modellemeler açısından bir sorun oluşturmaya başlamıştır. Bu tür küçük genlikli etkilerin de modellenmesi ile birlikte öncelikle yıldızların yarıçaplarının daha duyarlı belirlenebilecek ve sonrasında farklı fiziksel süreçler ve sistemde varsa olası diğer cisimlerin (üçüncü, dördüncü bileşen yıldız veya ötegezegen gibi) özellikleri daha hassas çalışılabilecektir.

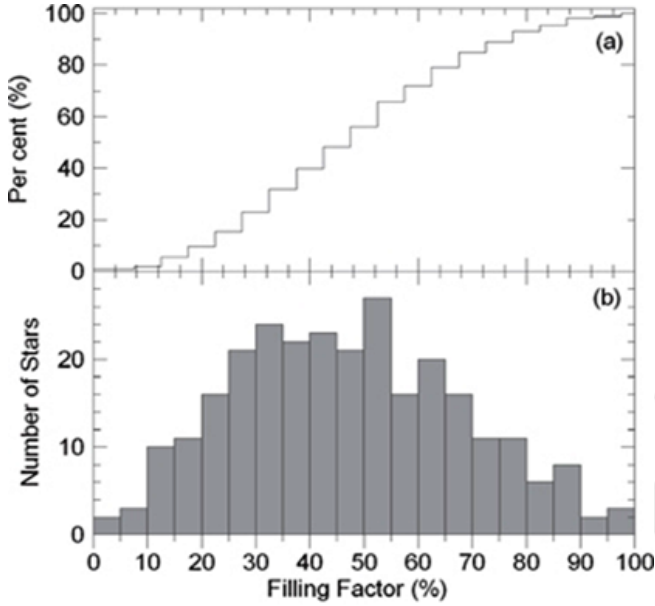
Ayrık çift sistemlerin önemli rol oynadığı diğer bir çalışma alanı olarak kütle-ışıtma ( $M-L$ ) ve kütle-yarıçap ( $M-R$ ) ilişkileri ile ilgili yapılan araştırmalar gösterilebilir (Andersen ve ark. 1983, Eker ve ark. 2015). Bu tür ilişkiler, bileşenlerin birbiriyle en az etkileşimde olduğu örten çift çizgili ayrık çiftlerin bileşenlerinin parametreleri kullanılarak elde edilmekte olup, çok geniş ölçekte farklı türde ve sınıfta tek ve çift yıldızlara uygulanabilmektedir. Böylece, çift yıldız evrimi ve evrime etki eden fiziksel süreçlerin anlaşılmasına katkı sağlanmakta olup ayrıca, model-gözlem karşılaştırmaları yapılarak evrim ve iç yapı modelleri iyileştirilip güncellenmektedir. Son yıllarda duyarlı uydu verilerinin de etkisiyle iyi bilinen – özellikle kütle ve yarıçapı duyarlı elde edilmiş – ayrık çift sistemlerin sayısı hızla artmış ve bu da  $M-L$  ve  $M-R$  gibi temel ilişkilerin tekrar ele alınması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bu tür sistemler kullanılarak yapılan analizlerde,  $M-L$  ilişkisindeki saçılma bandının daraldığı ve bazı kırılma noktalarının ortaya çıktığı belirlenmiştir (Eker ve ark. 2015). Bu kırılmaları ortaya çıkaran fiziksel süreçler tam olarak

bilinmemesine karşın bu süreçlerin ve farklılıkların incelenmesinde de özellikle ayırık çift yıldızlar çok kritik bir role sahiptir.

Çift yıldızlarının bazı türlerinde etkin olarak ortaya çıkan yakınlık etkileri, sistemlerin temel parametrelerinin yüksek duyarlılıkla belirlenmesini güçleştirmektedir. Ayırık çift yıldızlar, çift yıldız grupları arasında birbirleriyle en az etkileşime uğrayan ve küresellikleri en az bozulmuş bileşenlere sahiptir. Dolayısıyla bu tür sistemlerin tayf ve fotometrik veri analizleriyle elde edilen temel parametreler yardımıyla, evrim kuramları test edilebilmekte ve ayrıca tek yıldızlar ve çift yıldızlar için üretilmiş modeller karşılaştırılarak evrimi etkileyebilecek süreçler tartışılabilmektedir. Ancak, ayırık çift yıldızlarda da belirli evrim durumları sonunda küresellikten bozulmalar gözlemsel olarak anlamlı hale gelmektedir. Çift yıldız bileşenlerinin küresellikten uzaklaşmasını gösteren parametrelerden biri onların iç Roche yüzeylerini doldurma oranlarıdır. Küresellikten sapma etkisini, Eker ve ark. (2014, 2015), parametreleri iyi bilinen 257 ayırık çift sistemin 514 üyesinin Roche yüzeylerini doldurma oranlarını ele alarak incelemiştir (Şekil 1.2). İnceleme sonucunda Roche yüzeyi doldurma oranı %75'ten fazla olan bileşenlerin küresellikten anlamlı şekilde uzaklaşmaya başladıklarını ve bu bileşenlerde kesirsel kutup yarıçapı ile ekvatorial kutup yarıçapı arasındaki farkın %1'den fazla olmaya başladığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, 455 bileşenin hata çerçevesinde küresel varsayılabileceği ancak bunun dışındaki bileşenler için bu etkinin dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bu açıdan ayırık çift yıldızlar içindeki bu ayırım oldukça önemlidir. Tek yıldızlarla yapılan karşılaştırmalarda, günümüzdeki artan hassas gözlem verileri dikkate alındığında, bu etkinin dikkate alınması gerektiği açıkça ortadadır. Yapılan evrim modelli karşılaştırmalarında, doldurma oranları %75'ten büyük ve küçük örnekler kullanılarak, küresellik etkisinin evrim modellerine yansımalarının araştırılması açısından ayırık çift yıldızlar oldukça kullanışlıdır. Ayrıca, bu tür araştırmalar çift yıldız evriminde olası yarı-ayırık, değen duruma geçişin anlaşılması açısından da önemlidir.

Ayırık çift yıldız çalışmaları, evrende yaşam araştırmaları açısından da önemli bir yere sahiptir ve önemi gün geçtikçe artmaktadır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki özellikle Güneş benzeri geri tür yıldızları içeren G-M tayf türü aralığındaki yıldızların %67'si (Mayor ve ark. 2001), sadece belirli uzaklıktaki Güneş türü cüce yıldızlar arasında yapılan diğer bir çalışma ise bu tür yıldızların %46'sı (Tokovinin, 2014) en az bir yoldaş yıldız barındırmaktadır. Şimdiye kadar keşfedilen öte-gezegenlerin ise 100'den fazlası çift ya da çoklu sistemlerde bulunmaktadır (Schwarz ve ark. 2016). Bu bağlamda, ayırık çift yıldızların parametrelerinin duyarlı olarak belirlenebilmesi ve bunun için daha duyarlı ve güvenilir

analiz yöntemleri geliştirilmesi, öte-gezegen içeren yıldızlar için, çift yıldızlara benzer ancak çok küçük genlikli geçiş ışık eğrilerinin ve dikine hız değişimlerinin daha duyarlı modellenebileceği düşünüldüğünde oldukça değerlidir.



Şekil 1.2. Eker ve ark. (2015) tarafından verilen, ayırık çift yıldızların bileşenlerinin, doldurma oranlarına göre sayıları (a) ve doldurma oranlarına göre yüzdelik dağılımı (b).

Tüm ışınım (bolometrik) parlaklığı yıldızların en önemli parlaklık tanımlamalarından birisidir. Ancak bu parametre doğrudan ölçülememekte genellikle belirli filtrelerdeki parlaklıklardan bolometrik düzeltme katsayısının eklenmesiyle elde edilmektedir. Ancak bize en yakın yıldız olan Güneş için bile bu katsayı literatürdeki çalışmalarda -0.08 ile -0.20 kadar aralığında değişen farklı değerler verilmektedir (Torres 2010). Mutlak parametreleri hassas bir şekilde belirlenen ayırık çift yıldızlar,  $M - L$  bağıntısı yardımıyla gözlemsel veriden doğrudan tüm ışınım parlaklığını hesaplamak için kullanışlıdır. Bu açıdan parametreleri iyi bilinen ayırık çift yıldızları kullanarak yeniden belirlenecek bolometrik düzeltme katsayıları, yıldızın tüm ışınımının daha duyarlı hesaplanabilmesini sağlayacaktır.

Doktora tez çalışmasının amacı, seçilmiş ayırık örten çift yıldızların ışık ve dikine hız eğrilerinin ve bazı sistemler için bileşenlerinin ayrıştırılmış tayflarının modellenmesiyle sistemlerin duyarlı yörünge parametreleriyle bileşenlerin fiziksel ve geometrik parametrelerine ulaşmaktır. Belirlenen parametreler yardımıyla çalışılan sistemlerin bileşenlerinin evrim durumlarının da incelenmesi hedefler arasındadır. Ayrıca, yörünge açısal momentumunun değişimi, basıklık, başlangıç dönme hızı ve manyetik frenlemenin

evrim üzerinde etkilerinin, ayrı sistemler kapsamında incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanında, ayrı sistemlerin tümü üzerinden, yörünge açısal momentumunun dağılımının incelenmesi ve bu tür sistemlerin evrim durumları ile karşılaştırılması da planlanmıştır.

Tez çalışmasının giriş bölümünü takip eden ikinci bölümünde, ayrı çift sistemlerin mutlak parametreleri, model atmosfer uygulamaları ve kullanılan evrim modelleri konu edilmiştir. Üçüncü bölümde ise, tez çalışmasında kullanılan verilere ilişkin bilgiler ile analizlerde kullanılan yöntemler ayrıntılı olarak sunulmuştur. Bir sonraki bölümde, dokuz ayrı çift sistemin ışık ve dikine hız veri analizleri ile elde edilen sonuçlar, iki sistemin (KIC 9525196 ve KIC 8043961) tutulma dışı değişimlerinin incelenmesi, üç sistemin (HD 350731, V335 Ser ve V397 Cep) yörünge dönemi değişimleri, beş sistemin bileşenlerinin tayfsal ayrıştırılması ve model atmosfer uygulamasından elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Aynı bölümde, ayrı çift sistemlerin uzaklıkları, çalışılan dokuz ayrı çift sistemin bileşenlerinin mutlak parametreleri ve evrim durumlarının modellerle karşılaştırılması, çift yıldızların evrim modelleri üzerine yapılan incelemeler ve ayrı çift sistemlerin yörünge açısal momentumlarının dağılımlarından elde edilen bulgular verilmektedir. Son bölümde ise, tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bulguların tartışması ve gelecek çalışma önerileri sunulmaktadır.



## BÖLÜM 2

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çift yıldızlar William Herschel'in (1803) ilk gözlemlerinden beri uzun yıllardır üzerinde çalışılan oldukça geniş kapsamlı bir araştırma alanı olarak yıldız astrofiziğindeki yerini almaktadır. Bu alandaki çalışmalar, gelişen teknoloji ve gözlem teknikleri sayesinde oldukça ilerlemekle birlikte genel olarak astrofizikte üç temel alana hizmet etmektedir. Bunlardan ilki örten çift yıldızların çekimsel etkileşimi ve yörünge hareketi boyunca meydana gelen ışık ve dikine hız değişimleri sayesinde duyarlı bir şekilde belirlenen kütle ve yarıçap gibi temel parametreleri ile yıldız yapılarının ve evrimlerinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesidir. Diğer bir temel araştırma alanı ise yıldız astronometrisi açısından oldukça önemli uydu gözlemlerinden (örneğin *Hipparcos*, *Gaia*) gelen yeni katkılar ile önümüzdeki yıllarda önemi giderek artacak olan çift ve çoklu yıldız sistemlerinin istatistiki çalışmalarıdır. Ek olarak, Tip Ia süpernovaları, kataklismik değişenler ve X-ışın kaynaklarının daha iyi anlaşılması için çift yıldız evrim senaryolarının farklı fiziksel süreçleri de (açısal momentum ve kütle kayıpları, ilave cisimlerle dinamik etkileşimler vb.) dikkate alacak şekilde oluşturulabilmesi ve bu modellerin testleri üzerine dayanır. Belirtilen alanlardaki araştırmalara, özellikle çift yıldız evriminin erken safhalarına da karşılık geldiği belirtilen ayırık çift yıldızların daha iyi modellenmesi ve anlaşılması yardımıyla da önemli katkılar sağlanabilir. Bu bağlamda, tez kapsamında, ayırık yıldızların, belirtilen temel çalışma alanlarına katkı yapabilecek şekilde, mutlak parametrelerin belirlenmesi, model atmosfer uygulamaları ve evrim modelleri temelinde incelenmesi amaçlanmıştır.

#### 2.1. Mutlak Parametreler

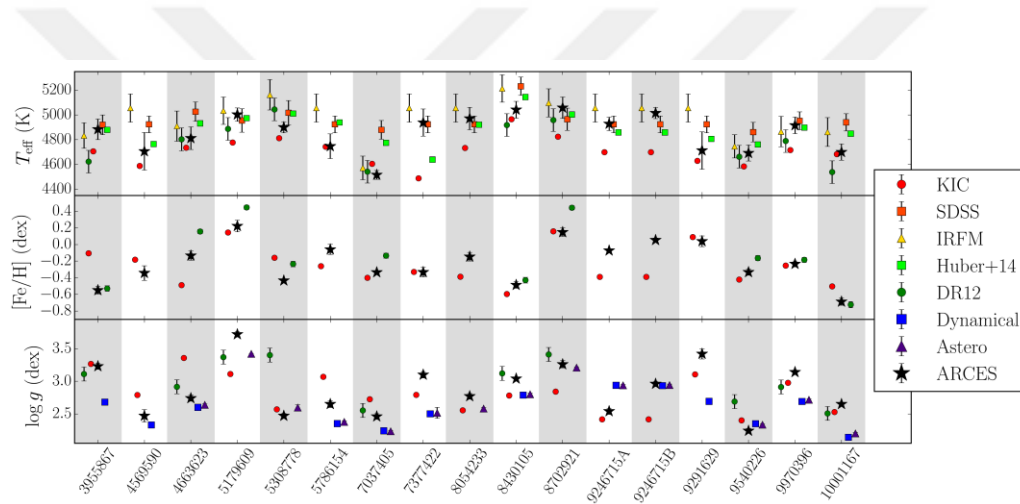
Örten çift yıldızlar, ışık eğrisi gözlemleri ve her iki bileşenin dikine hız değişimlerinin ölçülmesiyle doğrudan belirlenebilen kütle ve yarıçap değerleri sayesinde yıldız astrofiziği açısından kritik öneme sahiptirler. Bu alanın gelişimi, Montanari (1672)'nin gözlediği bir yıldızın dönemseller değişimleri gösterdiğini keşfetmesi ve daha sonraları Goodricke (1783) tarafından tutulmaları gözlenen  $\beta$  Per diğer adıyla Algol'ü tanımlamasıyla başlamıştır. Aynı kaynağın tayf gözlemleri ilk kez Vogel (1890) tarafından yapılmış ve çiftlik özellikleri gösterilmiştir. İlerleyen yıllarda Stebbins (1911) tarafından ilk defa bir örten çift yıldız olan  $\beta$  Aur'un kütle ve yarıçapı belirlenmiştir. Günümüze kadar gelişen gözlem aletleri (teleskop, alıcılar, tayfçekerler vb.) ve uygulanan modern analiz teknikleriyle, örten çift yıldızlar aracılığıyla belirlenen mutlak parametrelerin sayısı ve hassasiyeti önemli ölçüde artmıştır.

(Andersen ve ark. 1981, 1984, Torres ve ark. 1997, Lacy ve ark. 2005, Southworth ve ark. 2011). Yüksek duyarlılıkla elde edilmiş mutlak parametreler birçok çalışma alanına katkı yapmış ve çift yıldızları, kuramsal modellerin test araçları haline getirmiştir (Southworth ve ark. 2005, Torres ve ark. 2014). Özellikle gelişmiş teknolojiye sahip *CoRoT* ve *Kepler* gözlem uydularının çok duyarlı verileri ile birlikte çift yıldızlar ve onların doğasının anlaşılmasına ilişkin araştırmalar yeni bir boyut kazanmış hem de çift yıldızlar etrafındaki gezegen gözlemlerine ilişkin çalışmalar büyük önem kazanmıştır (Borkovits ve ark. 2003, Matson ve ark. 2016, Kostov ve ark. 2013, 2016a ve 2016b). Bu tür yeni ve gelişen araştırma alanları yakın gelecekte veri almaya başlayacak olan *PLATO*, *TESS*, *CHEOPS* gibi uydu gözlemleriyle daha da önemli hale gelecektir. Bu uydular sayesinde gözlenen ve gözlenecek olan farklı türden zonklayan yıldızların içyapılarına ve mutlak parametrelerinin ölçümüne (Creevey ve ark. 2012, Mathur ve ark. 2012) dair öngörülerin denetlenmesi açısından da zonklayan yıldız içeren çift yıldızların mutlak parametrelerinin duyarlı şekilde belirlenmesi bu alan için de oldukça büyük bir önem arz etmektedir (Gaulme ve ark. 2016, White ve ark. 2017). Artan parametre hassasiyeti ve örnek sayısıyla birlikte üzerinde durulan diğer bir konu da çift yıldızların yörünge açısal momentum evrimidir. Bu bağlamda, yıldız kütleleriyle yörünge açısal momentumu ve yaşları arasındaki dağılım ve ilişkilerin incelenmesi, çift yıldızların ayırık evreden diğer evrim aşamalarına geçişleriyle ilgili önemli bilgiler sunmaktadır (Shu ve Lubow 1981, Sistero ve Marton 1983, Trimble 1984, Demircan ve ark. 2012, İbanoğlu ve ark. 2006).

Ayrık yıldızları, çalışılan tüm sistemler üzerinden ele alan en güncel çalışmalardan biri Eker ve ark. (2015) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmaya göre, verileri toplanan ayırık çift yıldız bileşenlerinin kütle ve yarıçaplarının hataları %3'ten küçük olanların sayısı 257'ye ulaşmış durumdadır. Dolayısıyla parametreleri duyarlı belirlenen ayırık çiftlerin sayısının artmasıyla birlikte teorik modeller ile olan farklılıklar ve nedenleri üzerine birçok çalışmanın önü açılmış durumdadır. Southworth ve ark. (2005), WW Aur çift yıldızının bileşenlerinin kütle ve yarıçaplarını sırasıyla, % 0.6 ve % 0.4'lük bir duyarlılıkla belirlemelerine rağmen evrim modelleriyle bazı farklılıkların olduğunu rapor etmişlerdir. Bu sistemin bileşenlerine ilişkin, gözlemleri en iyi temsil eden evrim modeli,  $[m/H]=0.06$  dex değeri için oluşturulmuştur. Diğer bir çalışmada ise, Pavloski ve ark. (2014) tarafından, kütle, yarıçap ve sıcaklık gibi özellikleri oldukça hassas belirlenen YZ Cas sistemin yapılan analizleri sonucunda baş bileşeninin Am özellikleri gösterdiği, yoldaş bileşeninin ise hemen hemen Güneş kimyasal bolluğunda olduğu öngörülmüştür. Ancak, her iki bileşenin için elde edilen temel parametreler, tek yıldız evrim modelleriyle kıyaslandığında, yarı Güneş metalliğindeki

teorik modeller ile uyuşumun sağlandığı ve bileşenler arasında büyük yaş farkının ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Duyarlı mutlak parametreler sayesinde elde edilen bu bulguların, modelleri, bazı durumlar için tartışmalı hale getirdiği görülmektedir.

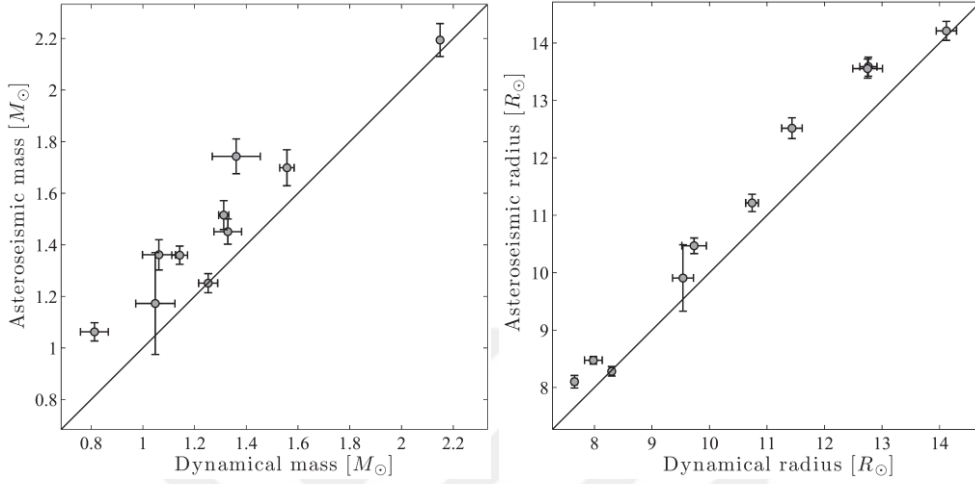
Zonklayan yıldızların yapı ve evrimlerinin anlaşılmasında da ayırık yıldızlar son yıllarda önem kazanmıştır. Çift yıldızlardaki zonklayan bileşenler temel parametrelerin denetlenmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Uydu gözlemleriyle birlikte özellikle astrosismik ölçeklendirme bağıntıları çalışmaları oldukça artmıştır. Özellikle kırmızı devler ölçeklendirme bağıntıları için önemli kaynaklardır. Gaulme ve ark. (2016)'nın yapmış olduğu çalışmada seçilen kırmızı dev bileşenli tutulma gösteren ayırık çift yıldızları kullanarak astrosismik ölçeklendirme ile elde edilen temel parametreleri, ışık ve dikine hız eğrilerinin analizlerinden elde edilenler ile kıyaslamışlardır (Şekil 2.1).



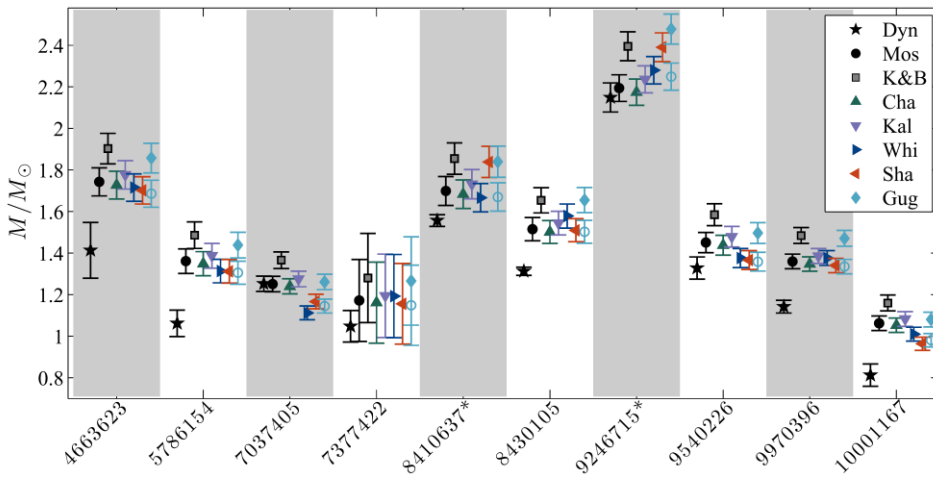
Şekil 2.1. Farklı kaynaklarla elde edilen  $T_{eff}$ ,  $[Fe/H]$  ve  $\log g$  değerlerinin Gaulme ve ark. (2016) çalışmasında tayfsal analizler ile elde edilen sonuçlar (siyah yıldız) ile kıyaslaması. Şekilde, kırmızı daireler *Kepler* kataloğundaki (KIC) değerleri, kırmızı elmaslar SDSS *griz* filtrelerinden elde edilen parlaklıklar, sarı üçgenler IRFM, açık yeşil üçgenler güncellenmiş KIC ve koyu yeşil üçgenler APOGEE'nin DR12 IR tayfsal değerlerini göstermektedir. Ayrıca dinamik yolla elde edilen (mavi kareler) ve astrosismik olanlar (mor üçgen) gösterilmektedir (Gaulme ve ark. 2016).

Yaptıkları çalışmada, astrosismik ölçeklemeyle belirlenen farklı evrim durumlarındaki kırmızı devlerin yarıçapları ortalama olarak %5, kütleleri ise yüzde % 15 daha büyük bulunmuştur (Şekil 2.2). Ayrıca, diğer astrosismik ölçekleme bağıntıları çalışmalarıyla elde edilen bağıntılardan belirlenen değerler de dinamik kütle değerleri ile kıyaslanmıştır (Şekil 2.3) ve kıyaslama sonunda dinamik kütlelerin hemen hemen tüm

astrosismik ölçekleme değerlerinden küçük olduğu görölmüştür. Modellerdeki farklılıkların anlaşılması için mutlak parametreleri daha yüksek duyarlılıkla belirlenmiş her evrim aşamasından zonklayan yıldız bileşen içeren çift yıldız örneklerine ihtiyaç olduğu söylenebilir.



Şekil 2.2. Mosser ve ark. (2013)'ten alınan astrosismik bağıntılar ile elde edilen kütle (sağ) ve yarıçapa (sol) karşılık dinamik modellerden gelen değerler gösterilmektedir (Gaulme ve ark. 2016).



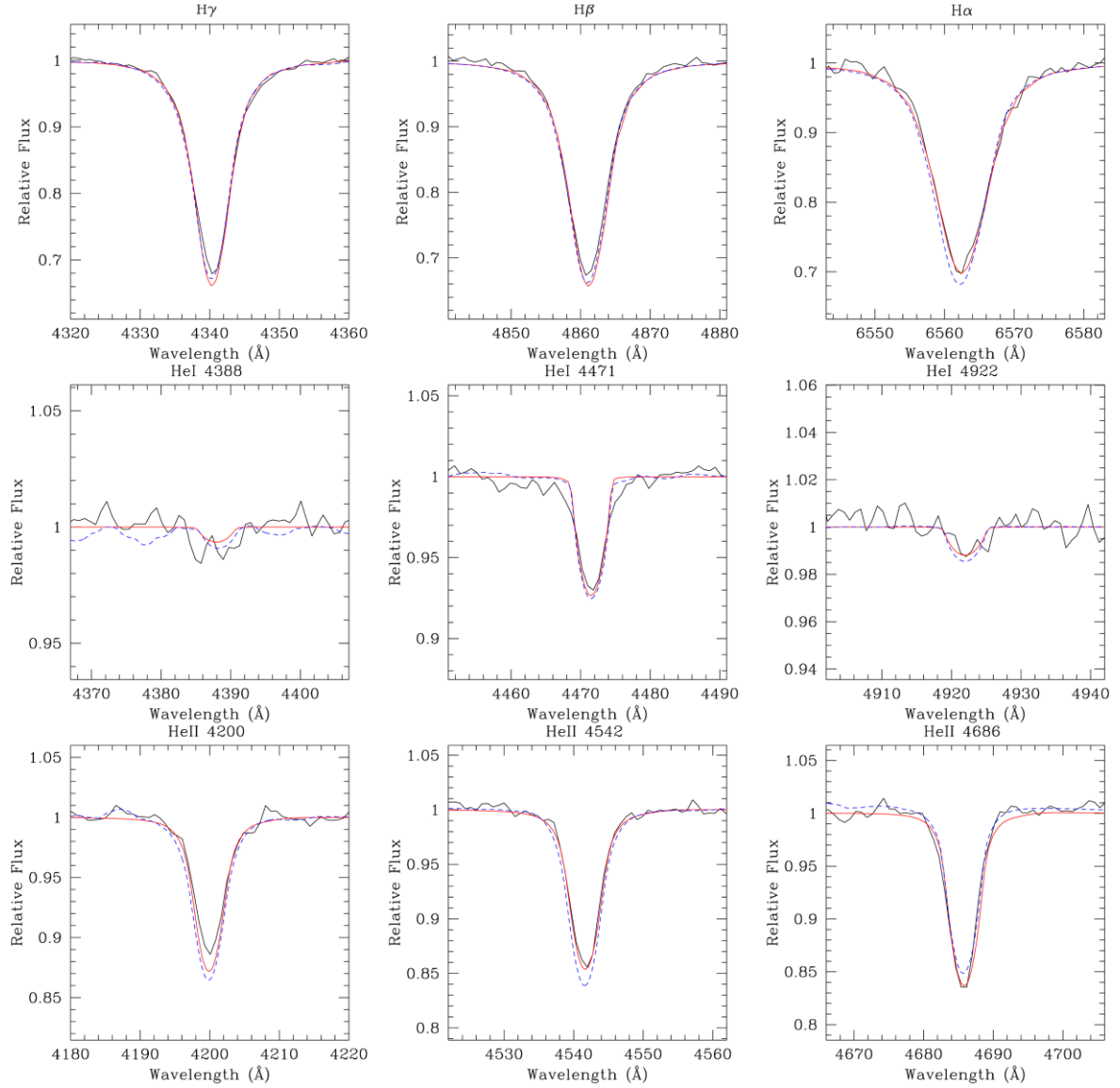
Şekil 2.3. Dinamik modellerden (Dyn) gelen kütle ile yedi farklı astrosismik ölçekleme bağıntısından çıkarılan kütlelerin seçilen kırmızı devlere göre dağılımı. Alt eksen çift yıldızların KIC numaraları göstermektedir. Astrosismik bağıntılar sırasıyla, Mosser ve ark. (2013) (Mos), Kjeldsen ve Bedding (1995) (K&B), Chaplin ve ark. (2011) (Cha), Kallinger ve ark. (2010) (Kal), White ve ark. (2011) (Whi), Sharma ve ark. (2016) (Sha) ve Guggenberger ve ark. (2016) (Gug)'dan alınmıştır (Gaulme ve ark. 2016).

## 2.2. Model Atmosferler

Yıldız atmosferleri, yıldızların gözlenebilir ışığının büyük bir kısmını aldığımız, yıldızların iç kısımları ile yıldızlararası ortama geçiş bölgeleridir. Bu nedenle, yıldız atmosferinin anlaşılması, o cismin temel astrofizik özelliklerinin ve evrim durumunun anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Günümüzde yıldız atmosferlerinin daha iyi anlaşılabilmesi için bir boyutlu ve hatta son zamanlarda üç boyutlu yıldız atmosfer modelleri kullanılmaktadır. Model atmosfer çalışmaları 1970'lerde başlamış olup yıldız astrofiziği açısından oldukça önemlidir ve ilerleyen yöntemlerle birlikte gelişime açık bir alandır.

Yıldız atmosfer modelleri hidrostatik denge, ışınım dengesi, ışınım taşınım denklemi ve atomik seviye sınıfları için istatistik denklemlerin yıldız katmanlarının pozisyonuna bağlı olarak çözülmesiyle elde edilir. Modeller iki temel durum altında incelenir. Bunlar, yerel ısısal denge (LTE) ve yerel olmayan ısısal denge (NLTE) varsayımlarıdır (Auer ve Mihalas 1969, Kurucz 1970, Anderson 1985). Belirtilen yöntemler kullanılarak zaman içinde birçok yazılım geliştirilmiştir. Zaman içinde gelişen yazılımlardan en önemlileri, LTE durum varsayımı için ATLAS (Kurucz 1970, 1993) ve özellikle geri tayf türü yıldızlar için oldukça iyi çalışan MARCS (Gustafsson ve ark. 1975) yazılımları sayılabilir. NLTE atmosfer modelleri için ise geçmişten günümüze birçok yazılım geliştirilmiştir. İlk olarak NCAR (Mihalas ve ark. 1975) olarak adlandırılan yazılım geliştirilmiş olup sonrasında günümüzde de özellikle ön tayf türü yıldızların atmosfer modellerinin oluşturulmasında sıklıkla kullanılan, TMAP (Dreizler ve Werner 1993, Werner ve ark. 2003) ve TLUSTY (Hubeny 1988, Hubeny ve Lanz 1995) kodları öne çıkmıştır. NLTE durum için özellikle Wolf Rayet (WR) yıldızları gibi genişlemekte olan atmosfer yapısındaki yapıların modellenmesinde ise CMFGEN (Hillier ve Miller 1998, Hillier 2012), FASTWIND (Santolaya-Rey ve ark. 1997, Repolust ve ark. 2004, Puls ve ark. 2005, Lefever ve ark. 2007) ve PHOENIX (Hauschildt ve ark. 1997) en yaygın olarak kullanılan model atmosfer yazılımları olmuşlardır. NLTE durum için yapılan araştırmalar genellikle ön tayf türü büyük kütleli yıldızları içermektedir. Örnek olarak, Massey ve ark. (2013), LMC ve SMC'de yer alan, farklı evrim aşamasındaki on adet O tayf türü yıldız için, CMFGEN ve FASTWIND yazılımları ile çok sayıda model üreterek bu modelleri karşılaştırıp yorumlamışlardır. (Şekil 2.4, Şekil 2.5). Üretilen modeller sonucunda seçilen yıldızlar için her iki yazılım kullanılarak etkin sıcaklıkları ( $T_{eff}$ ), yüzey çekim ivmeleri ( $\log g$ ), rüzgârlarla kaybedilen kütle kayıp miktarları ( $\dot{M}$ ) ve element bollukları bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, her iki yazılımdan üretilen modellerin büyük kütleli O yıldızların fiziksel özelliklerini açıklamada benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Buna karşın, aynı çalışmada CMFGEN ile üretilen

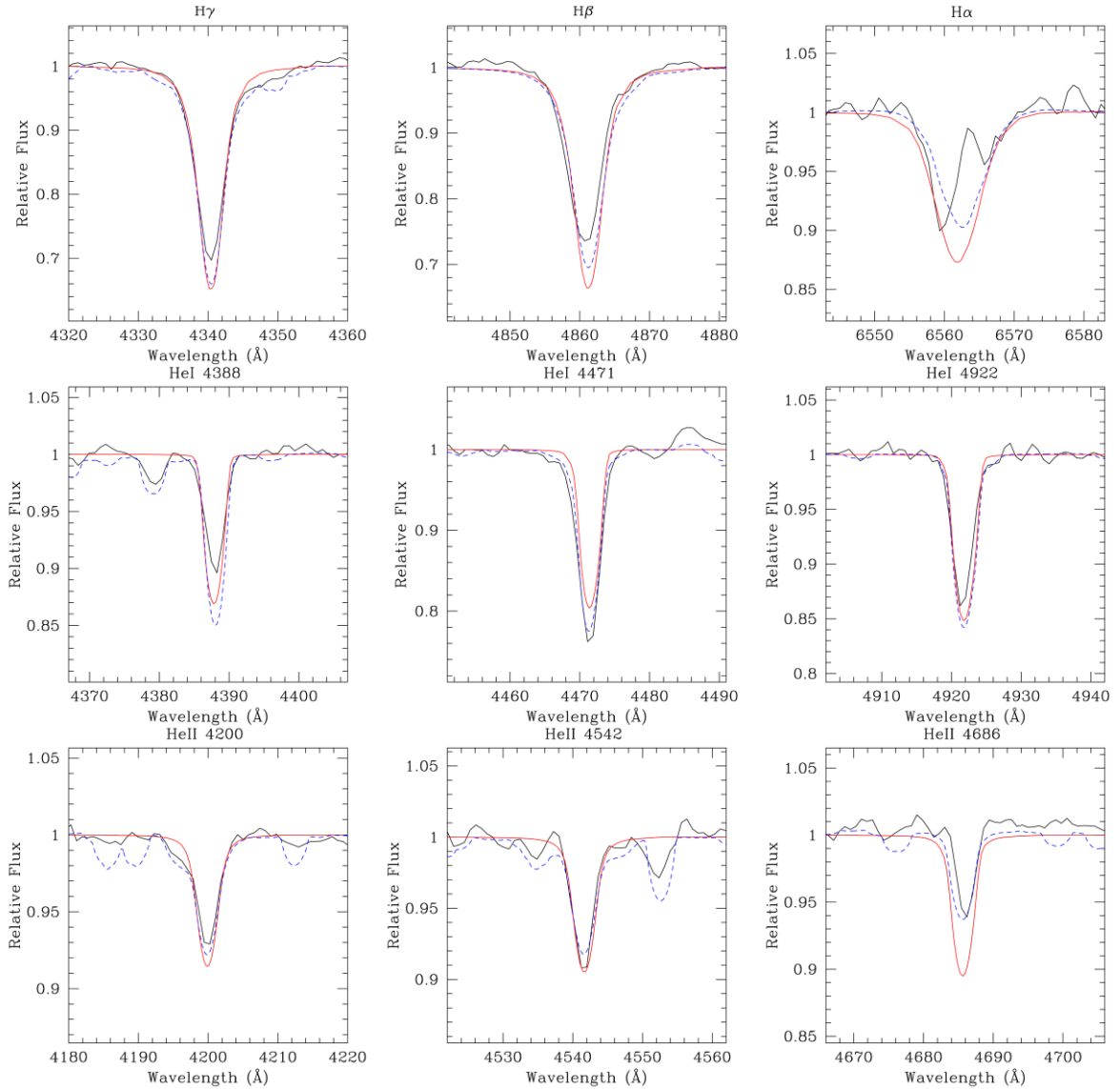
modellerde tayfsal kütleyle evrimsel kütleinin daha iyi uyuşum gösterdiği ancak FASTWIND uygulamasından bulunan tayfsal kütleinin biraz daha küçük kaldığı sonucuna varılmıştır.



Şekil. 2.4. SMC’de bulunan O5.5V((f)) tayf türünden AzV 388 isimli yıldızın tayfına uygulanan model eğrileri. Siyah çizgi gözlenmiş tayfı, kırmızı çizgi FASTWIND modelini ve kesikli mavi çizgi CMFGEN ile elde edilmiş kuramsal modeli göstermektedir (Massey ve ark. 2013).

LTE durum için ise daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında ATLAS modellerinin bu alanda sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. ATLAS ve MARCS atmosfer modelleri için literatürde birçok karşılaştırma yapılmıştır. Her iki yazılımla da, F-G-K yıldızları için,

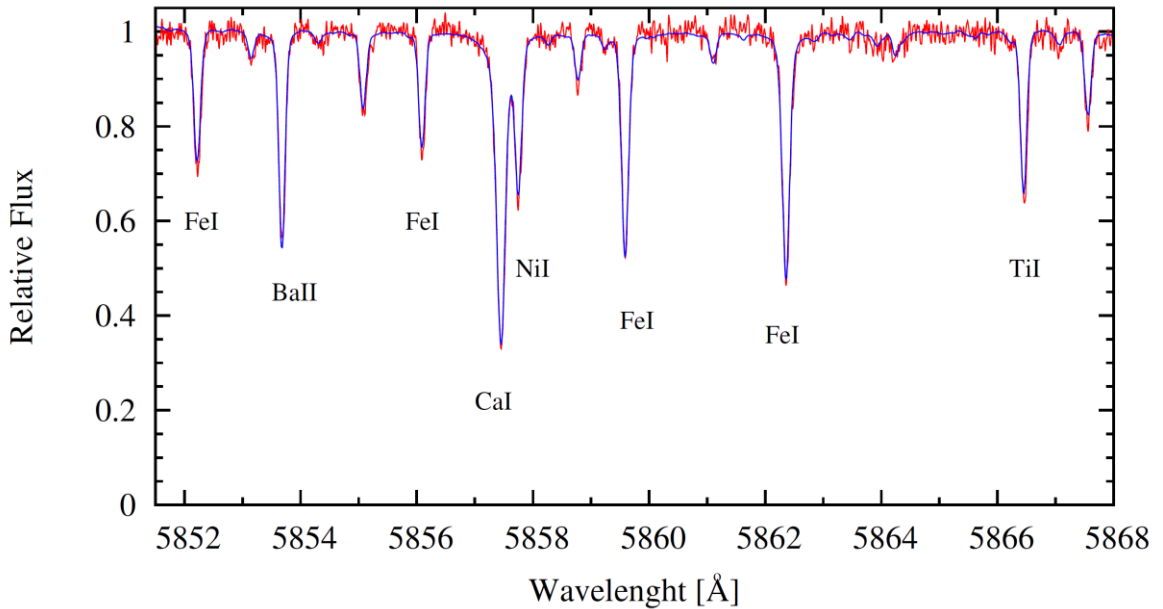
gözlenen tayfları ile oldukça uyumlu modeller üretilmiştir (Bonifacio ve ark. 2009, Plez 2011). MARCS modelleri, soğuk yıldızlar ( $T_{eff} < 3750$  K) için daha uyumlu sonuçlar vermesine karşın 8000 K üzerindeki yıldızlar için kullanılamamaktadır. Dolayısıyla, A-F tayf türü arasında ATLAS modellerinin gözlenen tayfları temsilde daha uygun olduğu belirtilmektedir (Bonifacio ve ark. 2012).



Şekil. 2.5. LMC’de bulunan O9.5 I tayf türünden BI 170 isimli yıldızın tayfına uygulanan model eğrileri. Siyah çizgi gözlenmiş tayfı, kırmızı çizgi FASTWIND modelini ve kesikli mavi çizgi CMFGEN kuramsal modelini göstermektedir (Massey ve ark. 2013).

Gelişen gözlem teknolojisi ile birlikte atmosfer modelleri, yıldız ışık kürelerinin dışına taşmış ve anakol öncesi cisimlerin yüzey yapılarının modellenmesi ve ötegezegen atmosfer

yapılarının modellenmesi gibi birçok alana hizmet etmeye başlamıştır (Hubeny 2016). Ayrıca gözlemsel tekniğin gelişmesiyle birlikte ortaya çıkan çift ve çoklu yıldızların bileşik tayflarının ayrıştırılması yöntemleri (Bagnuolo ve Gies 1991, Simon ve Sturm 1994) sayesinde çift/çoklu yıldızlar bileşenlerine ayrıştırılmaya (KOREL; Hadrava 1995, 1997), FDBINARY; Ilijic ve ark. 2004, Spectangular; Sablowski ve Weber 2017) başlanmış ve böylece bileşenlerin ayrı ayrı atmosfer özelliklerinin de incelenmesinin yolu açılmıştır (Pavlovski 2004). Ayrıca elde edilen yüksek çözünürlüklü tayflar sayesinde her bir bileşenin genel atmosfer yapılarının yanında detaylı kimyasal yapıları da (Şekil 2.6) incelenmeye başlanmıştır (Pavlovski ve Hensberge 2005, Torres ve ark. 2015, Tkachenko ve ark. 2016) ve bazı çalışmalarda her bir bileşen tayfinin modellerinde bileşenler arasında küçük bolluk farklılıkları bulunduğu ortaya konmuştur (Graczyk ve ark. 2016). Bu alandaki çalışmalar ivmelenerek devam etmekte ve ayrıca üç boyutlu modellerin yaygınlaşmasıyla birlikte büyük bir ilerleme beklenmektedir.



Şekil 2.6. LL Aqr ayrık çift yıldızının yoldaş bileşenine ait ayrıştırılmış tayfı (kırmızı çizgi,  $S/G=90$ ) ile Güneş tayfinin (mavi çizgi;  $S/G=700$ ) karşılaştırılması (benzer çözünürlükte UVES ile alınmış Güneş tayfı) (Graczyk ve ark. 2016).

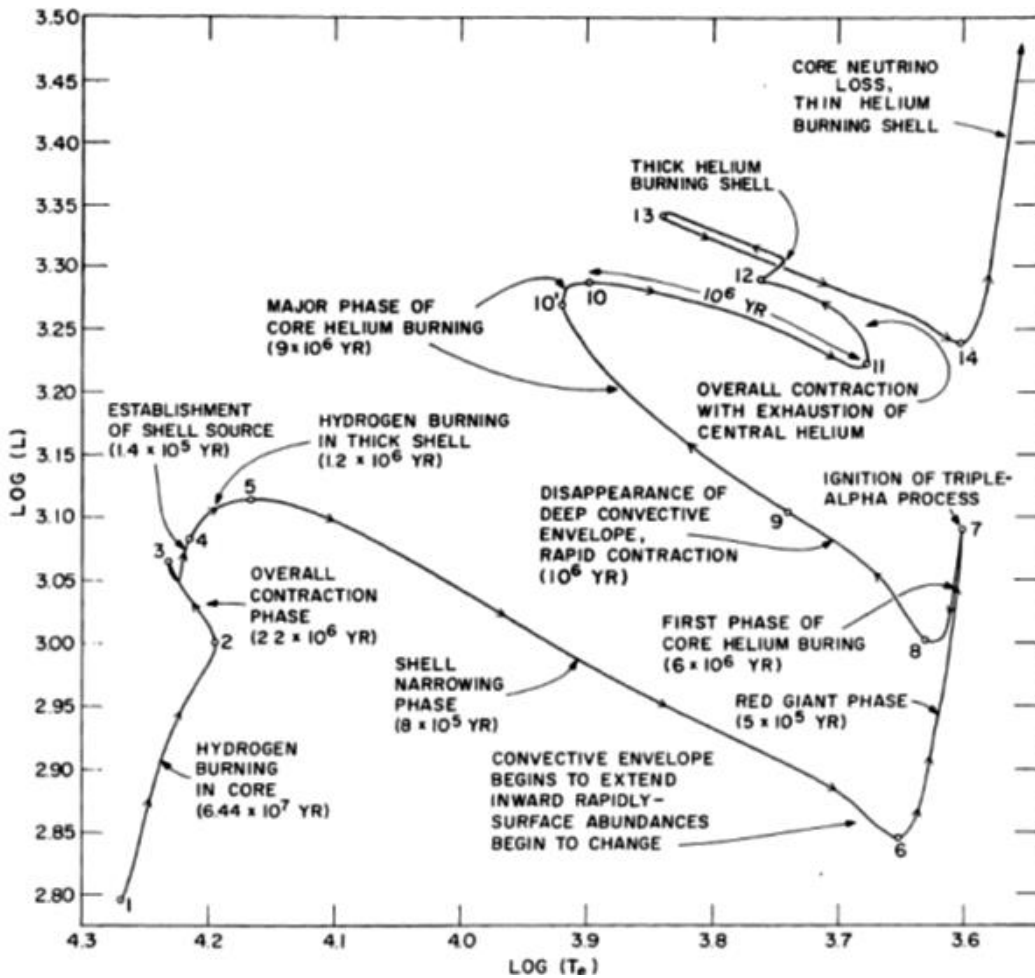
### 2.3. Tek ve Çift Yıldızlarda Evrim Modeli Çalışmaları

Yıldız evrim modelleri, astrofiziksel olayların zaman bağımlılığını, yıldızların oluşumdaki başlangıç özelliklerini (kütle, kimyasal bolluk vb.), yıldız yaşlarını ve bütünüyle yıldız yaşamını anlamak için gereklidir. Yıldız evrim modellerinin temel yapısı, enerjinin,



momentumun ve kütleinin korunumu varsayımıyla uzun yıllardır bilinmektedir.

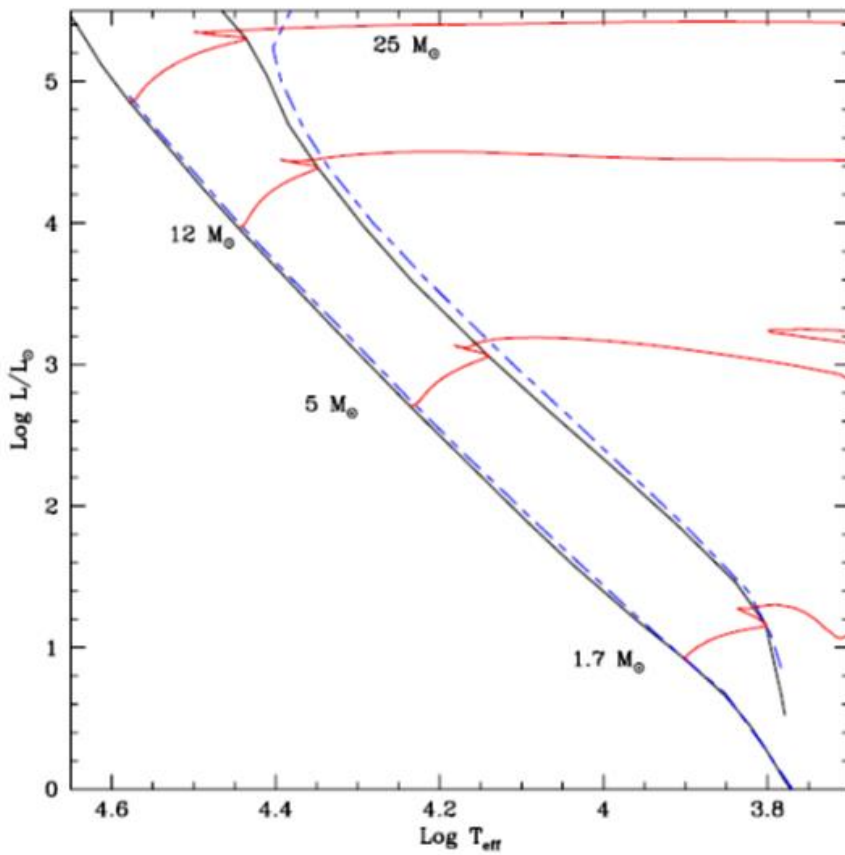
1960'lı yıllarda bilgisayar teknolojinin gelişmeye başlamasıyla birlikte gelişmeye başlayan evrim modelleri çalışmalarıyla orta ve büyük kütleli yıldızların anakol ve sonrası evrimleri açıklanmaya çalışılmıştır (Iben 1965, 1967 a-b-c-d, 1991, Henyey ve ark., 1964). Iben, 1967'de yaptığı çalışmalarda 0.25 ile  $15M_{\odot}$  kütleli metalce zengin Öbek I yıldızlarının evrim yollarını hesaplamış ve  $5M_{\odot}$  kütleli bir örneği ayrıntılı olarak ince kabuk helyum yanması aşamasına kadar tartışmıştır (Iben, 1967a) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Metalce zengin  $5M_{\odot}$  kütleli yıldızın H-R diyagramındaki evrim yolu. Şekilde ısıtmalar Güneş biriminde, sıcaklıklar ise Kelvin ölçeğinde verilmiştir. Numaralandırılmış her bir nokta arasındaki yaşam süresi yıl cinsinden verilmiştir (Iben 1967a).

İlerleyen yıllarda birçok çalışma grubu evrim yolları ve eş yaş eğrileri üzerine araştırmalar yayınlamıştır. Bu sayede çeşitli kütle aralıkları ve element bollukları için birçok yeni model üretilmiştir (Claret ve Gimenez 1992, Schaller ve ark. 1992, Maeder ve Meynet 2000, Yi ve ark. 2001, Bertelli ve ark. 2008, Bressan ve ark. 2012, Dotter 2016). Tek yıldız

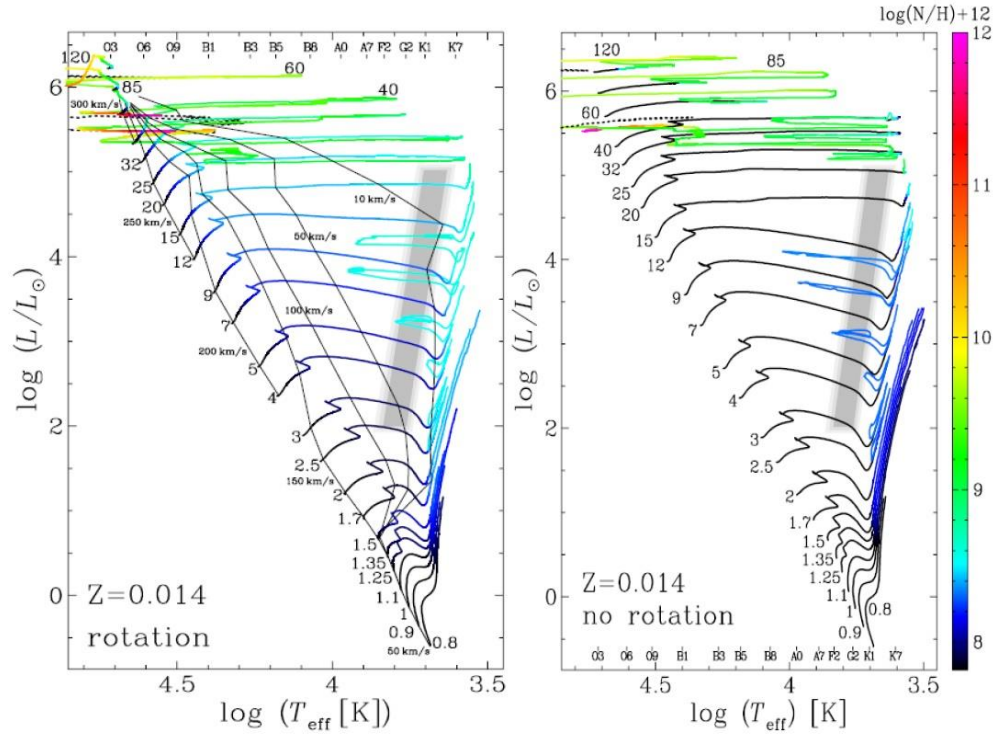
evrim modellerinde gelişen işlemci kapasitesiyle birlikte daha detaylı donukluk, nötrino kayıp oranı ve dolayısıyla enerji üretim mekanizmalarıyla çekirdek sınır aşımının dikkate alınması ve gerektiğinde dönmeli modellerin de kullanılması, modellerin gözlemlerden elde edilen parametrelerle uyumunu oldukça arttırmıştır (Schaller ve ark. 1992, Demarque ve ark. 2004, Maeder ve Meynet 2012, Ekström ve ark. 2012, Choi ve ark 2016). Örneğin; Schaller ve ark. (1992), dönmenin anakol bandı, ZAMS ve TAMS üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı dönme hızları için modeller üreterek karşılaştırmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda, modellerde küçük ve orta kütleli yıldızlar için çok büyük farklılık görülmemesine karşın büyük kütleli doğru gidildikçe dönmenin anakoldan ayrılma noktası üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Dönmeli (düz siyah çizgi) ve dönmesiz (uzun-kısa mavi çizgiler) oluşturulan modellerin anakol bandı boyunca kıyaslaması (Schaller ve ark. 1992).

Kütle kayıp miktarları gibi konularda hala sorunlar yaşanıyor olsa bile, RGB, AGB-AGB sonrası evreleri ve LBV, WR yıldızları gibi oldukça değişken evrim safhaları daha detaylı bir şekilde modellenmeye başlanmıştır. Örnek olarak, Ekström ve ark. (2012)'nin yapmış olduğu çalışmada 0.8-120  $M_{\odot}$  kütle aralığı ve  $Z=0.014$ 'lük bir metal bolluğu için

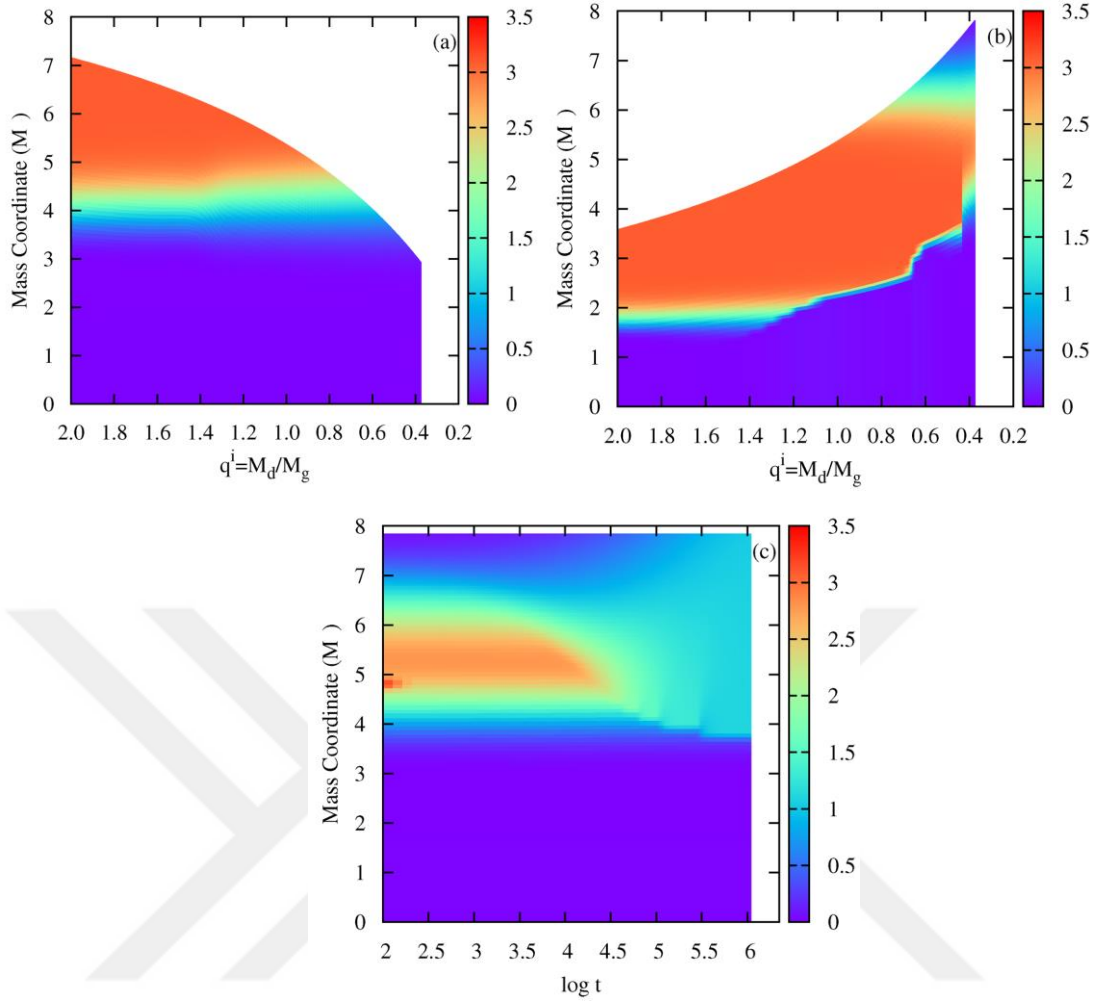
dönmeli ve dönme içermeyen modeller üretilmiş (Şekil 2.9) ve çeşitli etkiler dikkate alınmıştır. İlgili çalışmada, dönmeli tüm modellerde yıldızların ZAMS üzerine  $v_{ini}/v_{crit} = 0.4$  değerinde ulaştığı görülmüştür (Ekström ve ark. 2012).



Şekil. 2.9. Dönme (sol) ve dönme olmadan (sağ) elde edilen modeller ile oluşturulan H-R diyagramı. 0.8-120  $M_{\odot}$  evrim yolları siyah çizgiler ile gösterilmiştir. Nitrojenin hidrojene göre bolluğu renk ölçeği ile gösterilmiştir. Yıldız WNE türü Wolf-Rayet olduğunda evrim yolu siyah kesikli çizgi olarak gösterilmektedir. Ayrıca gri alan Sefeid kararsızlık kuşağını göstermektedir (Ekström ve ark. 2012).

Tek yıldız evrim modellerindeki gelişmeler sonucunda çift yıldızlar için tek yıldız evrim modellerinin yeterli olmadığı dikkate alınarak çekim etkilerinin, Roche yüzeyi taşımalarının ve ortak zarf evriminin daha iyi anlaşılabilmesi açısından çift yıldız evrim modelleri üzerine yapılan çalışmalar hızlanmıştır. Ancak kuramsal olarak çift yıldız evrimi tek yıldız evrimine göre oldukça farklıdır ve karmaşıktır. Özellikle evrimin ilerleyen safhalarında meydana gelen küresel simetriden bozulmalar ile artan etkileşimler ve kütle aktarımları, farklılaşan dönme hızları kuramsal model oluşturmayı güçleştirmektedir (Iben 1991). Çift sistemden kütle kaybı söz konusu olursa toplam kütle değişeceği için açısal momentum değişimleriyle de çift yıldızın evriminde değişimler söz konusu olmaktadır (Eggleton 2006). Ayrıca korunumlu olmayan kütle aktarımının yanında, çekimsel ışınma,

üçüncü cisim etkisi ve manyetik frenleme de yörünge açısal momentumunu etkileyerek çift yıldız evrimini değiştirmektedir (Paczynski 1967, Rappaport ve ark. 1983, Eggleton 1992, 2006). Çift yıldızların evrim modelleri hesaplamalarında yukarıda belirtilen etkilerin birçoğunu dikkate alan STARS-TWIN (Eggleton ve ark. 1971, 1973, 2002, Pols ve ark. 1995, Eldridge ve Tout 2004, Stancliffe ve ark. 2007, Glebbeek ve ark. 2008) ve MESA (Paxton ve ark. 2011, 2013, 2015) gibi yazılımlar geliştirilmiştir. Çift yıldız evrim modeli kullanılarak u Her yıldızının ayırık durumdan yarı-ayırık durumu evrimi ve diğer bileşenin kirlenme miktarları modellenmiş ve gözlemlerle kıyaslanmıştır (Kolbas ve ark. 2014) (Şekil 2.10). Çift yıldız evrim modellemelerinde özellikle yarı-ayırık sonrası ve ortak zarf evresi ve sonrası için birçok model üretilmeye çalışılmaktadır ancak bu aşamalar için oluşan etkilerin çokluğu halen bir sonuca varılmasını engellemektedir. Ayrıca, son yıllarda üçüncü cismin ikili sistemin evrimine etkisinin büyük olduğu göz önüne alınarak üç cisim dinamikleriyle yıldız evrimi birleştirilmiş ve üçlü yıldız evrimi üreten TRES yazılımı geliştirilmiştir (Toonen ve ark. 2016).



Şekil 2.10. u Her sistemi için, RMT'nin bir göstergesi olarak, kütle oranı değişimi sırasında kütle veren (a) ve kütle alan (b) bileşenin kütle konumuna göre iç C/N oranı değişimi (Kolbas ve ark. 2014).

## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Gözlemsel Veriler

Doktora tez çalışmasının analizlerinde kullanılan verilerin bir bölümü bu çalışma kapsamında yapılan gözlemlerden elde edilirken bir kısmı ise literatür, uydu ve yer tabanlı gözlemsel veri arşivlerinden toplanmıştır. Fotometrik gözlemler, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde (ÇOMÜG), tayfsal gözlemler ise TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) ve Dominion Astrofizik Gözlemevi'nde (DAO) gerçekleştirilmiştir. V335 Ser sistemine ilişkin birkaç tayf verisi de doktora tezi öncesi çalışmalarda Catania Astrofizik Gözlemevi'nde (CAO) yapılan gözlemlerden elde edilmiştir. Bunun yanında, fotometrik veriler için ASAS, *Hipparcos* ve *Kepler* uydusu veri tabanlarından, bazı tayfsal veriler için ise ELODIE veri tabanından da yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında gözlemleri yapılan çift yıldızların genel bilgileri Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Bu çalışmada gözlemleri yapılan ayırık çift sistemlerin Simbad veri tabanından derlenen genel bilgileri ve analizlerde kullanılan verilerin kaynakları.

Yıldız Adı	Parlaklık (V) (Kadir)	Tayf Türü	Sağ Açıklık (sa:dk:s)	Dik Açıklık (° ' ")	Işık Eğrisi Veri Kaynağı	Tayf Veri Kaynağı
HD 350731	9,60	B9	19:53:45,26	20:30:33,2	ÇOMÜG	DAO
KIC 6525196	10,22	-	19:30:52,3	41:55:20,8	ÇOMÜG- <i>Kepler</i>	DAO
KIC 8043961	10,69	-	19:46:55,5	43:50:27,8	ÇOMÜG- <i>Kepler</i>	DAO
V335 Ser	7,49	A0V	15:59:05,8	00:35:44,6	ÇOMÜG	Elodie-CAO
V397 Cep	7,40	A2	00:03:23,9	73:10:28,2	ÇOMÜG	DAO
V1385 Ori	7,46	A0	06:01:10,5	19:25:13,6	ASAS	TUG
HIP 25284	7,68	B5	05:24:30,5	41:49:37,4	<i>Hipparcos</i>	TUG

#### 3.1.1. Yer Tabanlı Gözlemler

HD 350731, KIC 6525196, KIC 8043961, V397 Cep ve V335 Ser ayırık çift yıldızlarının ışık eğrisi gözlemleri ÇOMÜG'de yapılmıştır. Bunlardan V335 Ser sisteminin gözlemleri tez çalışması öncesi elde edilmiştir. V1385 Ori'nin ışık eğrisi ise V bandında yürütülen ASAS gözlemlerinden alınmıştır. Tayfsal veriler ise HD 350731, KIC 6525196, KIC 8043961 ve V397 Cep çift yıldızları için DAO, V1385 Ori ve HIP 25284 için TUG'tan

elde edilmiştir. Ayrıca, V335 Ser için daha önceden CAO’da elde edilen tayfsal verilerin yanı sıra V335 Ser ve V397 Cep için Elodie tayf veri tabanından kullanıma açık veriler de analizlerde kullanılmıştır.

### 3.1.1.1. ÇAAM Verileri

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Astrofizik Araştırma Merkezi (ÇAAM) ve Ulupınar Gözlemevi (ÇOMÜG), 2001 yılından beri çalışmalarına devam etmektedir. Kurum bünyesinde, 122 cm (T122) Cassegrain-Nasymth, 60 cm (T60), 40 cm (T40) ve 30 cm çaplı (T30) Schmidt-Cassegrain tipi teleskoplar aktif olarak kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında, T30 ve T60 teleskoplarından yararlanılmıştır. 2012 – 2016 gözlem dönemlerinde Strömrgren (*uvby*) ve Johnson-Morgan (*BVR*) süzgeçleri kullanılarak yapılan gözlemler, çift sistemlerin özelliklerinin anlaşılması ve özellikle tayfsal ayrıştırma çalışmalarında gerekli olan farklı dalgaboylarında sistemin bileşenlerinin akı katkılarının belirlenebilmesi amacıyla planlanmıştır. HD 350731 çift yıldızının gözlemleri 2012-2014 yılları arasında T60 teleskobunda *BVR* filtreleriyle SBIG STL1001E CCD kamera kullanılarak 13 gece boyunca yapılmıştır. KIC 6525196 sisteminin gözlemleri ise, Mayıs-Eylül 2015 gözlem döneminde (25 gece boyunca) T30 teleskobunda Apogee U47 CCD kamera ile orta band “*vby*” filtreleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yine aynı gözlem döneminde 15 gece boyunca, KIC 8043961 sistemi de T30 teleskobuyla gözlenerek orta band “*vby*” filtrelerinde ışık eğrileri elde edilmiştir. V397 Cep yıldızının fotometrik gözlemleri 2015-2016 gözlem döneminde T30 ve T60 teleskoplarında orta band “*uvby*” filtrelerinde yapılmıştır. V335 Ser yıldızının gözlemleri ise 2009 yılında *BVR* filtrelerinde elde edilmiş olup veriler bu çalışmada yapılan analizler için hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen tüm fotometrik gözlemlere ilişkin özet bilgiler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Fotometrik gözlemleri yapılan sistemler için gözlem bilgisi.

Yıldız Adı	Kullanılan Teleskop	Filtre
HD 350731	T60	<i>BVR</i>
KIC 6525196	T30	<i>vby</i>
KIC 8043961	T30	<i>vby</i>
V335 Ser	T30	<i>BVR</i>
V397 Cep	T30-T60	<i>uvby</i>

### 3.1.1.2. Tayf Verileri

Tez çalışması kapsamında kullanılan tayf verileri DAO, TUG, Elodie veri tabanı ve CAO'da elde edilen verilerden oluşmaktadır. DAO'dan elde edilen tayflar 2012-2013 yaz döneminde, 1.85 metrelik Plaskett teleskobuna bağlı cassegrein odağında bulunan slit tayfçeker ile elde edilmiştir. Tayfçekerin çözümüme gücü yaklaşık 9000 olup merkezi dalga boyu  $4500\text{\AA}$  olarak ayarlanmıştır ve  $4370\text{-}4631\text{\AA}$  dalga boyu aralığında tayf almaya olanak sağlamaktadır. DAO'dan tayfı alınan sistemler HD 350731, KIC 6525196, KIC 8043961 ve V397 Cep çift yıldızlarıdır ve gözlemler sonunda sistemler için sırasıyla 23, 21, 10 ve 17 adet tayf elde edilmiştir. V335 Ser yıldızı için ise, İtalya'nın Catania şehrinde bulunan INAF-Catania Astrofizik Gözlemevi'ndeki 91cm Cassegrain türü teleskoba bağlı echelle tayf çekeri ile 12 Mayıs – 20 Haziran 2008 tarihleri arasında yapılan gözlemlerde  $4300\text{-}6650\text{\AA}$  dalgaboyu aralığında ve çözünürlüğü yaklaşık 22000 olan 17 tayf elde edilmiştir. Aynı sistem için ek olarak Elodie veri tabanından elde edilen 10 adet tayf verisi de analizlerde kullanılmıştır. V1385 Ori ve HIP 25284 çift yıldızlarının tayfsal verileri, TUG'da 150 cm çaplı RTT150 teleskobunun Coude odağında bulunan ortalama 42000 çözünürlüklü echelle tayf çekeri kullanılarak alınmış olup sistemler için sırasıyla 10 ve 15 adet tayf elde edilmiştir. Verisi alınan cisimlere ait, alınan tayf sayısı, ortalama poz süresi, sinyal/gürültü ( $S/G$ ) oranları ve gözlemevi bilgisi Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.3. Tayf gözlemleri yapılan çift sistemlerin gözlem bilgileri.

Yıldız Adı	Alınan Veri Sayısı	Ortalama Poz Süresi (s)	Ortalama $S/G$	Gözlemevi
HD 350731	23	1500	150	DAO
KIC 6525196	21	3200	120	DAO
KIC 8043961	10	3200	130	DAO
V335 Ser	17	2700	100	CAO
V397 Cep	17	600	300	DAO
V1385 Ori	10	3600	80	TUG
HIP 25284	15	3600	80	TUG

### 3.1.1.3. ASAS Verileri

ASAS (The All Sky Automated Survey) gökyüzü taraması, 14 kadirde daha parlak yıldızların ışık değişimlerini gözlemek amacıyla başlatılmış bir projedir (Pojmanski 1997). Proje kapsamında düşük bütçeli CCD kameralar ile donatılmış otomatik aletler kullanılmaktadır. Bu sistemler ile yapılan gözlemlerin bir kısmı kuzey bir kısmı ise güney yarım küre üzerinden yürütülmektedir. Gözlemler, eş zamanlı olarak  $V$  ve  $I$  bandında elde



edilmektedir. ASAS verileri ile güney yarım kürede ( $\delta < 28^\circ$ ) gözlenen sistemler kullanılarak kapsamlı bir değişen yıldızlar kataloğu (ACVS) oluşturulmuştur. Yıldızların V-bandındaki verilerini içeren bu katalog kullanılarak, bu çalışmada yer alan V1385 Ori ayrık çift yıldız sisteminin ışık eğrisi A-sınıfı verileriyle oluşturulmuş ve analize hazır hale getirilmiştir.

### **3.1.2. Uydu Gözlemleri**

Yer atmosferinin gözlemler üzerindeki olumsuz etkilerinden kaçınılması ve yüksek hassasiyetli gözlemlerin yapılabilmesi açısından uydu gözlemleri oldukça önemlidir. Tez çalışması kapsamında seçilen bazı çift yıldızların ışık eğrileri bu tür gözlemler sonucunda elde edilmiş olup erişilebilir durumdadır. Bu bağlamda, tez kapsamında seçilen dört adet sistemin fotometrik verileri, temel parametrelerin hassas bir şekilde belirlenebilmesi amacıyla, Kepler uydu gözlemlerinden oluşturulan veri tabanından alınarak derlenmiştir.

#### **3.1.2.1. Kepler Verileri**

*Kepler* uzay aracı temel olarak ötegezegen araştırmaları açısından uzaya yollanmış ve oldukça hassas ışık ölçüm algılayıcılarıyla donatılmıştır. *Kepler* ışık ölçüm için 95 cm açıklığa sahip Schmidt türü teleskop tasarımına sahip birleştirilmiş 42 CCD ile 12 derecelik bir görüş açısına sahiptir. Uydu üzerindeki optik sistem, 12 kadirlik G2V türü bir yıldızın etrafında dolanan Dünya boyutlarındaki bir gezegeni  $4\sigma$  duyarlılıkla gözleyecek kapasitede tasarlanmıştır. Aletin etkin bant genişliği 400 ile 850 nm arasındadır. Verilerini kısa (SC) ve uzun (LC) süreli pozları olmak üzere sırasıyla 30 s ve 30 dk'lık aralıklarla almaktadır. Tez çalışması için seçilen yıldızlardan KIC 6525196, KIC 8043961 ve KIC 10154064 yıldızlarının hem kısa hem de uzun poz süreli verisi bulunmaktadır. KIC 3327980 yıldızının ise sadece uzun süreli verileri *Kepler* veri tabanında kullanıma açıktır. Bu çalışmada kapsamında, yukarıda söz edilen dört ayrık çiftin *Kepler* ışık eğrileri analizlerde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

#### **3.1.2.2. Hipparcos Verileri**

*Hipparcos* astrometri çalışmaları amacıyla 1989 ile 1993 yılları arasında 12.4 kadirde daha parlak yıldızların fotometrik ve astrometrik gözlemlerini yapmak amacıyla uzaya gönderilmiştir. *Hipparcos* uydu teleskobu, amacı gereği tek kaynaktan fazla sayıda nokta almadığı ve zaman çözünürlüğü düşük olması nedeniyle diğer hassas uydu gözlemlerine göre ışık eğrisi modelleme çalışmaları için çok uygun değildir ancak ışık eğrisi verisi bulunmayan sistemlerin temel parametrelerinin tahmin edilmesinde yine de

kullanılabilmektedir. Bu bağlamda, verileri sadece *Hipparcos* veri tabanında yer alan HIP 25284 yıldızının ışık ölçüm verileri bu çalışmadaki analizlerde kullanılmıştır.

### 3.2. Işık Eğrisi Analiz Yöntemleri

Tez çalışması kapsamında yapılan CCD fotometrik gözlemlerden elde edilen verilerin indirgenmesinde C-Munipack yazılımı (<http://c-munipack.sourceforge.net/>) kullanılmıştır. Öncelikle ham CCD görüntüleri için bias, dark ve flat düzeltmeleri yapılmış olup sonrasında aletsel parlaklıklar belirlenmiştir. Tez çalışmasında fark fotometrisi tercih edilmiştir ve hedef sistemlere uygun mukayese yıldızları kullanılarak gözlenen sistemlerin ışık eğrileri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında ışık eğrisi gözlenen veya ışık eğrileri veri tabanlarından elde edilen ayırık yıldız sistemlerinin ışık eğrisi analizlerinde oldukça yaygın olarak kullanılan JKTEBOB ve uzun yıllardır bu alanda en çok kullanılan ve sürekli yenilenen Wilson-Devinney (WD) yazılımları kullanılmıştır. Başlangıç analizleri sırasında tüm ışınım albedoları Rucinski (1969)'dan alınmış olup ışınımsal atmosfer için 1, konvektif atmosfer için 0.5 değerleri kullanılmıştır. Çekimsel kararına ise, ışınımsal atmosfer için 1, konvektif atmosfer için 0.32 olarak Lucy (1967)'den belirlenmiştir. Kenar kararına katsayıları filtre ve bileşen sıcaklığına göre, Van Hamme (1993), Claret ve Hauschildt (2003) ile Sing (2010)'dan alınmıştır. Işık eğrisi analizleri sırasında dikine hız verileri bulunan ve duyarlı ışık eğrisine sahip cisimler için eş zamanlı çözüm tercih edilmiştir. Dikine hız verisi bulunmayan sistemler için öncelikle kütle taraması yapılmış olup bulunan en olası kütle oranı değeri girdi parametresi olarak kullanılarak ışık eğrileri analiz edilmiştir. Tayfsal ayrıştırması yapılan sistemler için ışık eğrisi çözümünde önce büyük kütleli bileşenin literatür sıcaklıkları kullanılmış belirlenen akı katkılarıyla bileşenler ayrıştırılmış ve yeni sıcaklıklar model atmosfer analizleriyle belirlenmiştir. Son bulunan sıcaklıklar kullanılarak tekrar ayrıştırma yapılmış ve model atmosfer temsilleri ile birinci bileşenlerin sıcaklıkları yeniden hesaplanmıştır. Böylece, elde edilen birinci bileşen sıcaklıkları kullanılarak ışık eğrisi çözümleri sonuçlandırılmıştır. Ayrıca, *Kepler* ışık eğrilerinde tutulmalar dışı değişim gösteren sistemler için, yapılan frekans analiziyle belirlenen frekans ve genlik özelliklerine sahip değişimler, ışık eğrisinden çıkarılarak tutulma dışı değişimler arındırılmıştır ve böylece çözümlerin daha duyarlı hale getirilmesi sağlanmıştır.

#### 3.2.1. Wilson-Devinney Yazılımı

Uzun yıllardır çift yıldızların ışık eğrilerinin analizlerinde sıklıkla kullanılan WD yazılımı (Wilson ve Devinney, 1971; van Hamme ve Wilson, 2003), her geçen gün

güncellenerek geliştirilmektedir. Yazılımda her çift yıldız türü için Roche geometrisine göre 0-6 arasında değişken numaralarla ifade edilen farklı modlar bulunmaktadır. Bu çalışmada seçilen cisimlerin tümünün ayırık olması nedeniyle Roche geometrisine uygun olan MOD 2 seçilmiş ve tüm analizler bu mod ile gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında, sistemlerin ayırık olması da göz önünde bulundurularak, yörünge basıklıkları ( $e$ ), enberiden geçiş boylamı ( $\omega$ ), yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ ), evre kayması değeri, yörünge eğimi ( $i$ ), küçük kütleli bileşenin sıcaklığı ( $T_2$ ), birinci ve ikinci bileşenin potansiyeli ( $\Omega_1, \Omega_2$ ), kütle oranı ( $q=m_2/m_1$ ), bileşenlerin akı katkıları ( $l_1, l_2$ ), üçüncü bileşen katkısı ( $l_3$ ) serbest parametre olarak kullanılmıştır. Analizlerde uygulanan iterasyonlar, serbest bırakılan parametrelerin standart sapma değerleri, değişim değerlerinden büyük oluncaya kadar sürdürülmüştür.

### 3.2.2. JKTEBOB Yazılımı

JKTEBOB yazılımı, ayırık örten çift yıldızların ışık eğrisini, Levenberg-Marquardt iyileştirme algoritması kullanarak modellemek üzere kullanılır (Southworth 2013). Özellikle ayırık çiftler ve ötegezegen geçiş analizlerinin ışık eğrilerini modellemek için geliştirilmiş bir yazılımdır. Ayrıca, kapsamlı Monte Carlo simülasyonları ve hata analizleriyle zenginleştirilmiştir. Ek olarak kenar kararması için doğrusal olmayan karar ma katsayıları kullanılabilir durumdadır. Bu durum özellikle *Kepler* ışık eğrileri çözümlerindeki uyumsuzlukların giderilmesi ve gezegen geçiş eğrilerinin temsili için önemlidir. Yazılımda kullanılabilir olan kenar karar ma yasaları şu şekildedir; doğrusal (1), ikinci dereceden (2), karekök (3), logaritmik (4), üçüncü dereceden (5) ve Claret'in dört parametrelili yasası. JKTEBOB yazılımının belirli görev kodlarına göre yapabildikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

Görev 1: Çift sistemdeki iki bileşenin girilen etkin sıcaklık ve yüzey çekim ivmesine göre yıldızların kenar karar ma katsayısının hesaplanması için kullanılır.

Görev 2: Oluşturulan parametre dosyasını kullanarak sentetik ışık eğrisini (0 ile 1 evre arası 10000 noktadan oluşan) hesaplar.

Görev 3: Levenberg-Marquardt yöntemini kullanarak gözlenen ışık eğrisini temsil eden en uygun çözümü üretir ve kuramsal ışık eğrisi ile artıkları veren bir çıktı dosyası oluştur. Burada çıktı olarak verilen hatalar, genel hatalar değildir. Güvenilir parametre belirsizliklerini elde etmek için başka bir görev çalıştırılması gerekir.

Görev 4: Bu alt-program ile de en uyumlu kuramsal ışık eğrisi bulunur ancak farklı olarak belirlenen bir standart sapma değerine göre ışık eğriindeki sapan noktaları dışlayarak yeni bir eğri uydurur.

Görev 5: Bu program ise, girdi parametrelerinde değişiklikler yaparak serbest parametreler için küresel bir minimum belirlenene kadar analizi sürdürür.

Görev 6: Girilen parametrelere ve ışık eğrisine göre en iyi uyuşumu bulur. Daha sonra parametrelerde küçük değişiklikler yaparak kuramsal ışık eğrisinin nasıl değiştiğini inceleyerek hata üretir.

Görev 7: Girdi parametrelerini kullanarak parametre sıkıştırması yapar ve parametrelerdeki belirsizlikleri belirlemeye çalışır. Bulunan parametreler arasındaki farklılık parametrelerdeki belirsizliği verir. Parametre sıkıştırma yöntemi için detaylı bilgi Press ve ark. (1993)'den bakılabilir.

Görev 8: Girilen parametreleri kullanarak en uygun çözümü bulur ve son çözüm parametreleri ile Monte Carlo simülasyonu kullanarak parametre hatalarını tahmin etmeye yarar.

Görev 9: Bulunan en uygun kuramsal modele göre, artık kaydırma yöntemini kullanılır. En uyumlu çözüm etrafındaki artıklar gözlemsel veri boyunca adım adım kaydırılır her kaydırmadan sonra en iyi uyuşum bulunur.

JKTEBOB yazılımı özellikle basık yörüngeli ayrık çift yıldızların ışık eğrisi ve dikine hız verilerinin daha hızlı bir şekilde çözülmesi için oldukça kullanışlıdır. Yazılım ile ilgili daha fazla ayrıntı için <http://www.astro.keele.ac.uk/jkt/codes/jktebop.html> web sitesi incelenebilir.

### **3.3. Zonklama Analiz Yöntemleri**

Tez çalışması kapsamında seçilen iki *Kepler* yıldızı KIC 6525196 ve KIC 8043961'in ışık eğrilerinde tutulmalar dışı zamana bağlı değişimler gözlenmiştir. Tutulma dışı değişimlerin daha duyarlı araştırılabilmesi ve frekans analizlerinde çiftlik etkililerinin azaltılabilmesi adına ışık eğrileri örtme ve örtülmeler ile yakınlık etkilerinden arındırılmaya çalışılmıştır. Işık eğrilerinin tutulma dışı değişimlerinin modellenmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan Period04 ve SigSpec yazılımları tercih edilmiştir.

#### **3.3.1. Period04 Yazılımı**

Period04, Fourier yöntemini temel alarak değişen yıldızların ışık eğrilerindeki varsa dönemli değişimlerden kaynaklanan frekans özelliklerini belirleyen bir yazılımdır (Lenz ve

Breger 2005). Yazılım, temel olarak üç birimden oluşmaktadır; zaman dizisi, en uyumlu kuramsal modeli üretme birimi ve Fourier birimi. Zaman dizisi birimi, analiz edilecek sistemin verilerinin girilmesi, girilen verilerin bölümlere ayrılmasına veya birleştirilmesine imkan sağlar. Kuramsal model üretme biriminde ise analiz edilen sistemin ışık değişimlerine karşılık gelen frekanslar ve genlikler en küçük kareler yöntemi kullanılarak belirlenir ve gözlemsel veriler ile en uyumlu model belirlenir. Aynı zamanda bu birimde elde edilen frekans, genlik ve evre değerlerinin hataları üretilir. Fourier birimi ise zaman dizisi biriminde girilen verilerin Fourier dönüşümü kullanılarak analiz edildiği birimdir. Bu birimde frekanslar girilen aralık çerçevesinde taranır ve elde edilen frekansların varsa harmonikleri veya kombinasyonları verilir. Yazılım, analizler sonucunda elde edilen frekansların S/G oranlarının ve gürültü frekansının elde edilmesine de imkan sağlamaktadır (Lenz ve Breger 2005).

### **3.3.2. SigSpec Yazılımı**

SigSpec (SIGNificance SPECTrum), ayrık Fourier dönüşümüyle genlik tayfindaki anlamlı frekansların hesaplanmasında kullanılan bir yazılımdır (Reegen 2011). Yazılımın temeli bir genlik seviyesinin ve evrenin olasılık fonksiyonu için analitik çözümler yapmaya dayanır. Yazılım girilen zaman serilerini kullanarak sisteme ait anlamlı frekansları her seferinde bir önceki frekansın gürültüsünü çıkararak aşamalı olarak elde etmektedir. Analiz sırasında en küçük kareler yöntemi kullanılarak frekans bileşenlerinin tümü belirlenir ve bu özellik yazılımı çoklu frekansların belirlenmesinde güçlü kılmaktadır. Frekansların belirlenmesinin yanı sıra yazılım aynı zamanda da frekansların kombinasyon ve harmoniklerini de vermektedir. SigSpec, temel frekansı ve onun harmoniklerini eş zamanlı olarak göz önüne alarak bir veri grubundaki sinüsoidal olmayan dönemsel değişimleri de belirleyebilmektedir (Reegen 2011).

### **3.4. Tayf Analiz Yöntemleri**

Yeterli tayfsal verisi olan çift yıldızların tayf analizlerinde genellikle izlenen aşamalar; dikine hız okuma, bileşenlerin ayrıştırılması ve bileşenlerin atmosferlerinin modellenmesi şeklinde ilerlemektedir. Bu çalışmada, verisi DAO, TUG ve CAO'dan yeni alınmış sistemler için öncelikle indirgeme işlemleri yapılarak tayf verisi analize hazırlanmıştır. Elodie veri tabanından alınan veriler ise doğrudan analize dahil edilmiştir. Tayfsal ayrıştırma işlemi için KOREL ve FDBinary, ayrıştırılan bileşenlerin atmosfer modellemeleri için SME ve iSpec yazılımları tercih edilmiştir.

### 3.4.1. Ön İndirgeme ve Dikine Hız Ölçüm Yöntemleri

Ön indirgeme işlemleri tüm tayfsal veriler için aynı sıralamayla yapılmıştır. Bu işlem için IRAF (<http://iraf.noao.edu>) yazılımı ve alt paketleri kullanılmıştır. İndirgeme işlemi sırasıyla, bias çıkarması, saçılmış ışık düzeltilmesi, tayf çıkarma/dönüştürme işlemi, flat düzeltilmesi, dalgaboyu kalibrasyonu ve normalizasyon işlemlerinden oluşmaktadır. Dalgaboyu düzeltilmesi için, Th-Ar ve Fe-Ar lamba tayfları kullanılmıştır. Dikine hız ölçüm işlemi için ise seçilen standart yıldızlar ve bazı temel bilgileri Çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3.4. Dikine hız ölçümlerinde kullanılan standart yıldızlar ve bazı özellikleri.

Yıldız Adı	Parlaklık (V) (Kadir)	Tayf Türü	Sağ Açıklık (sa:dk:s)	Dik Açıklık (° ' ")	RV (kms <sup>-1</sup> )
21 Peg	5,82	B9,5V	22:03:19,03	11:23:11,57	-0,2
Vega	0,03	A0V	18:36:56,3	38:47:01,3	-13,9
28 Boo	4,46	F2IV	14:34:40,8	29:44:42,5	0,2
HD 217877	6,68	F8V	23:03:57,3	-04:47:41,5	-12,9
72 Her	5,4	G0V	17:20:39,3	32:28:21,2	-78,7
HD 188512	3,71	G9,5IV	19:55:18,8	06:24:24,3	-39,8

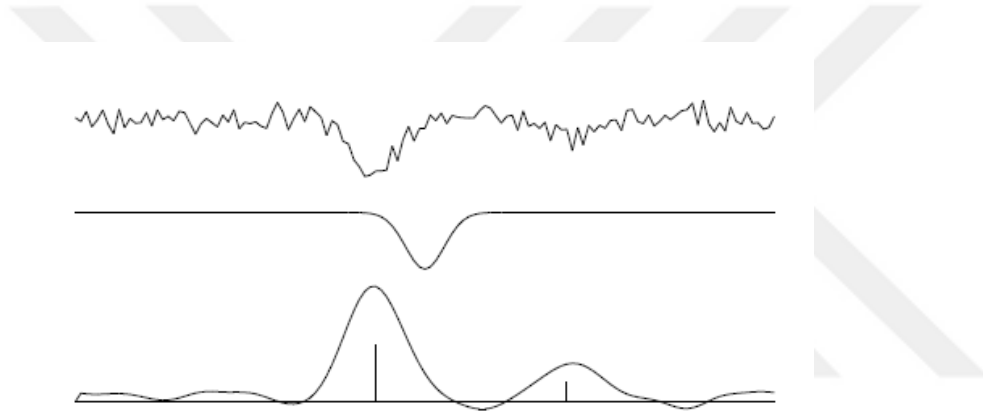
Güneş merkezli dikine hız düzeltilmesi işleminden sonra çapraz-eşleştirme yöntemini çalıştıran FXCOR paketi kullanılarak çift yıldızların bileşenlerinin dikine hızları hesaplanmıştır. Bu yöntem temelde, bir standart veya sentetik tayfin gözlemlerden elde edilen hedef cismin tayflarıyla dalgaboyu eksenini boyunca çizgi eşleştirmesine ve oluşan dalgaboyu farkının ölçülmesine olanak sağlar. Özellikle tayfta biraz daha sönük kalan yoldaş bileşenin varlığı durumunda bile ilgili bileşenin dikine hızının okunması için kullanışlı bir yöntemdir (Şekil 3.1). Yönteme kısaca değinilecek olursa, tayftaki Doppler kayması logaritmik dalgaboyu ölçeğinde sabittir;

$$x = c \ln \lambda \quad (3.1)$$

Rölativistik olmayan durum  $v = \frac{c \Delta \lambda}{\lambda} = \Delta x$  için incelersek,  $v$  dikine hız (bakış doğrultumuzdaki hızı), olduğu düşünülerek çapraz eşleme,

$$F(v) \equiv \int I(x + v)J(x) dx \quad (3.2)$$

fonksiyonuyla gerçekleştirilir. Burada,  $I(x)$  gözlenen hedef yıldız tayfı,  $J(x)$  tayfını aldığımız yıldızın özelliklerine uygun olarak seçilen standart tayfı olmak üzere, 3.2 denklemi çapraz eşleme fonksiyonu olarak tanımlanır. İdeal bir standart  $J$ , hedef yıldız tayfı ile benzer tayf ve ışınım gücü sınıfında olmalı ve düşük dönme hızına sahip olmalıdır. Uygulama olarak, atmosfer modellerinden elde edilen sentetik bir tayf veya benzer tayf türünden gözlenen bir yıldız tayfı kullanılabilir. Ancak çapraz eşleme yöntemi için standart yıldızlar genellikle sadece baş bileşenin tayf türüne yakın tayf türünden yıldızlar olarak seçilmektedir. Bu nedenle sönük yoldaş bileşenlerin eşlemesi görece daha zor olmaktadır.



Şekil 3.1. Çapraz eşleme yönteminin sentetik bir tayf ve gözlenen çift yıldız tayfına uygulanması sonucunda elde edilen uyuşum tayfı. En üst çift yıldız tayfı, orta sentetik tayf, en alt ise uyuşumu göstermektedir.

Bu nedenle, çapraz eşleme yöntemi, iki boyutlu çapraz eşleme yöntemine genelleştirilebilir. İki-boyutlu çapraz eşleme fonksiyonu;

$$F(v_1, v_2) = \int I(x)[J_1(x - v_1) + J_2(x - v_2)] dx \quad (3.3)$$

şeklinde tanımlanır (Zucker ve Mazeh, 1994). İki boyutlu çapraz eşleme yöntemi sayesinde farklı fiziksel özelliklerde baş ve yoldaş bileşenli sistemler için, uygun iki farklı standart yıldız kullanılabilir.

### 3.4.2. Tayfsal Ayırıştırma

Çift ve çoklu yıldızların daha iyi anlaşılabilmesi ve her bir bileşenin iyi bir şekilde çözümlenebilmesi açısından bileşenlerin tayflarının ayırıştırılması önemlidir. Bu sayede bileşenlerin tayflarının ayrı ayrı analizleriyle atmosfer parametreleri ve diğer astrofiziksel parametrelerinin daha duyarlı bulunması mümkün olacaktır. Günümüzde tayfsal ayırıştırma için kullanılan birkaç yazılım mevcuttur. Bunlardan kullanımını en yaygın olan ikisi KOREL ve FDBinary yazılımlarıdır ki bu çalışmada da kullanılmışlardır.

#### 3.4.2.1. Korel Yazılımı

KOREL (cross-correlation for RV-measurements to solve for the orbital elements) Ondrejov Gözlemevi'nden Hadrava (1995) tarafından geliştirilen, elde edilen tayfsal ve fotometrik verilerinin birlikte işlenmesine olanak veren bir yazılımdır. Bu yazılım, mevcut bütün evrelerdeki tayfları kıyaslayarak, Doppler kaymaları yardımıyla bileşenlerin dikine hızlarını ve ek olarak eş zamanlı yörünge parametrelerini elde edilmesine olanak sağlarken, bileşenlerin tayflarını da ayırştırmaktadır. KOREL matematiksel yöntem olarak Fourier dönüşümlerini kullanmaktadır. Yazılımın kullandığı matematiksel yöntem temel olarak çapraz eşleme yöntemine benzemektedir ancak standart çapraz eşleme yönteminden farklı olarak KOREL, değişen yıldızın farklı evrelerindeki tüm tayfları karşılıklı olarak karşılaştırır ve bileşenlerin tayflarını ayırıştırır. Korel, sayısal yöntem olarak, hızlı fourier dönüşümü (FFT) yöntemini kullanır. Bu nedenle girdi tayfları logaritmik dalgaboyunda, eşit uzaklıkta ve  $2^n$  sayıda ayrılmış olmalıdır.

KOREL yazılımında kullanım sırasında gerekli ve serbest bırakılacak parametreler şu şekildedir:  $P$  (sistemin yörünge dönemi, gün biriminde),  $T_0$  (başlangıç minimum zamanı, HJD),  $e$  (yörünge basıklığı),  $\omega$  (enberi boylamı, derece),  $K$  (dikine hızın yarı genliği-düşük genlikli bileşen,  $\text{km s}^{-1}$ ),  $q$  (bileşenlerin kütle oranı) olmak üzere temel olarak çözüm için gerekli olan ve aynı zamanda serbest bırakılabilen yörünge elemanlarıdır. Bunların dışında sisteme ilişkin ışık eğrisinin olması ve buradan elde edilen evreye göre bileşenlerin ışınım katkıları, bileşen tayflarının daha doğru ayırıştırılmasına olanak sağlamaktadır.



```

1 1 0 0 2 1 0 2 2 | key(1,...,5), k= Nr. of sp., filter, plot, print
o 0 1 0 1 1 1.234567 0.000001 | sum= 9.8765
o 0 2 1 1 1 50001.000 .1 |
o 0 3 0 1 1 0.00 .1 |
o 0 4 0 1 1 90.00 1. |
o 0 5 1 1 1 120.0 .5 |
o 0 6 1 1 1 .5 .1 |
o 3 1 0 1 1 365.256360000 0.100 = PERIOD(3)
o 3 2 0 1 1 51547.520600000 10.000 = PERIASTRON EPOCH
o 3 3 0 1 1 0.016710220 0.001 = ECCENTRICITY
o 3 4 0 1 1 301.795199910 10.000 = PERIASTRON LONG.
o 3 5 0 1 1 0.001000000 0.000 = K1
o 3 6 0 1 1 0.000038185 0.000 = M2/M1, K2 = 26.188293833
o 3 7 0 1 1 0.000009111 0.000 = d omega/dt
o 3 8 0 1 1 0.000000000 0.100 = d P/dt
s 5 1 0 1 1 -0.15890 0.10000
s 5 2 0 1 1 0.07530 0.10000
s 5 3 0 1 1 0.10141 0.10000
s 5 4 0 1 1 0.20137 0.10000
s 5 5 0 1 1 0.18172 0.10000
s 5 6 0 1 1 0.04557 0.10000
s 5 7 0 1 1 0.05994 0.10000
s 5 8 0 1 1 -0.10638 0.10000
s 5 9 0 1 1 -0.17056 0.10000
x 0 0 0 0 0 0 0 | end of elements

```

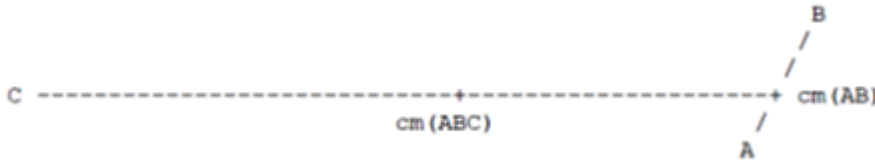
Şekil 3.2. Korel yazılımının tüm adımlarının kontrol edildiği korel.par dosyasının görünümü.

Uygulama olarak bakılırsa, yukarıda belirtilen biçimde veri girişinin sağlanması amacıyla birkaç yardımcı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri DOS ortamında çalışan “PREKOR” uygulamasıdır. Bu uygulama sayesinde önceden sürekliliği normalize edilen tayfların dalgaboyu-akı şeklinde oluşturulmuş ASCII dosyalarının bir listesi, dosya adı, tayfin alındığı zaman, tayfin ağırlığı, Güneş merkezi düzeltmesinin ve dikine hız düzeltmesinin yapıp yapılmayacağını belirten bir “prekor.lst” dosyası oluşturulur ve içinde tayf verisinin olduğu dosyalar ile birlikte oluşturulan bir klasör içerisinde PREKOR uygulaması çalıştırılır. Bu yazılım, istenilen biçime çevirilmiş PREKOR.OUT dosyasını üretir. Artık tayf verileri fourier dönüşümünün yapılabileceği uygun biçime getirilmiş olur ve bu dosya daha sonra UNIX ortamında çalışacak olan KOREL programına hazır hale getirilir ve korel.dat olarak UNIX işletim sisteminde tekrar kaydedilir. Böylece girdi verisi hazırlanmış olur. Bu aşamadan sonra tüm programın gerekli bilgiyi alacağı ve programın işleyişini kontrol edecek olan “korel.par” dosyası hazırlanır (örnek bir dosya görünümü için Şekil 3.2’ye bakınız). Bundan sonraki işlemler, kodun sağlayıcıları tarafından birkaç yıl önce

oluşturulmuş olan ve ulaşımına açık bir web sitesinden (<http://stelweb.asu.cas.cz/vo-korel>) belirtilen açıklama ve adımları takip ederek uygulanabilmektedir.

### 3.4.2.2. FDBinary Yazılımı

FDBinary, C tabanında yazılmış çift çizgili yıldızların ve ek olarak olası üçüncü bileşenlerin tayflarını ayrıştırmaya yarayan bir yazılımdır (Ilijic ve ark. 2004). Genel olarak Simon ve Sturm (1994), Hadrava (1995) ve Hensberge ve ark. (2008)'nın geliştirdikleri yöntemlerin kombinasyonlarını kullanmaktadır. FDBinary, tayftan bileşenleri ayrıştırmada hızlı bir yöntem olan fourier uzayını kullanmaktadır. Yazılımın çözümlenebildiği klasik bir üçlü sisteme örnek, Şekil 3.3'de verilmektedir. Yazılım logaritmik dalgaboyunda homojen olarak örneklenmiş normalize tayf verileriyle çalışmaktadır. Daha detaylı bilgi için <http://sail.zpf.fer.hr/fdbinary/> web sitesinden yararlanılabilir.



Şekil 3.3. FDBinary yazılımı için tayfsal ayrıştırmaya uygun klasik bir üçlü dizge. A ve B ikili sistemdeki baş ve yoldaş bileşeni, C ise üçüncü bileşeni göstermektedir. *cm* ise kütle merkezini temsil etmektedir (<http://sail.zpf.fer.hr/fdbinary/>).

### 3.4.3. Taysal Sentezleme Yöntemi

Günümüzde en çok tercih atmosfer modeli üretme yöntemidir. Bu yöntemde başlangıç parametresi olarak girilen  $T_{eff}$ ,  $\log g$  değerleri ile mikro türbülans, element bolluğu, dönme hızı değerlerinin kendi içinde kombinasyonları üretilerek oluşturulan model tayfların gözlenen tayflar ile kıyaslanması sağlanır. Gözlenen tayflarla en iyi uyumun elde edildiği tayfin üretilmesinde kullanılan parametreler ilgili yıldızın atmosfer parametrelerini verir. Tez çalışması kapsamında seçilen sistemlerin ışık eğrileri ve dikine hız verilerinin eş zamanlı analizlerinin yapılmasıyla hassas bir şekilde elde edilen her bileşenin dinamik yüzey çekim ivmesi değerleri, model atmosfer uygulamalarında sabit girdi parametresi olarak alınmaktadır. Böylece, diğer atmosfer parametrelerinde oluşabilecek dejenerasyonun kısmen önüne geçilebilmektedir. Adım olarak sabit alınan  $\log g$  değerleri sonrasında bulunan atmosfer sıcaklıkları ve dönme hızları ile sonraki adım olan metal bolluğu ve mikro

türbülans hesaplaması gelmektedir. Tayfsal sentezleme yöntemi çözüm adımları, seçilen yazılımlar yardımıyla belirtildiği şekilde yapılarak her bir bileşen için atmosfer modelleri oluşturulmuştur.

#### **3.4.3.1. SME Yazılımı**

SME (Spectroscopy Made Easy), tayfsal sentezleme yöntemini temel alarak kurumsal atmosfer modelleri üreten ve gözlemsel veriyle kuramsal modeller arasındaki en küçük farkı göz önüne alarak aranılan parametreleri elde eden bir yazılımdır (Valenti ve Piskunov 1996). Yazılım tarafından üretilen atmosfer modelleri, yerel termodinamik denge altında, molekül ve iyonizasyon dengesi, süreklilik ve çizgi opaklığı göz önüne alınarak elde edilir. SME ile yıldız parametreleri elde edilirken birkaç temel adım uygulanır: İlk olarak analiz edilmesi planlanan tayfsal aralık belirlenir. Sonraki adımda belirtilen her bir tayfsal aralık için atomik ve moleküller çizgi verilerinin tanımlanması gerekmektedir. SME yazılımı ile uyumlu olan çizgi listeleri Vienna Atomic Çizgi Veri Tabanından (VALD; Piskunov ve ark. 1995) alınır. Analizlerin yapılması için kullanılacak atmosfer modelleri yazılım içerisinde seçilebilmektedir. Yazılım içerisinde bulunan atmosfer modelleri ise MARC (Gustafsson ve ark. 2008) ve ATLAS9 (Castelli ve Kurucz 2003, Shulyak ve ark. 2004)'dur. Başlangıç atmosfer parametreleri de yazılıma girildikten sonra yapılacak analiz ile dikine hız, etkin sıcaklık, yüzey çekim ivmesi, dönme hızı ve metal bolluğu değerleri belirlenebilir. (bkz: <http://www.stsci.edu/~valenti/sme.html>).

#### **3.4.3.2. iSpec Yazılımı**

iSpec, FGKM tayf türü yıldızların atmosfer parametreleri ve kimyasal bolluklarının belirlenmesi için üretilmiş bir yazılımdır (Blanco ve ark. 2014). Yazılım, bu parametrelerin elde edilmesinde iki önemli yöntem olan tayfsal sentezleme ve eşdeğer genişlik yöntemlerini kullanmaktadır. Tayfsal sentezleme yöntemiyle parametrelerin belirlenmesi işleminde iSpec, SME yazılımında olduğu gibi gözlemsel ile üretilen tayf arasındaki en küçük farklılığı göz önüne alarak sonuçlar vermektedir. Eşdeğer genişlik yönteminde ise iSpec, verilen nötr ve iyonize demir çizgilerine Gaussian modellerini fit eder ve fitlerin kesişim aralığını göz önüne alarak ortalama bir eşdeğer genişlik belirler. Belirlenen eşdeğer genişliği kullanarak element bolluğunu belirlenir ve en küçük kareler yöntemiyle de yıldızların atmosfer parametreleri elde edilebilir. Parametrelerin elde edilmesi işleminde de MARC ve ATLAS atmosfer modellerinden yararlanır. Yazılım aynı zamanda SPECTRUM (Gray ve Corbally 1994), Turbospectrum (Alvarez ve Plez 1998, Plez 2012), SME, MOOG (Snedden ve ark.

2012) ve Synthe/WIDTH9 programlarını da işlemler sırasında kullanmaktadır. Yıldız atmosfer parametreleri ve yüzey bolluklarının belirlenmesinin yanı sıra iSpec, elde edilen tayfların normalizasyonu, kozmik ışın düzeltmesi, tayfsal çözünürlüğün indirgenmesi, dikine hız belirlenmesi ve düzeltilmesiyle atmosfer çizgilerinin tanımlanmasına olanak sunmaktadır (Blanco ve ark. 2014, bkz: <https://www.blancocuaresma.com/s/iSpec>).

### 3.5. Sentetik Evrim Modelleri

Yapay evrim modelleri, yıldızların yaşları, başlangıç parametreleri ve yıldız evrim modellerinin tutarlılıklarının gözlemler ile kıyaslanarak test edilmesi açısından oldukça kullanışlıdır. Tez kapsamında belirtilen yöntemler ile astrofiziksel özellikleri bulunan çift yıldız bileşenlerinin evrim modellemeleri literatürde sıklıkla kullanılan  $Y^2$  evrim yollarıyla eş-yaş eğrileri ve yeni geliştirilen/gelişmekte olan MESA yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Özellikle çift yıldız evrimin incelenmesi açısından birçok parametrenin eş zamanlı modellenebilmesi, serbest bırakılabilecek parametre çeşitliliği ve yeni eklemelere açık olan MESA yazılımı, son yıllardaki çalışmalarda ön plana çıkmaktadır.

#### 3.5.1. $Y^2$ (Yonsei-Yale) Evrim Modelleri

$Y^2$  (Demarque ve ark. 2004, Yi ve ark. 2001) evrim modelleri metal bolluğu, kütle ve alfa-zenginleştirme parametrelerinin istenen değere aradeğer ile yeni evrim yollarının ve istenen yaş-eğrisinin üretilmesini sağlar. Tek yıldız yaklaşımıyla kütle kullanılarak yaş ve metal bolluğu tahmininde oldukça hızlı ve kullanışlıdır.

#### 3.5.2. MESA Yazılımı

MESA (Modules for Experiments in Stellar Astrophysics), gelişmekte olan açık kaynak kodlu çok yönlü yıldız evrim paketidir (Paxton ve ark. 2011, 2013, 2015). MESAstar ise şu anda var olan EVOL (Herwig ve Austin 2004) ve GARSTEC (Weiss ve Schlattl 2008) gibi yaygın bir şekilde kullanımda olan birçok yıldız evrim yazılımıyla kıyaslanmış ve tutarlılığı gösterilmiş tek-boyutlu evrim modeli modülüdür. Yazılımda birçok parametrenin serbest bırakılabilmesinin yanında zaman çözünürlüğünün kullanıcıya bırakılması büyük bir avantajdır. Çalışma prensibi olarak “*inlist*” adı verilen dosyalar aracılığıyla tüm girdiler kontrol edilebilmektedir. MESA yazılımı kullanılarak, tek yıldızlar için, Choi ve ark. (2016) tarafından  $0.1 M_{\odot} - 300 M_{\odot}$  kütle ve  $[m/H]=-2.0 - [m/H]= 0.5$  dex metal bolluğu aralığında ve 0.1 milyon yıldan 19.9 milyar yıla uzanan yaş aralığını kapsayan evrim yolları ve yaş eğrileri üretilerek bilimsel kullanıma kazandırılmıştır (bkz:

<http://waps.cfa.harvard.edu/MIST/>). Yazılım, tek yıldız evriminde olduğu kadar çift yıldız evriminde de oldukça kullanışlıdır. Ancak çift yıldız evriminde etkili olan çok sayıda fiziksel süreç, tek yıldızlar için belirtilen çalışmalar kadar geniş kapsamlı bir çalışma yapılmasını zorlaştırmaktadır. MESABinary, çift sistemleri MESAstar kodunu kullanarak evrimleştiren MESA modülüdür. Bu modül, nokta kaynak yoldaş ile tam bir evrim modeli yapabilmesinin yanında, bağımsız olarak her iki bileşenin de evrimleştiği modeller üretebilmektedir. Ayrıca, yıldızların dönme hızları serbest bırakılabilmekte olup yazılım ayrıca toplanma diskinin yıldızın dönmesini hızlandırması ve çekimsel etkileşimler gibi etkileri de dikkate alabilmektedir. Bunlara ek olarak, kütle aktarım miktarları, kütle kayıpları, çekimsel dalgalar aracılığıyla oluşan momentum kayıpları, açısal momentum kayıpları, yörünge eşleşmeleri ve manyetik frenleme gibi birçok parametre değiştirilerek farklı modellerin üretilmesine izin vermektedir. Kullanılan yöntemler ile ilgili özet teorik bilgiye ve kaynaklara Paxton ve ark. (2015)'nin çalışmasından ulaşılabilir.

### 3.6. Yörünge Dönem Değişimi Analizi

Çift yıldızlarda yörünge dönem değişimini etkileyen kütle kaybı, kütle aktarımı, üçüncü cisim, manyetik etkinlik ve eksen dönmesi gibi birçok parametre vardır. Her bir etkinin yörünge dönem değişimi üzerine farklı etkileri veya benzer etkileri olmaktadır. Gözlenen minimum zamanlarıyla beklenen minimum zamanlarının farkı ( $O-C$ ) incelendiğinde aşağı ya da yukarı yönlü parabolik yörünge dönemi değişimlerine sebep olan süreçler, kütle kaybı ve bileşenler arası kütle aktarımı olarak yorumlanmaktadır. Bu tür değişimlerin yörünge dönem değişimiyle ilişkisini veren eşitlik (3.4) Tout ve Hall (1991) tarafından verilmiştir. Burada,  $\dot{P}/P$  gözlenen dönem değişimi oranı,  $m_1$  ve  $m_2$  kütle kaybeden ve kütle kazanan bileşenlerin sırasıyla kütlesi kütlesi,  $m_2$ , alfven yarıçapı ( $r_A$ ) uzaklığı kadar sistemle birlikte eş zamanlı döndükten sonra sistemden kaybolan kütle miktarı ve  $\dot{M}$  sistemden kaybolan kütle miktarı.

$$\frac{\dot{P}}{P} = -\frac{2\dot{M}}{m_1 + m_2} + 3\frac{\dot{m}_2(m_2 - m_1)}{m_1 m_2} + 3K \quad (3.4)$$

Burada,  $K = \frac{2}{3}\left(\frac{r_a}{d}\right)^2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \dot{M}$  şeklinde verilmektedir.

Yörünge dönem değişiminde diğer bir etki ise çift yıldızların etrafındaki üçüncü bir bileşenden gelmektedir. Bu etki,  $O-C$  diyagramlarında kendisini sinüs benzeri dönemli

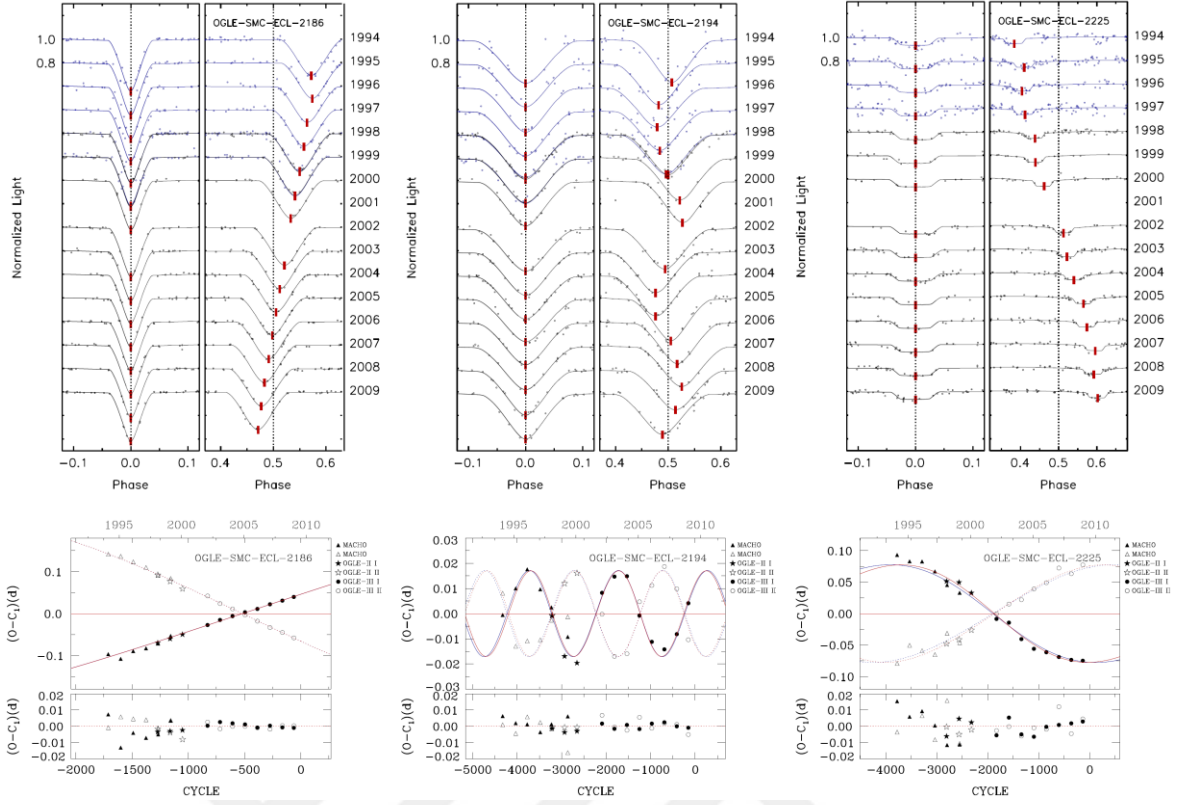
değişimler ile göstermektedir. Üçüncü cisim etkisi, çift yıldızın yörüngesinde gerçekte bir dönem değişimine sebep olmaz ancak ikili yıldızın üçlü sistem kütle merkezi etrafında dolanması sebebiyle oluşan bir ışık-zaman etkisidir (LITE). Işık-zaman etkisini tanımlayan eşitlik (3.5), Irwin (1959) tarafından tanımlanmıştır. Eşitlikte,  $a_{12}$ ,  $i_{12}$ ,  $e_{12}$  ve  $\omega_{12}$ , örten çiftin üçlü sistemin kütle merkezi etrafında çizdiği yörüngenin, sırasıyla, yarı-büyük eksen uzunluğu, eğikliği, basıklığı ve enberi boylamıdır,  $v_{12}$  ise bu ışık-zaman yörüngesinin gerçek ayrıklığı belirtir.

$$\Delta t = \frac{a_{12} \sin i_{12}}{c} \left\{ \frac{1 - e_{12}^2}{1 + e_{12} \cos v_{12}} \sin(v_{12} + \omega_{12}) + e_{12} \cos \omega_{12} \right\} \quad (3.5)$$

Geri tayf türü yıldızlarda meydana gelen manyetik aktivite çevriminin de yörünge dönem değişimi üzerinde etkisi bulunmaktadır. Manyetik alanın etkisiyle oluşan minimum zaman değişimi *O-C* diyagramlarında üçüncü cisim gibi dönemsel değişimler veya düzensiz çevrimsel değişimler meydana getirebilmektedir. Oluşan yörünge dönemi modülasyonlarını açıklamak için Applegate (1992), zamansal manyetik etkinlik değişimi de içeren bir mekanizma ortaya koymuştur. Manyetik alan şiddeti ile yörünge dönem değişimi arasındaki ilişkiyi veren eşitlik (3.6)' te  $B$  manyetik alanı,  $G$  evrensel çekim sabitini,  $M$  ve  $R$  aktif bileşenin kütle ve yarıçapını,  $a$  yarı büyük eksen uzunluğunu ve  $P_{mod}$  ise yörünge dönem modülasyonunun dönemini vermekle birlikte şu şekilde ifade edilmektedir,

$$B^2 \sim 10 \frac{GM^2}{R^4} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \frac{\Delta P}{P_{mod}} \quad (3.6)$$

Tez çalışması kapsamında, seçilen HD 350731, V397 Cep ve V335 Ser sistemlerinin yörünge dönem değişimi analizleri yapılmıştır. Belirtilen her sistem, sadece eksen dönmesine dayalı yörünge değişimi göstermektedir. Eksen dönmesi, basık yörüngeli çift yıldızların yörüngesinin enberi boylamının zamanla değişim göstermesi olarak algılanır ve dolayısıyla gözlenen ikinci minimum ile birinci minimum zamanlarından elde edilen *O-C* değerleri, zıt fazlı sinüs benzeri değişim sergiler.



Şekil 3.4. Üst kısımda, 1994-2009 yılları arasında MACHO, OGLE-II ve OGLE-III gözlemlerinde  $I$  bandında gözlenmiş üç çift sistemin ışık eğrileri. Işık eğrilerinde birinci minimum sıfır evreye sabitlenmiştir ve dolayısıyla ikinci minimumun eksen dönmesi dolayısıyla zamanla değişimi gösterilmektedir. Alt kısımda ise, üç çiftin tutulma zaman değişimi grafikleri gösterilmektedir. Dolu simgeler birinci minimum, boş simgeler ise ikinci minimum göstermektedir. Düz çizgiler ise teorik eğriler ile temsili gösterilmektedir (Hong ve ark. 2015).

Eksen dönmesinin ışık eğrisi ve minimum zamanları üzerindeki etkisi, Şekil 3.4'te Hong ve ark. (2015) tarafından SMC'den gözlenen bazı eksen dönmesi gösteren çift yıldızların yıllara yayılmış ışık eğrileri ve ışık eğrilerindeki minimum zamanları değişimleri açık bir şekilde gösterilmektedir. Eksen dönmesinin incelenmesinde kullanılan yöntem, minimum zamanları analizi için Gimenez ve Garcia (1983) tarafından verilmektedir. Çözümleme sırasında bağımsız değişkenler,  $T_0$ ,  $P_s$ ,  $e$ ,  $\omega_0$ ,  $\dot{\omega}$  olmak üzere sırasıyla, başlangıç zamanı, yıldızıl dönem, basıklık,  $T_0$ 'daki enberi noktasının boylamı, eksen dönmesinin miktarı şeklinde tanımlanır. Genel eşitleri inceleyecek olursak;

$$\omega = \omega_0 + \dot{\omega}E \quad (3.7)$$

E, çevrim sayısı,

$$P_s = P_a \left(1 - \frac{\dot{\omega}}{360^\circ}\right) \quad (3.8)$$

$P_a$ , kavuşum dönemidir.

$$U = \frac{360^\circ \cdot P_a}{\dot{\omega}} \quad (3.9)$$

Bu eşitlik ise, eksen dönmesinin periyodunu ( $U$ ) belirtmektedir. Eksen dönmesinde, beklenen minimum zamanlarının hesaplanması için şu eşitlik kullanılabilir (Gimenez ve Bastero 1995);

$$T = T_0 + P_s E + \frac{P}{2\pi} \left\{ (2j-3) \left[ A_1 \cos \omega - \frac{1}{4} A_3 \cos 3\omega + \frac{1}{16} A_5 \cos 5\omega \right] + \frac{1}{2} \left[ A_2 \sin 2\omega - \frac{1}{4} A_4 \sin 4\omega + \frac{1}{16} A_6 \sin 6\omega \right] \right\} \quad (3.10)$$

Burada  $j$ , birinci ve ikinci minimumlar için sırasıyla 1 ve 2 değerini alırken,  $A$ , yörünge basıklığının fonksiyonudur.

Tez çalışması kapsamında yapılan  $O-C$  analizlerinde, Zasche ve ark. (2009, 2015)'nin verdikleri yol izlenmektedir. Belirtilen eşitlikler kullanılarak, dönem değişim çözümlenmesi sonucunda elde edilen parametreler yardımıyla içyapı sabiti (Claret ve Gimenez 1992, Claret 1997) ve relativistik (görelî) katkı (Gimenez 1985) hesaplanarak teorik ve gözlemsel sonuçlar kıyaslanmaktadır.

### 3.7. Yörünge Açısal Momentum Hesaplamaları

Son yıllarda artan veri hassasiyeti ile birlikte çift yıldızlarda yörünge açısal momentum ( $J_p$ ) çalışmaları da artmaktadır. Bu bölümde, hesaplamalarda kullanılan eşitlikler ve veri setlerine ilişkin bilgilendirme yapılacaktır. Çift yıldızlarda yörünge açısal momentumu Eşitlik 3.11 ile verilen eşitliğine göre belirlenmektedir. Daha sonra bu eşitlik kullanılarak, son yıllardaki en güncel ayrıık çift yıldız kataloglarından olan Eker ve ark. (2014)'in çalışmasından alınan parametreler kullanılarak, toplam 257 adet çift sistem için yörünge



açısal momentumları hesaplanmıştır. Hesaplamalardan elde edilen yörünge açısal momentum sonuçları ile  $J_p-M$ ,  $J_p-\log g$ ,  $J_p-P$  gibi farklı düzlemlerdeki dağılımlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

İki bileşenli bir çift sistemde  $M_1$  ve  $M_2$  baş ve yoldaş bileşenin kütleleri olmak üzere nokta kütle yaklaşımıyla, bu iki bileşenin kütle merkezi etrafındaki hareketleri ve basıklık etkisi göz önünde bulundurularak, yörünge açısal momentumunu veren genel eşitlik şu şekilde yazılabilir;

$$J_p = \frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2} \Omega_{yör} a^2 \sqrt{1 - e^2} \quad (3.11)$$

Yörünge basıklığının sıfıra eşit olduğu durumlar için ise açısal momentum hesaplamasında kullanılan eşitlik aşağıda belirtildiği gibi elde edilebilir;

$$J_p = (M_1 a_1^2 + M_2 a_2^2) 2\pi P^{-1} \quad (3.12)$$

Burada  $q$ ,  $M_1$ ,  $M_2$  ve  $a$  üzerinden düzenlemeler yapılırsa;

$$q = M_2 / M_1 \quad (3.13)$$

$$M = M_1 + M_2 \quad (3.14)$$

$$a_1 = q a_2 \quad (3.15)$$

$$a = a_1 (1 + q) / q \quad (3.16)$$

$$a^3 = GMP^2 / 4\pi^2 \quad (3.17)$$

Son olarak 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 ve 3.17 eşitliklerini 3.12 denkleminde yerine koyarak düzenler ve sabit değerleri  $A$  ile tanımlarsak;

$$J_p = Aq(1 + q)^{-2}M^{5/3}P^{1/3} \quad \text{c.g.s., } A=1.24 \times 10^{52} \quad (3.18)$$

Açısal momentum eşitliği elde edilir (Sistero ve Marton 1983).

Dağılımların daha rahat incelenebilmesi açısından,  $J_p$  değeri sadeleştirilerek;

$$J'_p = J_p/A \quad (3.19)$$

olarak verilmiştir.



## BÖLÜM 4

### ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

#### 4.1. Işık Eğrisi ve Dikine Hız Analizleri

Bu bölümde tez çalışması kapsamında, seçilen ayırık örten çift yıldızların, literatür bilgileri ile birlikte üçüncü bölümde belirtilen ışık eğrisi ve dikine hız analiz yöntemleri kullanılarak yapılan analizlerinin sonuçlarına yer verilecektir.

##### 4.1.1. HD 350731

HD 350731 (BD+20 4323, GSC 01624-00493,  $V=9^m.60$ , A0) ilk olarak Otero ve ark. (2004) tarafından basık yörüngeli örten bir çift sistem olarak tanımlanmıştır. Sistemin ilk detaylı fotometrik çalışmasında 2007 ve 2008 yıllarında gözlenen ışık eğrilerinin analizi rapor edilmiştir (Kleidis ve ark. 2008). Çalışmada ASAS kataloğu ve literatürdeki minimum zamanları toplanarak sistemin yörünge dönemi 1.635135 gün olarak belirlenmiştir. Kleidis ve ark. (2008), yapılan ışık eğrisi analizleri sonucunda en olası kütle oranı değerini  $q=0.9\pm 0.2$  olarak vermişlerdir. Ayrıca bu çalışmadaki çözüm sonucunda sistemin basıklığının  $e=0.078$  ve enberiden geçiş boylamının  $\omega=348^\circ$  olduğu bulunmuştur. Bu çalışmalar dışında sistem ile ilgili detaylı bir inceleme yayınlanmamıştır.

Tez kapsamında elde edilen ışık eğrileri ve bileşenlerin dikine hız verileri elde edilmiştir. DAO verilerine uygulanan çapraz eşleştirme yöntemiyle HD 350731 için elde edilen bileşenlere ait dikine hızlar Çizelge 4.1’de verilmektedir. Bileşenlere ait ortalama dikine hız ölçüm hataları  $7 \text{ kms}^{-1}$  mertebesinde dir. Ölçülen hızlardan yararlanılarak sisteme ilişkin yörünge parametreleri bulunmuştur. Hesaplanan yörünge parametreleri Çizelge 4.2’de verilmektedir. Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen ışık eğrilerinin eş zamanlı çözümü, JKTEBOP yazılımı kullanılarak yapılmış olup elde edilen çözüm parametreleri Çizelge 4.3’te verilmiştir. Analiz sonuçları ile dikine hızların ve ışık eğrilerinin uyumu sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir. Analizlerden elde edilen, yörünge basıklığı Kleidis ve ark. (2008) ile uyum içindeyken, bu çalışmada belirlenen kütle oranı ile Kleidis ve ark. (2008)’nin elde ettiği değerler hata payı içinde yakın olsa da dikkate değer bir fark ortaya çıkmaktadır. Diğer bir parametre olan enberiden geçiş boylamı ( $\omega$ ) ise bu çalışmada  $24^\circ.6$  olarak güncellenmiştir. Bu fark, enberi boylamının dikkate değer bir şekilde değiştiğini göstermektedir.

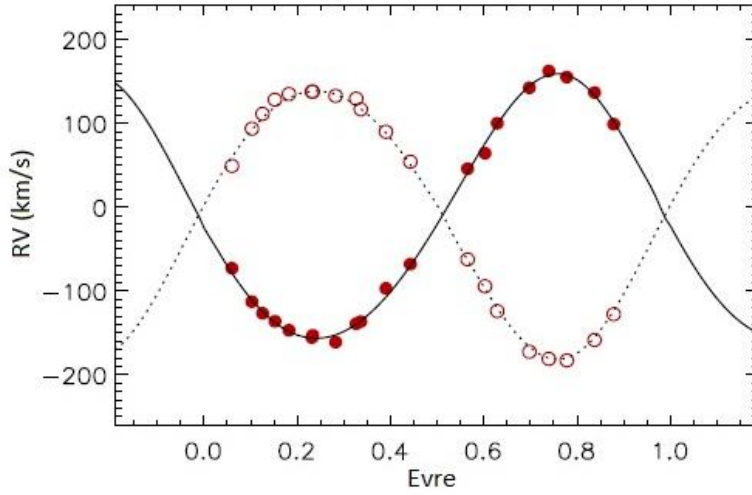
Çizelge 4.1. HD 350731 ayrık çift yıldız bileşenlerinin okunan dikine hız değerleri ve hataları.

<b>HJD+2450000</b>	<b>RV<sub>1</sub></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>RV<sub>2</sub></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>
6173,8976	-72,9	5,8	49,1	8,1
6152,7108	-112,8	5,9	93,5	7,1
6152,7482	-126,7	6,5	111,1	7,8
6147,8861	-136,2	6,2	128,1	7,0
6152,8407	-146,9	6,8	134,8	8,1
6175,8132	-155,6	6,8	137,6	8,5
6152,9240	-152,9	6,6	137,7	9,2
6175,8962	-161	6,8	132,6	9,4
6180,8738	-139,1	6,2	129,4	6,1
6149,8223	-136,5	6,4	116,6	8,9
6149,9104	-97	6,6	89,7	7,1
6172,8880	-68,1	6,5	54,1	7,4
6177,8676	-10,9	0,4	—	—
6146,9266	45,7	5,2	-62,3	7,7
6174,7848	64,2	6,8	-94,4	7,2
6151,9360	99,9	6,5	-124,1	7,1
6148,7783	142,2	7,8	-172,6	7,8
6148,8464	162,4	7,1	-181,1	7,4
6148,9094	155,1	6,9	-182,9	8,5
6171,8986	136,5	9,9	-158,5	8,2
6176,8712	98,8	8,8	-127,8	6,8

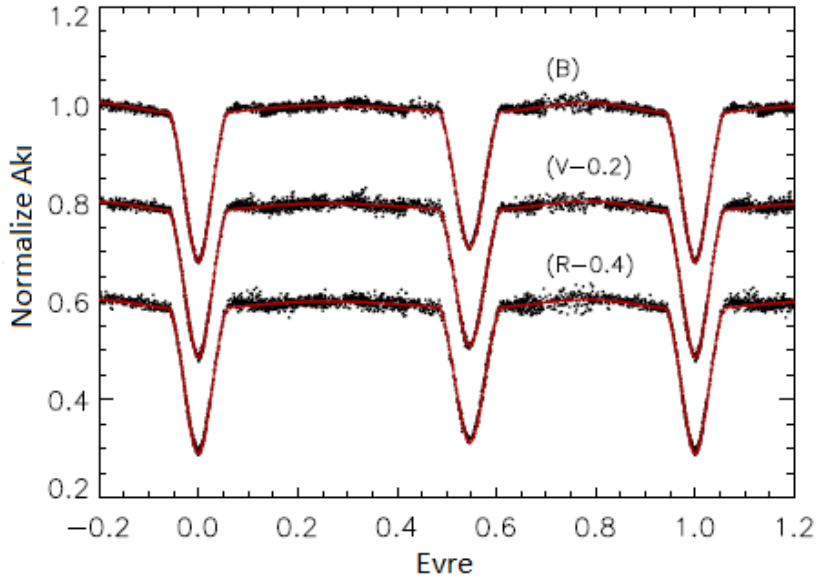
Çizelge 4.2. HD 350731 bileşenlerinin ölçülen dikine hızları kullanılarak hesaplanan yörünge parametreleri ve hataları.

Parametre	Değer	Hata
$P_{yör}$ (gün)	1,653135*	—
$T_0$ (HJD)	2454631,4603*	—
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	157,2	1,3
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	162,7	1,3
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	-10,4	0,7
$a_1 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	3,52	0,04
$a_2 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	3,64	0,04
$M_1 \sin i$ ( $M_\odot$ )	2,79	0,05
$M_2 \sin i$ ( $M_\odot$ )	2,70	0,05
$e$	0,077	0,007
$\omega$ (°)	23,5	2,3

\*Kleidis ve ark. (2008)



Şekil 4.1. Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyumu. İçi dolu kırmızı noktalar baş bileşeni, içi boş olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Düz ve kesikli çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kuramsal dikine hız eğrisini göstermektedir (Soydugan ve ark. 2015).



Şekil 4.2. HD 350731'in *BVR* filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve kuramsal (kırmızı) ışık eğrilerinin uyumu (Soydugan ve ark. 2015).

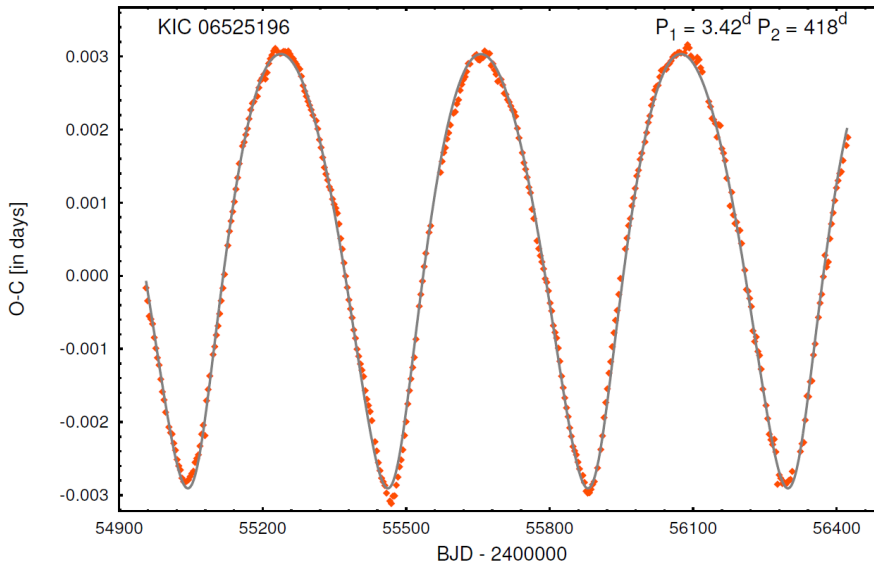
Çizelge 4.3. HD 350731'in eşzamanlı ışık eğrisi ve dikine hız analizinden elde edilen sonuç parametreleri ve hataları.

Parametre	Değer	Hata
$r_1$	0,201	0,001
$r_2$	0,200	0,001
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	157,4	2,8
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	163,1	2,2
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	-10,3	1,3
$e$	0,079	0,002
$\omega$ (°)	24,6	2,4
$l_2/l_1$ (B)	0,952	0,012
$l_2/l_1$ (V)	0,961	0,011
$l_2/l_1$ (R)	0,961	0,014

#### 4.1.2. KIC 6525196

KIC 6525196 (TYC 3143-604-1,  $V=10^m.22$ ) *Kepler* uydusunun görüş alanı içerisinde, örtme ve örtülme gösteren ayırık bir çift sistemdir. Prsa ve ark. (2011), *Kepler* verilerinin analizinden çift yıldızın ayırık bir sistem olduğunu belirterek ışık elemanlarını

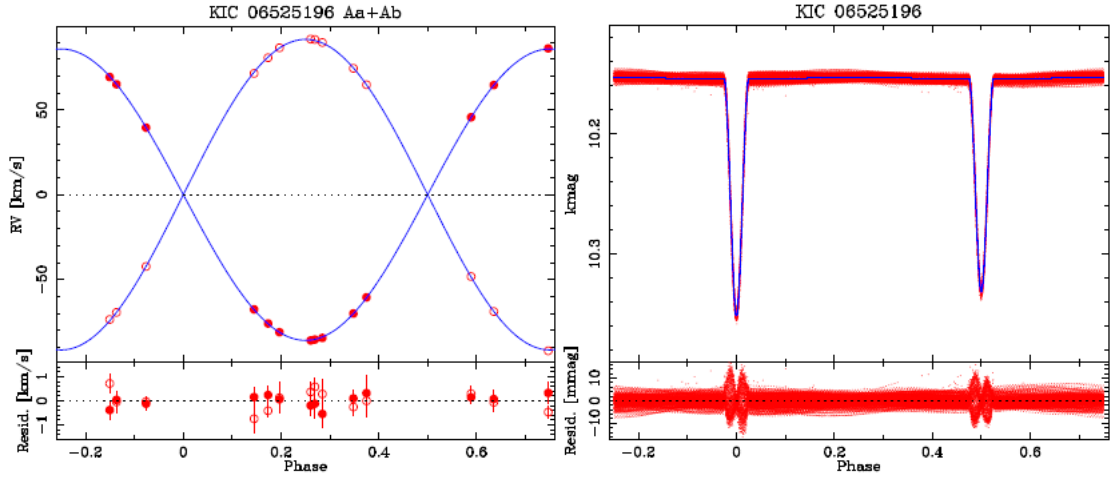
$T_0=2455005.64085$  ve  $P=3.41851$  gün ve baş bileşenin sıcaklığını ise 5966 K olarak rapor etmişlerdir. Çift sistemin ışık eğrisinde bünyesel ışık değişimleri olduğu da yine *Kepler* verileri kullanılarak keşfedilmiştir (Debosscher ve ark. 2011, Uytterhoeven ve ark. 2011). Bünyesel değişimlerin analizlerinden, sistemde olası bir  $\gamma$  Dor bileşenden kaynaklanan üç ayrı frekans ve kombinasyonları belirlenmiş olup baskın frekans  $0.585572 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Ayrıca, Slawson ve ark. (2011), *Kepler* verilerini tekrar ele almış ve çift sistemin, bileşenlerin sıcaklık oranını,  $T_2/T_1=0.915$  ve kesirsel yarıçaplar toplamını  $r_1+r_2=0.177$  olarak hesaplamışlardır. Bunun dışında, Rappaport ve ark. (2013) ise *Kepler* verilerini kullanarak, sistemin yörünge dönem değişimini araştırmışlar ve *O-C* analizi sonucunda 415.8 gün dönemli bir değişim belirlemişlerdir. Aynı çalışmadaki dönemsel değişim olası üçüncü cisim ile açıklanmış olup üçüncü yıldızın toplam kütleyle oranı 0.38 ve üçlü sistemin yörünge basıklığı ise 0.30 olarak bulunmuştur. Olası üçüncü cismin toplam ışıma katkısının ise %2.4 civarında olduğu belirtilmiştir. Yörünge dönem değişimine ilişkin yapılan diğer bir çalışmada ise *O-C* dönem değişiminin 418.2 günlük bir döneme sahip olduğu (Şekil 4.3) ve üçüncü cismin olası kütlelerinin  $0.8 M_\odot$  olduğu rapor edilmiştir (Borkovits ve ark. 2015).



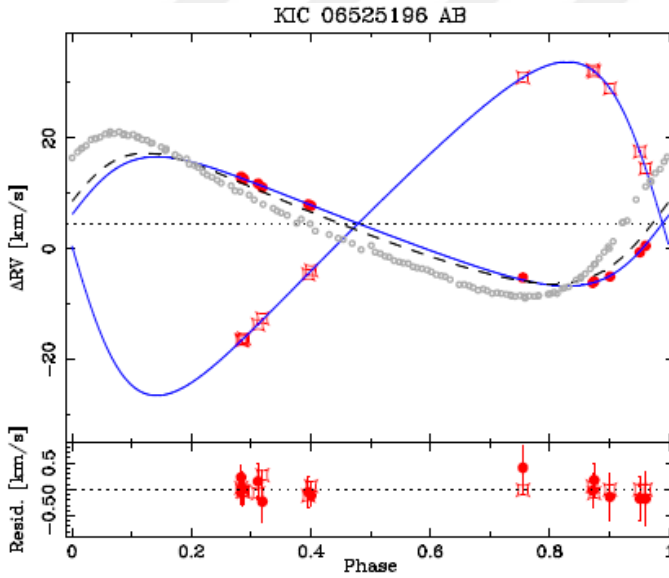
Şekil 4.3. KIC 6525196 sisteminin *Kepler* veri tabanından elde edilen minimum zamanlarından oluşturulmuş *O-C* eğrisi ve onun kuramsal temsili (Borkovits ve ark. 2015).

Sistemle ilgili son kapsamlı çalışma ise, Helminiak ve ark. (2017) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin yüksek çözünürlüklü tayfları alınmış ve ışık eğrisiyle birlikte yörünge çözümü yapılarak bileşen yıldızların evrim durumu tartışılmıştır. Yapılan

çalışmada üçüncü bileşene ilişkin yörünge de elde edilmeye çalışılmıştır ve elde edilen parametreler *O-C* analizlerinden elde edilen sonuçlarla kıyaslanarak uyumlu olduğu gösterilmiştir (Şekil 4.4 ve 4.5).



Şekil 4.4. KIC 65225196 çift yıldızının bileşenlerinin dikine hız eğrileri (sol panel) ve *Kepler* ışık eğrisi (sağ panel) ve kuramsal modellerle temsili (Helminiak ve ark. 2017).



Şekil 4.5. KIC 6525196 üçlü sistemi için çift yıldız (içi dolu kırmızı noktalar) ile üçüncü bileşenin (içi boş diagonaller) dikine hız değişimi ve öngörülen yörünge ile uyumu (mavi çizgi). Burada gri noktalar minimum zamanlarının değişiminden öngörülen ikili sistemin dikine hız değişimini göstermektedir (Helminiak ve ark. 2017).

Ancak çalışmada ışık eğrisi için sadece *Kepler* verileri kullanılmış ve ışık eğrisi tutulma dışı değişimlerden arındırılmadan çözülmüştür. Helminak ve ark. (2017) sonuç olarak sisteme



ilişkin çok renk ışık eğrilerinin elde edilip üçüncü cisim ile ilgili sonuçların test edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Tez kapsamında, sistemin literatürdeki çalışmaları değerlendirilerek, sistemin ve bileşenlerin temel parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, öncelikle ışık ve dikine hız verileri elde edilmiştir. DAO'dan alınan tayf verilerine uygulanan çapraz eşleştirme yöntemiyle KIC 6525196'nın elde edilen bileşenlerine ait ölçülen dikine hızlar Çizelge 4.4'de verilmektedir. Ölçülen hızlardan yararlanılarak sisteme ilişkin yörünge parametreleri bulunmuş ve Çizelge 4.5'te listelenmiştir. Elde edilen dikine hız verileri ve ışık eğrilerinin eş zamanlı çözümü JKTEBOP yazılımı ile yapılmış olup *Kepler* verisi ve *vby* filtrelerindeki çözüm parametreleri Çizelge 4.6'da verilmektedir. *Kepler* ışık eğrisi çözümünden önce tutulma dışı değişimler temizlenerek fotometrik parametrelerin daha hassas bir şekilde belirlenmesi sağlanmıştır. Orta bant *vby* filtresi ile elde edilen ışık eğrilerinin çözümleri ise sadece akı katkılarını hesaplamak adına yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda *Kepler* ışık eğrisinden bulunan üçüncü cisim katkısı % 20 civarında iken Helminak ve ark. (2017)'nin bulunduğu katkı %24'tür. Bu farklılık leke hareketlerinden arındırılmış ışık eğrisi kullanılmasıyla açıklanabilir. Orta bant *vby* filtrelerden elde edilen üçüncü ışık katkısı ise, sırasıyla, %14, %17 ve %16 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.4. KIC 6525196 çift yıldız bileşenlerinin ölçülen dikine hız değerleri ve hataları.

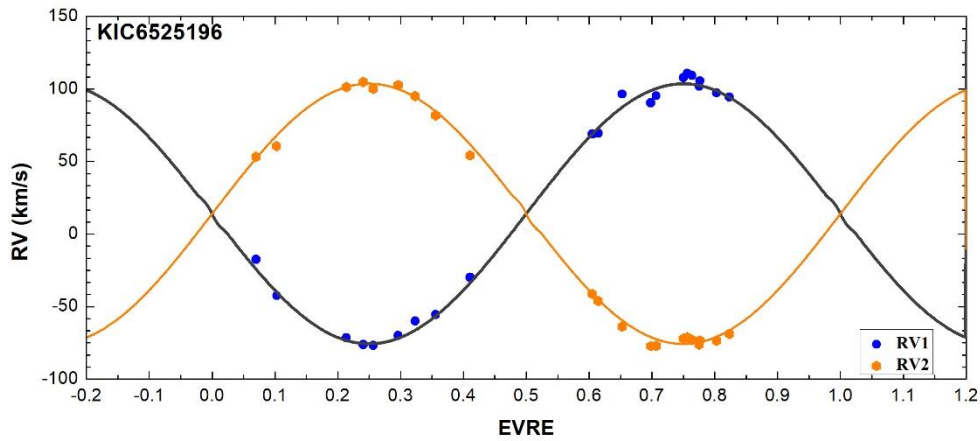
<b>HJD+2450000</b>	<b><math>RV_1</math></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>RV_2</math></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>
6143,8683	107,7	6,4	-72,1	6,9
6143,8890	110,7	5,9	-71,1	6,1
6143,9145	109,3	6,0	-73,0	6,2
6143,9570	105,6	4,2	-73,4	4,6
6145,7355	-70,1	4,1	102,7	4,1
6145,8279	-59,9	3,3	95,2	3,5
6146,7924	68,9	3,9	-41,3	4,1
6146,8249	69,4	3,2	-46,1	3,5
6146,9545	96,5	10,1	-63,8	10,9
*6147,9643	20,1	5,7	—	—
6148,9657	-76,2	3,2	104,8	3,3
*6149,8598	13,8	5,9	—	—
6150,7945	101,6	3,5	-76,3	3,7
6150,8892	97,3	3,3	-73,6	3,4
6150,9593	94,4	3,7	-68,8	3,9
6151,8024	-17,5	4,8	53,2	5,2
6152,9680	-29,9	3,9	54,3	4,0
6172,8189	-71,4	3,2	101,3	4,2
6175,8599	-42,4	3,3	60,5	4,5
6176,7252	-55,6	3,4	81,8	4,7
6177,8964	90,4	6,6	-77,2	10,4
6177,9254	95,3	3,6	-77,1	7,5
6179,8062	-76,9	3,1	100,1	4,1

\* Çözümde kullanılmadı.

Çizelge 4.5. KIC 6525196 sisteminin yörünge çözümünden elde edilen parametreler ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$P_{yör}$ (gün)	3,42064*	—
$T_0$ (HJD)	2456143,86259	0,00799
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	89,6	1,0
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	89,7	1,0
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	13,99	0,65
$a_1 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	4,21	0,05
$a_2 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	4,22	0,05
$M_1 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,022	0,012
$M_2 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,020	0,012
$e$	0	—
$\omega$ (°)	90	—

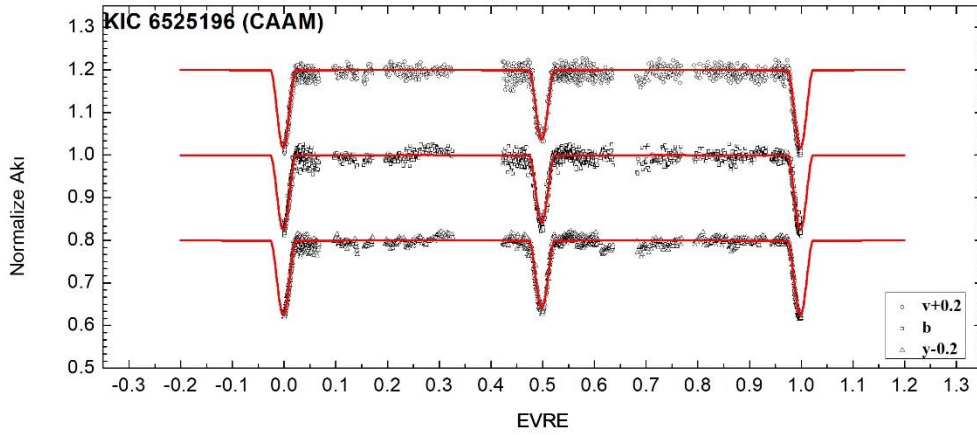
\*Prsa ve ark. (2011)



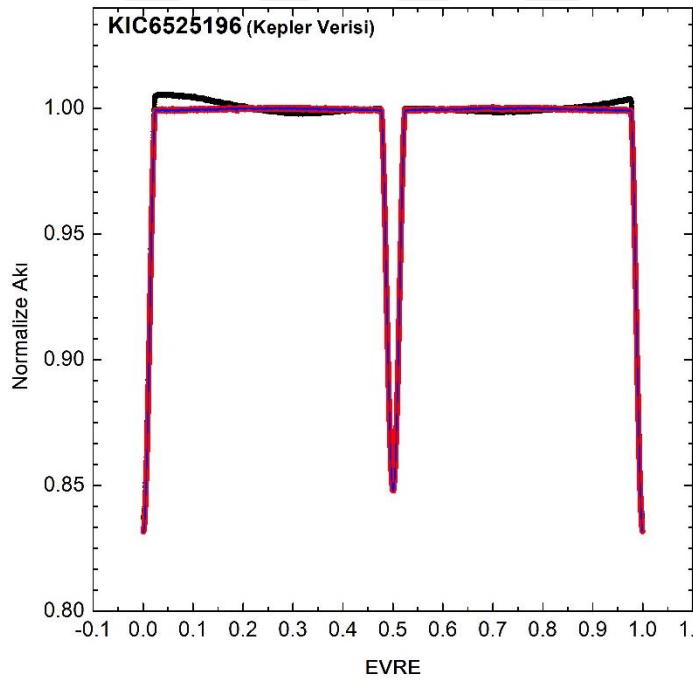
Şekil 4.6. Ölçülen dikine hızlar ile elde edilen yörünge parametrelerinin uyumu. Mavi noktalar baş bileşenin, turuncu olanlar ise yoldaş bileşenin dikine hızlarını göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise, sırasıyla, baş ve yoldaş bileşen için kuramsal dikine hız eğrisini göstermektedir.

Dikine hızlar ve ışık eğrilerinin eş zamanlı çözümü sonucunda elde edilen çözüm parametreler Çizelge 4.6'da listelenmektedir. Elde edilen çözüm sonuçlarıyla dikine hızların ve ışık eğrilerinin uyumu, sırasıyla, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Bu çalışmada elde edilen yörünge çözümüyle Helminiak ve ark. (2017)'nin yapmış olduğu yörünge

çözümü arasında küçük bir farklılık görülmektedir. Bunun temel sebebi üçüncü bileşene dair etki olarak açıklanabilir. Bu çalışmada kullanılan dikine hız verilerinin kısa bir zaman aralığında ve üçlü sistemin ikinci minimum bölgesine gelmesi oldukça değerlidir. Ayrıca, KIC 6525196 sistemi için *Kepler* ışık eğrisinde tutulma dışı değişimleri arındırılarak çözüm yapılmış ve arındırmadan önce ve sonraki ışık eğrileri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. KIC 6525196’in *vby* filtrelerindeki gözlenen ışık eğrileriyle onların kuramsal (kırmızı) ışık eğrileriyle temsili.



Şekil 4.8. KIC 6525196’in ham *Kepler* ışık eğrisi (siyah) ve tutulma dışı değişimlerden arındırılmış (kırmızı) ışık eğrisini göstermektedir. Arındırılmış ışık eğrisiyle çözüm parametrelerinin oluşturduğu kuramsal modelin (mavi çizgi) uyumu.

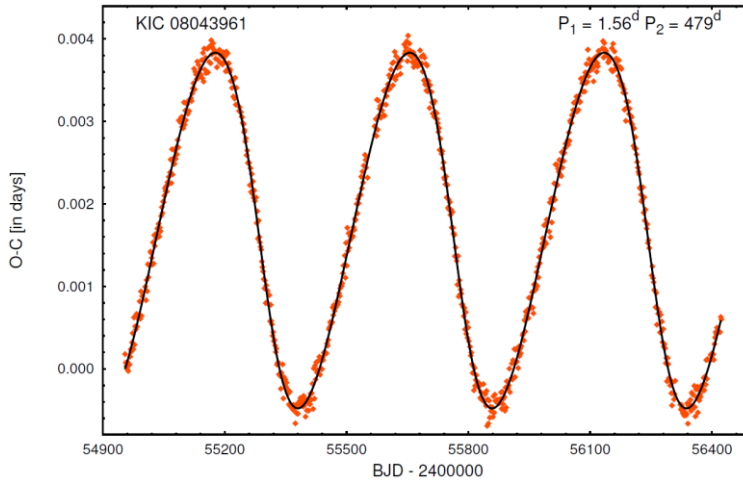
Çizelge 4.6 KIC 6525196 ve KIC 8043961 sistemlerinin ışık ve dikine hız eğrilerinin eşzamanlı çözümlerinden elde edilen parametreler ve hataları.

Parametre	KIC 6525196	Hata	KIC 8043961	Hata
$T_0$ (HJD)+2400000	54954,352139*	—	54954,555903*	—
$P$ (gün)	3,420604*	—	1,559212*	—
$T_1$ (K)	6391	153	6922	150
$T_2$ (K)	6250	150	6420	165
$i$ (derece)	85,08	0,02	84,95	0,02
$a$ ( $R_\odot$ )	12,16	0,14	8,09	0,09
$\Omega_1$	12,208	0,003	5,911	0,003
$\Omega_2$	12,792	0,003	4,452	0,002
$q$ ( $M_2/M_1$ )	0,999	0,001	1,1402	0,002
<i>Evre Kayması</i>	0,0004	0,0001	0,0001	0,0001
$V_\gamma$ ( $\text{kms}^{-1}$ )	14,0	2,2	-11,7	2,5
$L_1/(L_1+L_2)$ (Kepler)	0,553	0,001	0,338	0,001
$v$	0,558	0,014	0,316	0,002
$b$	0,555	0,013	0,310	0,015
$y$	0,552	0,013	0,305	0,015
$L_2/(L_1+L_2)$ (Kepler)	0,447	0,002	0,662	0,001
$v$	0,442	0,016	0,684	0,018
$b$	0,445	0,014	0,690	0,016
$y$	0,448	0,014	0,695	0,016
$L_3$ (Kepler)	0,204	0,004	0,082	0,003
$v$	0,135	0,023	0,060	0,019
$b$	0,167	0,021	0,074	0,019
$y$	0,161	0,022	0,095	0,020
$e$	0	—	0,003	0,001
$\omega$ ( $^\circ$ )	90	—	94,54	0,65
$f_1$ (%)	32	—	69	—
$f_2$ (%)	31	—	90	—
$r_{1ort}$	0,08921	0,00002	0,2131	0,0001
$r_{2ort}$	0,08472	0,00002	0,3423	0,0001

\*Prsa ve ark. (2011)

### 4.1.3. KIC 8043961

KIC 8043961 (ASAS J194655+4350.5, TYC 3148-1402-1,  $V=10^m.69$ ), ilk olarak ASAS tüm gökyüzü taramasından elde edilen verilerin analizinden 1.55925 gün dönemli,  $0^m.17$  genlikli ışık değişimi gösteren örten bir çift yıldız olarak tanımlanmış ve ışık eğrisi elde edilmiştir (Pigulski ve ark. 2009). Çift sistem, aynı zamanda *Kepler* uydusunun tarama alanına girmektedir. Bu nedenle, sistemin oldukça yüksek duyarlılıkta elde edilmiş *Kepler* ışık eğrisi bulunmaktadır. Bu veriler kullanılarak Prsa ve ark. (2011) çift yıldızın ayrık bir sistem olduğunu, ışık elemanlarının  $T_0=2454954.55710$  ve  $P=1.55921$  gün olduğunu ve baş bileşenin sıcaklığının ise 6348 K olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca *Kepler* verileri kullanılarak sistemin ışık eğrisinde, çiftlik etkileri dışında, bünyesel ışık değişimleri olduğu keşfedilmiştir (Debosscher ve ark. 2011, Uytterhoeven ve ark. 2011). Ayrıca, Slawson ve ark. (2011), *Kepler* verilerini tekrar ele almış ve çift sistemin bileşenleri için sıcaklık oranını  $T_2/T_1=0.935$  ve yörünge basıklığını 0.028 olarak bulmuşlardır. Bunun dışında, Rappaport ve ark. (2013)'ü *Kepler* verilerini kullanarak, sistemin yörünge dönem değişimi gösterip göstermediğini incelemişlerdir. Aynı çalışmada, *O-C* analizi sonucunda 467.7 gün dönemli sinüs benzeri bir değişiminin olduğu bulunmuştur. Değişimin, sistemde olası bir üçüncü yıldızdan kaynaklanabileceği önerilmiş olup bu cismin toplam ışığa katkısının %14 civarında olabileceği tahmin edilmiştir. Yörünge dönem değişimine ilişkin yapılan diğer bir çalışmada ise *O-C* verilerinin değişiminin 478 günlük bir döneme sahip olduğu ve kaynağının yine olası bir üçüncü bileşen yıldız olduğu önerilmiştir (Conroy ve ark. 2014). Borkovits ve ark. (2015) tarafından yapılan analizde (Şekil 4.9) ise dönem değişiminin kaynağı olabilecek üçüncü yıldızın kütesinin  $0.61 M_{\odot}$  olabileceği tahmin edilmiştir.



Şekil 4.9. KIC 8043961 sisteminin *Kepler* veri tabanından elde edilen minimum zamanları kullanılarak oluşturulmuş *O-C* eğrisi ve onun kuramsal temsili (Borkovits ve ark. 2015).

Bu çalışmada, sistemin özelliklerini ve bileşenlerin temel parametrelerini belirlemek amacıyla, ışık ve dikine hız verileri elde edilmiş ve analize hazırlanmıştır. Öncelikle, DAO tayf verilerine uygulanan çapraz eşleştirme yöntemiyle KIC 8043961'in bileşenlere ait dikine hızlar ölçülmüş olup Çizelge 4.7'de listelenmektedir. Ölçülen hızlardan yararlanılarak sisteme ilişkin yörünge parametreleri hatalarıyla birlikte belirlenmiş ve Çizelge 4.8'de görülebilir. Dikine hızlar ve ışık eğrilerinin (*Kepler* verisi ve bu çalışmada elde edilen *vby* ışık eğrileri) eş zamanlı çözümü sonucunda bulunan parametreler, Çizelge 4.6'da verilmektedir. Daha hassas fotometrik parametrelere ulaşmak için, öncelikle ışık eğrisindeki tutulma dışı değişimler temizlenmiş ve analiz arındırılmış ışık eğrisi kullanılarak yapılmıştır. Ham ve arındırılmış *Kepler* ışık eğrilerinin karşılaştırılması ve kuramsal eğri Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Orta bant *vby* filtresi çözümleri ise sadece bileşenlerin akı katkılarını hesaplamak adına yapılmıştır. Analiz sonuçlarında *vby* filtrelerinde, sırasıyla, %6, %7 ve %10'luk bir üçüncü ışık katkısı bulunmuştur. Bu katkı, Borkovits ve ark. (2015)'nin *O-C* analizlerinden öngördükleri %14'lük beklentinin altında kalmaktadır. Hesaplamalar sonucunda  $3\sigma$  sınırında  $e=0.003$  lük bir yörünge basıklığı bulunmuştur ancak bunun denetlenebilmesi için daha fazla dikine hız verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen çözüm sonuçlarıyla dikine hızların ve ışık eğrilerinin uyumu, sırasıyla, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

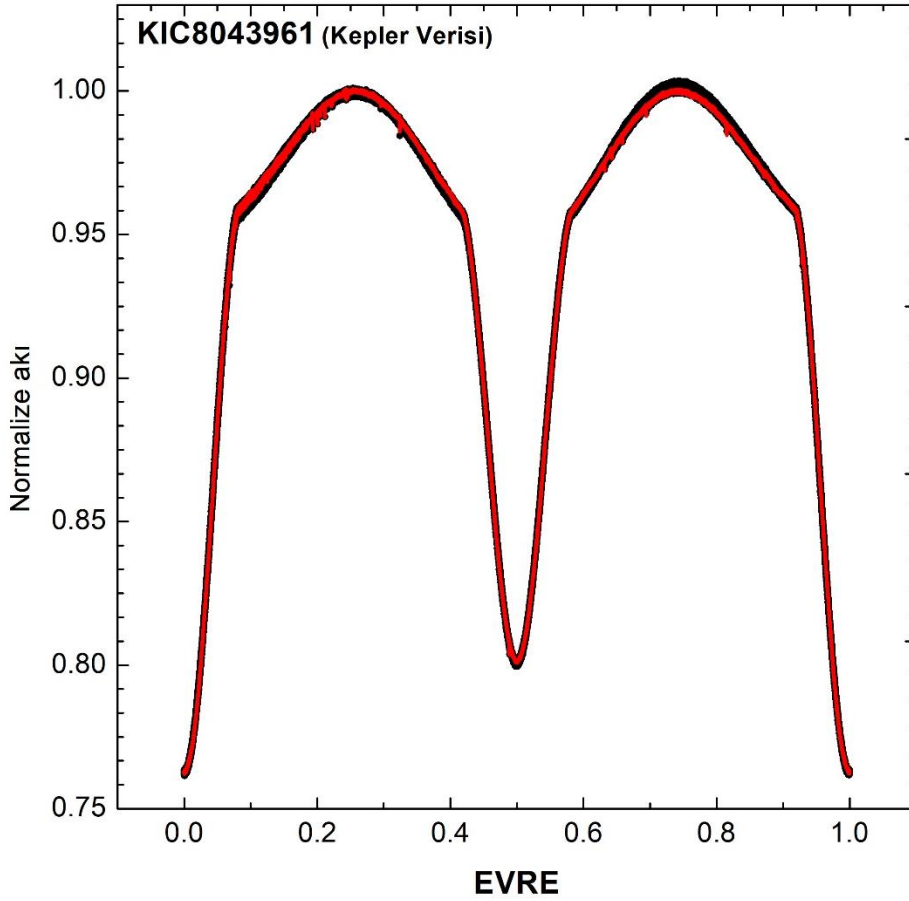
Çizelge 4.7. KIC 8043961 çift yıldız bileşenlerinin ölçülen dikine hız değerleri ve hataları.

<b>HJD+2450000</b>	<b><math>RV_1</math> (kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata (kms<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>RV_2</math> (kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata (kms<sup>-1</sup>)</b>
6522,91283	-88,0	8,5	89,3	9,2
6535,75021	55,5	13,5	-85,1	18,7
6535,91945	108,6	7,3	-140,7	9,3
6536,82295	-131,5	11,9	124,2	9,0
6536,92127	-108,8	10,4	91,6	12,5
6537,77195	57,7	11,1	-96,8	11,3
6538,93173	75,6	27,1	-107,7	20,8
6539,74291	-109,2	12,3	101,3	11,4
*6539,84770	-125,0	34,3	—	—
6539,87536	-142,5	16,0	127,8	13,5
6540,81451	80,6	15,2	-125,6	13,1

Çizelge 4.8. KIC 8043961 çift yıldızının yörünge parametreleri ve hataları.

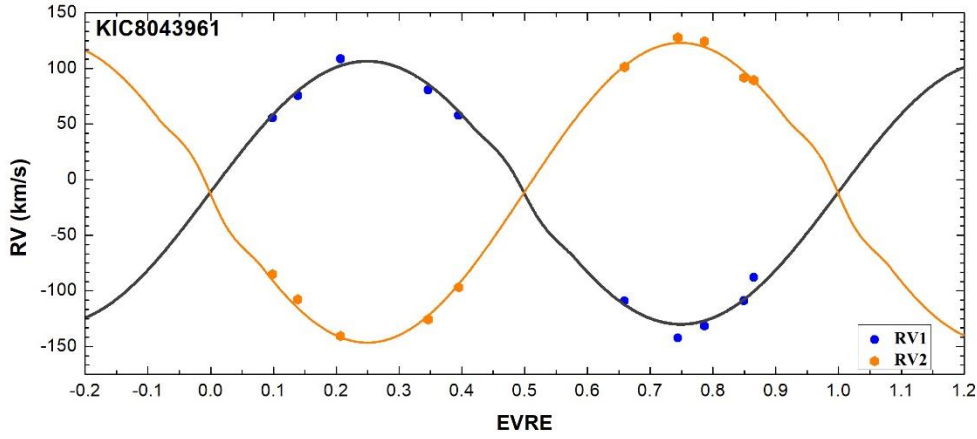
Parametre	Değer	Hata
$P_{yör}$ (gün)	1,55921*	—
$T_0$ (HJD)	2456522,00298	0,4722
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	134,7	2,1
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	118,9	2,1
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	-11,7	1,2
$a_1 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	2,89	0,04
$a_2 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	2,55	0,04
$M_1 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,24	0,02
$M_2 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,40	0,02
$e$	0,003	0,001
$\omega$ (°)	126,768	19,5

\*Prsa ve ark. (2011)

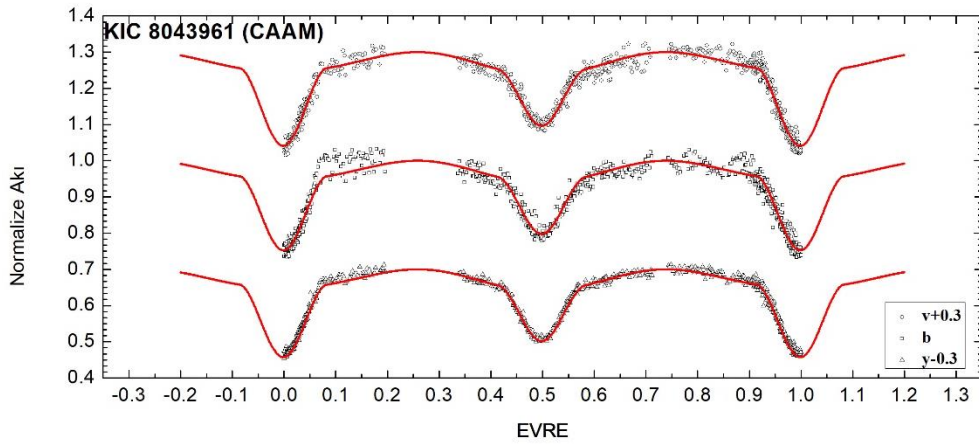


Şekil 4.10. KIC 8043961'in *Kepler* uydusu aracılığı ile gözlenmiş (siyah) ve tutulma dışı değişimlerden arındırılmış (kırmızı) ışık eğrileri gösterilmektedir.





Şekil 4.11. Ölçülen dikine hızlar ile belirlenen yörünge parametrelerinden elde edilen kuramsal dikine hız eğrilerinin uyumu. Mavi noktalar baş bileşeni, turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kuramsal dikine hız eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.12. KIC 8043961'in  $vby$  filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve kuramsal (kırmızı) ışık eğrilerinin uyumu.

#### 4.1.4. V335 Ser

V335 Ser (HD 143213, TYC 353-301-1,  $V=7^m.49$ ) sistemi *HIPPARCOS* uydusu tarafından keşfedilmiş örten bir çift yıldızdır. Sistemin basık yörüngeli ayırık bir çift yıldız olduğu ilk kez Bastian ve Born (1997) tarafından rapor edilmiştir. Bastian ve Born (1998), çift yıldızın ışık elemanlarını vererek, yörünge döneminin  $P = 3.449896$  gün olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca Bozkurt (2011) sisteme ilişkin ilk kapsamlı çalışmayı yapmıştır. Yapılan bu çalışmada dikine hız ve ışık eğrileri eş zamanlı olarak çözülmüştür. Bu çalışmadan sonra Claud ve ark. (2012) yine sistemin tayfları ve ışık eğrileri birlikte incelenmiş ve daha önce yapılan Bozkurt (2011)'in çalışmasıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca

bileşenlerin dönme hızlarıyla ilgili ölçümler yapılmış olup iki bileşenin hızları arasında farklılıklar tartışılmış ve baş bileşenin Am yıldızı olabileceği belirtilmiştir.

Bu çalışmada, elde edilen ışık eğrileri ve dikine hız verileriyle birlikte, tayfsal ayrıştırma sonuçları de eklenerek, bileşen yıldızların temel parametrelerinin daha duyarlı bulunması ve evrim durumunun daha ayrıntılı tartışılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Bozkurt (2011) ile Claud ve ark. (2012) çalışmalarındaki tayf verileri ve ışık eğrileri birleştirilerek tekrar çözülmüştür. Bu çalışma kapsamında kullanılan CAO tayf verilerine uygulanan çapraz eşleştirme yöntemiyle V335 Ser'in bileşenlere ait yeni dikine hız değerleri belirlenmiştir (Çizelge 4.9). Belirlenen hız değerlerinin birinci ve ikinci bileşen için ortalama hataları, sırasıyla, 4 ve 7  $\text{kms}^{-1}$  dolaylarındadır. Ölçülen hızlardan ve literatürdeki önceki verilerden yararlanılarak sisteme ilişkin yörünge parametreleri bulunmuştur. Hesaplanan yörünge parametreleri hatalarıyla birlikte Çizelge 4.10'de verilmektedir. Dikine hız ve ışık eğrilerinin Wilson-Devinney yazılımıyla yapılan eş zamanlı çözümü sonucunda elde edilen çözüm parametreleri Çizelge 4.11'de listelenmektedir. Gözlem verileri ile çözümlerden elde edilen kuramsal modellerin uyumu, dikine hız ve ışık eğrileri için sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmektedir. Çözümler sonucunda Lacy ve ark. (2012)'nin elde etmiş olduğu sonuçlar ile uyumlu bulunurken, Bozkurt (2011)'un sonuçları özellikle küçük kütleli bileşenin yarıçapı hesaplamasında burada elde edilen sonuçlardan belirgin şekilde küçüktür. Bu durumun başlıca sebebi olarak, Bozkurt (2011)'un baş bileşen için seçmiş olduğu sıcaklığın yüksek olması ve sıcaklık-yarıçap dejenerasyonu gösterilebilir. Ayrıca, üç çalışmada da sistemin  $V_7$  değerlerinde anlamlı bir değişime rastlanmamış olması üçüncü bileşen katkısının elde edilememesiyle paralel bir sonuç olarak karşımıza çıkmaktadır.

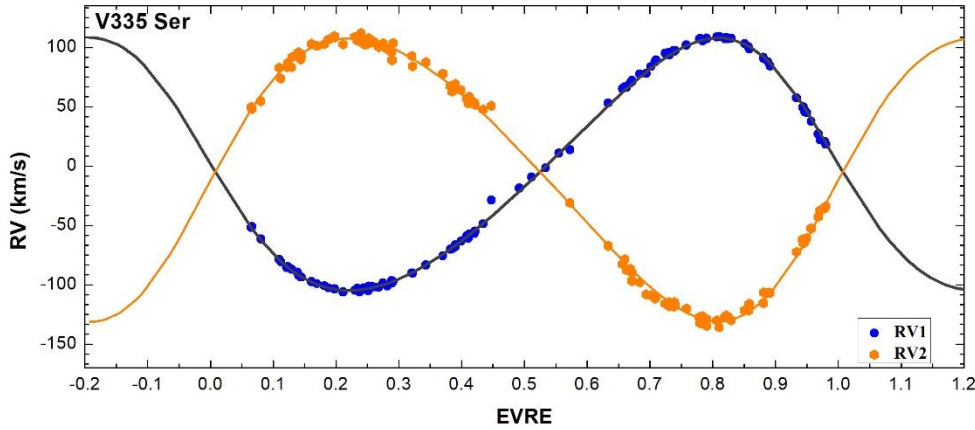
Çizelge 4.9. V335 Ser sisteminin bileşenlerinin CAO tayf verilerinden okunan dikine hız değerleri ve hataları.

<b>HJD+</b> <b>2450000</b>	<b><math>RV_1</math></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b><math>RV_2</math></b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>	<b>Hata</b> <b>(kms<sup>-1</sup>)</b>
4610,5384	-106,2	2,7	102,4	5,8
4611,3526	-28,7	3,1	50,8	8,3
4612,3297	93,4	2,9	-118,0	6,5
4614,5861	-69,9	4,0	62,8	5,7
4617,3919	-103,6	2,6	108,4	6,3
4617,5579	-103,1	3,8	102,3	8,9
4628,4741	-60,9	2,4	52,8	5,5
4629,3462	66,3	4,2	-87,6	8,8
4630,4086	21,8	4,9	-37,3	11,2
4631,5034	-96,7	3,2	96,1	7,6
4632,4836	13,7	3,3	-31,0	8,9
4633,3530	107,0	4,0	-127,1	11,8
4633,4692	98,5	4,1	-116,1	10,6
4634,3778	-85,7	3,2	83,4	8,2
4634,4539	-93,6	4,6	89,9	9,2
4636,3523	78,0	2,4	-108,1	6,3
4636,5081	96,7	3,8	-114,8	8,8

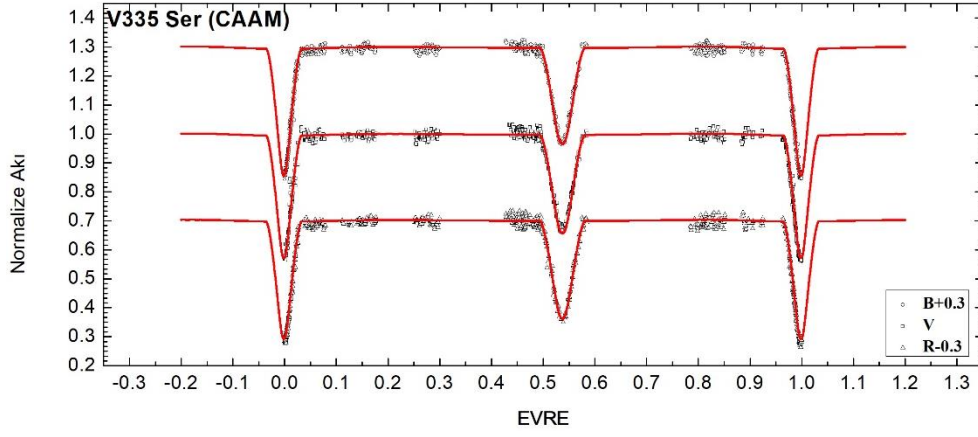
Çizelge 4.10. V335 Ser çift yıldızının yörünge parametreleri ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$P_{yör}$ (gün)	3,44988*	—
$T_0$ (HJD)+2400000	51407,6347	0,0082
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	106,5	0,3
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	119,1	0,3
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	-4,8	0,2
$a_1 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	5,00	0,02
$a_2 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	5,59	0,02
$M_1 \sin i$ ( $M_\odot$ )	2,10	0,02
$M_2 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,88	0,01
$e$	0,141	0,002
$\omega$ (°)	64,9	0,9

\*Lacy ve ark. (2012)



Şekil 4.13. V335 Ser'in bileşenlerinin ölçülen dikine hızlarıyla elde edilen yörünge parametreleri kullanılarak çizilen kuramsal modelin uyumu. Mavi noktalar baş bileşeni, turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kuramsal dikine hız eğrilerini göstermektedir.



Şekil 4.14. V335 Ser'in BVR filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve kuramsal (kırmızı) ışık eğrilerinin uyumu.

Çizelge 4.11. V335 Ser'in BVR ışık eğrileri ile dikine hız eğrilerinin eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler ve hataları.

Parametre	Değer	Hata
$T_0$ (HJD)	2453985,3803*	—
$P_{yör}$ (gün)	3,44988 *	—
$a$ ( $R_{\odot}$ )	15,07	0,05
$V_{\gamma}$ ( $\text{kms}^{-1}$ )	-4,81	0,08
<i>Evre Kayması</i>	-0,0023	0,0001
$i$ (derece)	86,42	0,04
$T_1$ (K)	9100	100
$T_2$ (K)	8540	120
$\Omega_1$	8,675	0,118
$\Omega_2$	8,532	0,089
$q$	0,897	0,003
$L_{1B}$	0,561	0,012
$L_{1V}$	0,548	0,010
$L_{1R}$	0,544	0,011
$L_{2B}$	0,439	0,011
$L_{2V}$	0,452	0,010
$L_{2R}$	0,456	0,010
$L_3$	0	—
$r_{1ort}$	0,1284	0,0016
$r_{2ort}$	0,1197	0,0012

\* Lacy ve ark. (2012)

#### 4.1.5. V397 Cep

V397 Cep (HD 225093, TYC 4306-146-1,  $V=7^m.40$ ) sistemi *HIPPARCOS* uydusu tarafından keşfedilmiş örten bir çift yıldızdır. İlk yer tabanlı gözlemleri *UBV* filtrelerinde Bulut ve ark. (2001) tarafından yapılmıştır. Bulut ve ark. (2005) gözlenen ışık eğrilerinin analizlerini yayınlamışlar ve V397 Cep'in  $e= 0.1334$ 'lük bir basıklıkta yaklaşık olarak 300 yıl dönemli eksen dönmesi gösteren bir sistem olduğunu belirtmişlerdir. Daha sonra ise Bulut (2009), yeni minimum zamanlarını ekleyerek sistemin yörünge dönemi değişimini incelemiş ve ışık elemanlarını  $P = 2.0868035$  gün  $T_{0min} = 2448501.1788$  olarak hesaplamışlardır. Ayrıca yine bu çalışmada daha önce bulunan eksen dönmesi dönemini 174.2 yıl olarak revize etmişlerdir. Bunlara ek olarak, *Hipparcos* yıldızları için McDonald ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada sistem için sıcaklık 8241 K olarak tahmin edilmiştir. Sistemin yayınlanmış herhangi bir tayfsal bir çalışması bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, sistemin tayfsal çalışması olmaması nedeniyle, öncelikle yeni alınmış tayf verileriyle bileşenlerin dikine hızlarının ölçülmesi ve ışık eğrisiyle eş zamanlı çözümlerinden bileşenlerin temel parametrelerinin ilk kez belirlenerek evrim durumlarının tartışılması amaçlanmıştır. Öncelikle, DAO'dan alınan tayf verileri çapraz eşleştirme yöntemiyle analiz edilmiş ve V397 Cep'in bileşenlere ait dikine hızlar ilk kez belirlenmiştir. Ölçülen dikine hız verileri Çizelge 4.12'de verilmektedir. Ölçülen hızlardan yararlanılarak sisteme ilişkin yörünge parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.13). Ölçülen dikine hızlar ile gözlenen ışık eğrilerinin Wilson-Devinney yazılımı kullanılarak eş zamanlı çözümü sonucunda elde edilen parametreleri, Çizelge 4.14'te verilmektedir. Çözüm sonuçlarıyla dikine hızların ve ışık eğrilerinin uyumu sırasıyla Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'de gösterilmektedir. Bu çalışmada elde edilen çözüm sonuçlarına göre daha önce Bulut ve Demircan (2002)'in *Hipparcos* verileriyle yapmış olduğu ışık eğrisi çözümünden elde ettikleri 0.95'lik kütle oranı değeri biraz küçük kalmaktadır (Bulut ve ark. 2005). Bulut ve ark. (2005)'nin *UBV* filreleriyle yapmış oldukları çözüm de uyguladıkları kütle oranı taraması yöntemiyle elde ettikleri kütle oranı bu çalışmada elde edilen 0.987 ile oldukça uyumludur. Ancak, Bulut ve ark. (2005)'nin ışık eğrisi çözümünde kullandıkları ve elde ettikleri birinci ve ikinci bileşen sıcaklıkları ( $T_1=9730$  K ve  $T_2=9588$  K), bu çalışmada hesaplanan değerlere göre oldukça büyük kalmaktadır. Bu durum yaş ve evrim tartışmaları açısından oldukça önemlidir.

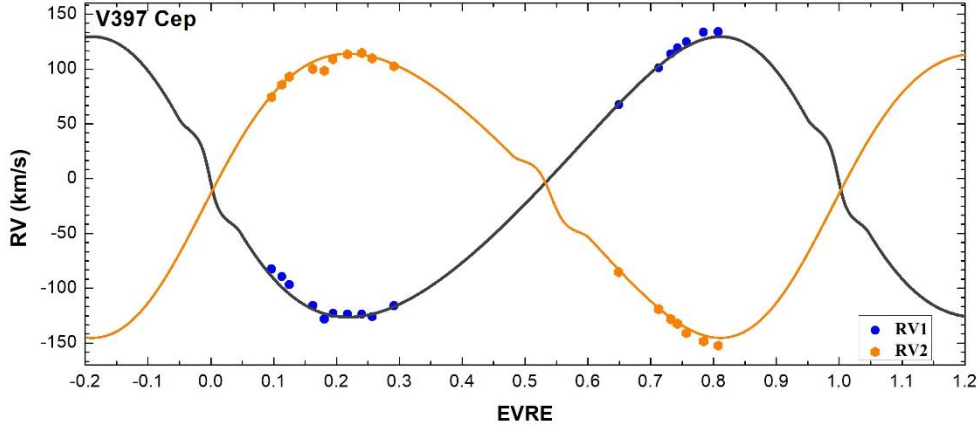
Çizelge 4.12. V397 Cep' in bileşenlerinin ölçülen dikine hız değerleri ve hataları.

HJD+	$RV_1$ (kms <sup>-1</sup> )	Hata (kms <sup>-1</sup> )	$RV_2$ (kms <sup>-1</sup> )	Hata (kms <sup>-1</sup> )
2450000				
6171,9353	133,5	6,3	-148,5	6,2
6171,9845	133,9	6,5	-152,4	6,3
6172,9217	-126,0	6,1	109,7	7,4
6172,9939	-116,0	6,5	102,4	6,6
6173,9133	113,8	7,0	-128,1	6,2
6173,9655	124,7	6,3	-140,8	6,7
6174,9262	-123,6	6,2	113,3	7,2
6174,9739	-123,6	6,2	114,5	7,0
6175,9600	101,1	7,8	-119,1	5,8
6176,0226	119,2	7,2	-132,3	6,0
6176,8982	-115,9	5,8	100,0	7,1
6176,9655	-123,0	6,2	108,9	7,2
6179,0234	-128,2	6,0	98,3	7,5
6180,0015	67,5	8,8	-85,3	5,0
6180,9344	-82,6	5,1	74,3	8,1
6180,9690	-89,4	5,0	85,7	7,5
6180,9941	-96,8	5,2	92,9	7,9

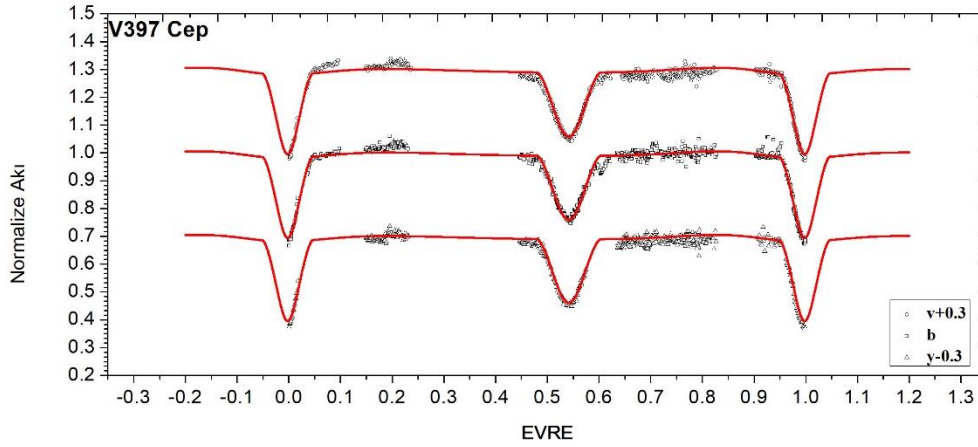
Çizelge 4.13. V397 Cep çift yıldızının yörünge çözümünden elde edilen parametreler ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$P_{yör}$ (gün)	2,08684*	—
$T_0$ (HJD)	2456170,6389	0,0011
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	129,5	1,1
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	131,2	1,1
$V_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	-7,1	0,5
$a_1 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	3,67	0,04
$a_2 \sin i$ (10 <sup>6</sup> km)	3,72	0,04
$M_1 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,85	0,05
$M_2 \sin i$ ( $M_\odot$ )	1,83	0,05
$e$	0,159	0,008
$\omega$ (°)	54,2	1,9

\* Bulut ve ark. (2005)



Şekil 4.15. V397 Cep'in bileşenlerinin ölçülen dikine hızlarıyla yörünge parametrelerinden hesaplanan kuramsal eğrilerin uyumu. Mavi noktalar baş bileşeni, turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kuramsal dikine hız eğrilerini göstermektedir.



Şekil 4.16. V397 Cep'in *vby* filtrelerindeki gözlenen (siyah) ve kuramsal (kırmızı) ışık eğrilerinin uyumu.



Çizelge 4.14. V397 Cep'in *UBV* ve *vby* ışık eğrilerinin dikine hız verileriyle eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler ve hataları.

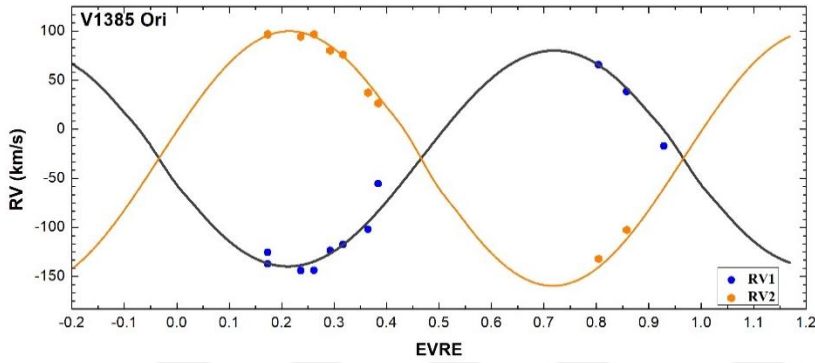
Parametre	Değer	Hata
$T_0$ (HJD)	2448501,1788 *	—
$P_{yör}$ (gün)	2,08684*	—
$a$ ( $R_{\odot}$ )	10,74	0,64
$V_{\gamma}$ ( $\text{kms}^{-1}$ )	-7,1	0,5
<i>Evre Kayması</i> ( <i>UBV</i> )	0,030	0,003
<i>Evre Kayması</i> ( <i>vby</i> )	0,018	0,002
$i$ (derece)	81,65	0,03
$T_1$ (K)	8311	150
$T_2$ (K)	8262	160
$\Omega_1$	6,536	0,021
$\Omega_2$	6,746	0,022
$q$	0,987	0,003
$e$	0,149	0,001
$\omega_{UBV}$ ( $^{\circ}$ )	39,7	3
$\omega_{vby}$ ( $^{\circ}$ )	63,6	4
$L_{1U}$	0,524	0,007
$L_{1B}$	0,530	0,008
$L_{1V}$	0,529	0,008
$L_{2U}$	0,476	0,006
$L_{2B}$	0,470	0,006
$L_{2V}$	0,471	0,006
$L_{1v}$	0,531	0,008
$L_{1b}$	0,530	0,008
$L_{1y}$	0,529	0,008
$L_{2v}$	0,469	0,007
$L_{2b}$	0,470	0,007
$L_{2y}$	0,471	0,007
$L_3$	0	—
$r_{1ort}$	0,1805	0,0005
$r_{2ort}$	0,1721	0,0005

\* Bulut ve ark. (2005)

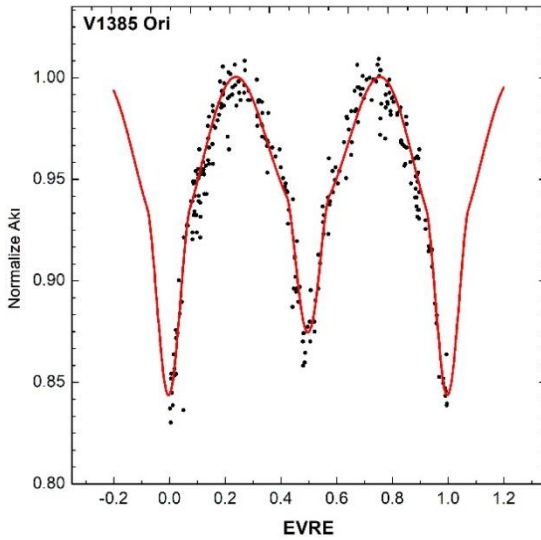
#### 4.1.6. V1385 Ori

V1385 Ori (HD 40679, TYC 1321-1028-1,  $V=7^m.46$ ), literatürde yarı-ayrık bir çift sistem olarak tanımlanmıştır. Çift sisteme ilişkin son yıllara kadar yıldızla ilişkin ayrıntılı bir çalışma bulunmamakla birlikte Baginska ve ark. (2016), yıldızla ilişkin birkaç tayf verisi almışlar ve ASAS verisiyle birlikte çözümlenelerde bulunmuşlardır. Baginska ve ark.

V1385 Ori'nin  $M_1 = 2.95(10) M_\odot$ ,  $M_2 = 2.72(10) M_\odot$ , ve 0.3 Gyıl yaşında bir ayırık sistem olabileceğini belirtmişlerdir. McDonald ver ark. (2012) ise kızılöte dalgaboylarındaki verileri kullanarak yaptıkları çalışmada V1385 Ori için baş bileşenin sıcaklığını 8199 K olarak belirlemişlerdir. Çift yıldızın bunlar dışında herhangi bir detaylı çalışması bulunmamaktadır. Tez çalışması kapsamında tayfları TUG RTT150'den alınan V1385 Ori için yine ASAS verileri kullanılarak detaylı fotometrik ve tayfsal çözümler yapılmıştır. Bu sonuçlar ile ASAS ışık eğrisi kullanılarak elde edilen ışık eğrisi çözüm parametreleri ise Çizelge 4.15'te verilmektedir. Ayrıca, elde edilen modeller ile gözlemlerin kıyaslaması Şekil 4.17 ve 4.18'de sunulmuştur.



Şekil 4.17. V1385 Ori'nin bileşenlerinin ölçülen dikine hızlarıyla elde edilen yörünge parametrelerinin uyumu. Mavi noktalar baş bileşeni, Turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin teorik dikine hız eğrisini göstermektedir.



Şekil 4.18. V1385 Ori'nin ASAS V filtrelerindeki gözlenmiş (siyah) ve teorik (kırmızı) ışık eğrisi ile uyumunu gösterilmektedir.

Çizelge 4.15. V1385 Ori ve HIP 25284 sistemlerinin ışık eğrisi ve dikine hız analiz sonuçları.

Parametre	V1385 Ori (ASAS)	Hata	HIP 25284 (Hipparcos)	Hata
$T_0$ (HJD)	2448501,018*	—	2448500,829*	—
$P$ (gün)	2,23798*	—	1,568583*	—
$T_1$ (K)	8199**	—	13005***	—
$T_2$ (K)	6696	252	11294	540
$i$ (derece)	66,06	1,55	69,82	2,3
$a$ ( $R_\odot$ )	11,67	0,72	11,691	1,3
$\Omega_1$	3,959	0,027	3,779	0,036
$\Omega_2$	4,566	0,024	4,158	0,032
$q$ ( $=M_2/M_1$ )	0,85	0,02	0,84	—
$V_\gamma$ ( $kms^{-1}$ )	-29,68	3,4	-4,95	1,45
$K_1$ ( $kms^{-1}$ )	110,9	7,6	161,7	8,1
$K_2$ ( $kms^{-1}$ )	130,4	8,5	192,4	9,7
<i>Evre Kayması</i>	-0,0041	0,0006	0,0002	0,005
$L_1/(L_1+L_2)$	0,786	0,013	0,673	0,015
$L_2/(L_1+L_2)$	0,214	0,010	0,327	0,011
$L_3$	0	—	0	—
$e$	0	—	0	—
$\omega$	90	—	90	—
$f_1$ (%)	89	—	93	—
$f_2$ (%)	78	—	85	—
$r_{1ort}$	0,3285	0,0004	0,3494	0,0006
$r_{2ort}$	0,2457	0,0003	0,2769	0,0005

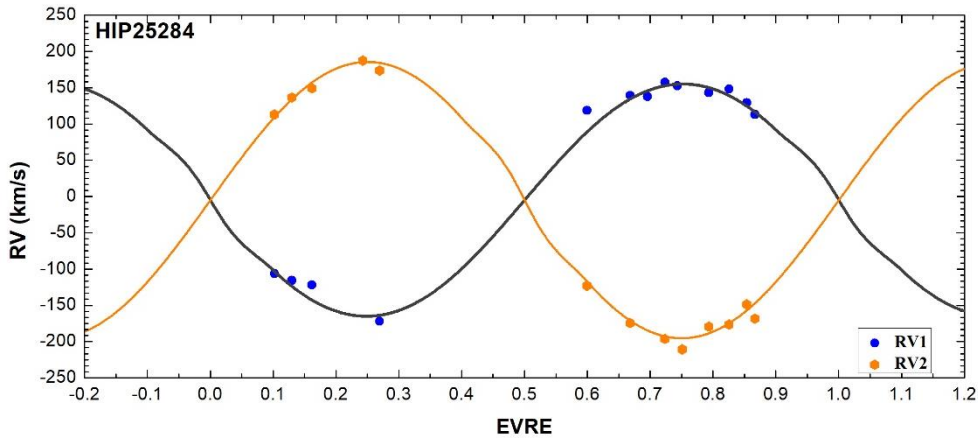
\*Kreiner (2004), \*\* McDonald ve ark. (2012), \*\*\*orta bant  $uvby\beta$  parlaklıklardan hesaplanmıştır.

#### 4.1.7. HIP 25284

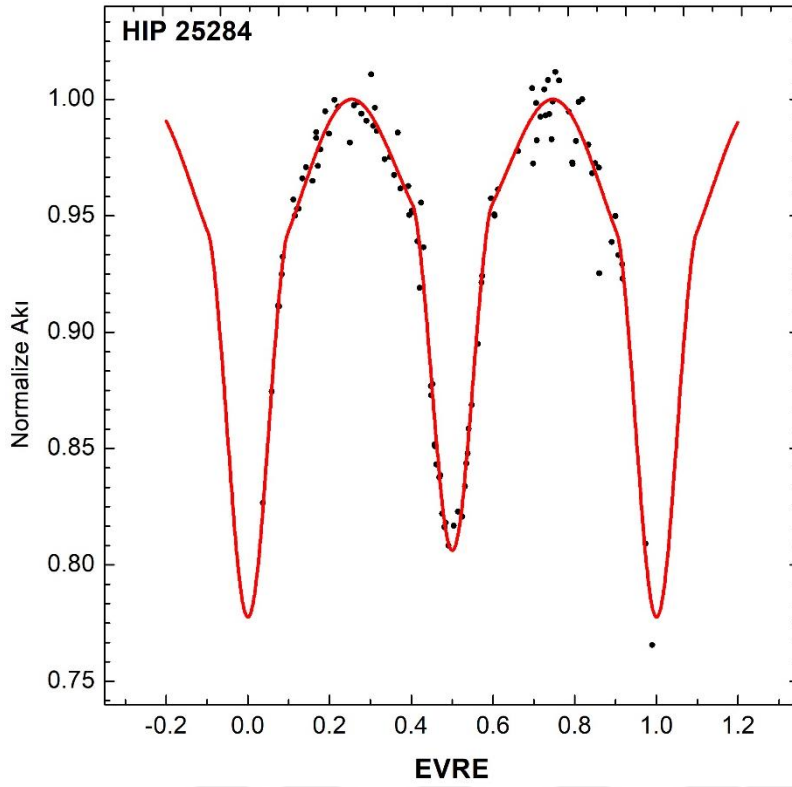
HIP25284 (HD 35120, V425 Aur,  $V=7^m.68$ ), literatürde yarı-ayrık bir çift sistem olarak tanımlanmıştır. Sisteme ilişkin detaylı bir çalışma bulunmamaktadır. McDonald ve

ark. (2012) kızıl-öte dalgaboylarındaki verileri kullanarak yaptıkları çalışmada HIP25284 için 10920 K'lık bir sıcaklık tahmininde bulunmuşlardır.

Bu çalışmada, çift sistemin TUG'dan elde edilen tayflar ile ışık eğrisi analizlerinin sonuçları verilmektedir. Öncelikle, tayf verilerinden çapraz eşleştirme yöntemiyle bileşenlere ait dikine hızlar ölçülmüş ve bu hızlar kullanılarak sistemin yörünge parametreleri elde edilmiştir. Sistemin özellikleriyle bileşenlerin fiziksel ve geometrik parametrelerini elde etmek amacıyla, ölçülen dikine hızlar ve *Hipparcos* veritabanındaki ışık eğrileri, önceki bölümde sunulan yöntemler kullanılarak, eş zamanlı olarak çözülmüş ve elde edilen parametreler Çizelge 4.15'te listelenmiştir. Kuramsal modeller ile gözlemsel verilerin karşılaştırılması ise dikine hız ve ışık eğrileri için sırasıyla Şekil 4.19 ve 4.20'de gösterilmiştir. Çözümler sonucunda, 0.84'lük bir kütle oranına sahip bu ayırık sistemin her iki bileşeninde Roche yüzeylerinin büyük bir bölümünü doldurmuş görünmektedir. Özellikle büyük kütleli bileşen % 93'lük bir doldurma oranıyla Roche aşım sınırına oldukça yaklaşmış durumdadır. Bu çift yıldızın olası bir üçüncü bileşen ışık katkısının varlığı ve Roche yüzeyinin ne oranda dolduğunun daha hassas anlaşılabilmesi için duyarlı çok renk ışık eğrisi gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.19. HIP 25284'in bileşenlerinin dikine hızları ve yörünge parametreleriyle çizilen kuramsal modellerin uyumu. Mavi noktalar baş bileşeni, turuncu olanlar ise yoldaş bileşeni göstermektedir. Siyah ve turuncu çizgiler ise sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kuramsal dikine hız eğrisini göstermektedir.

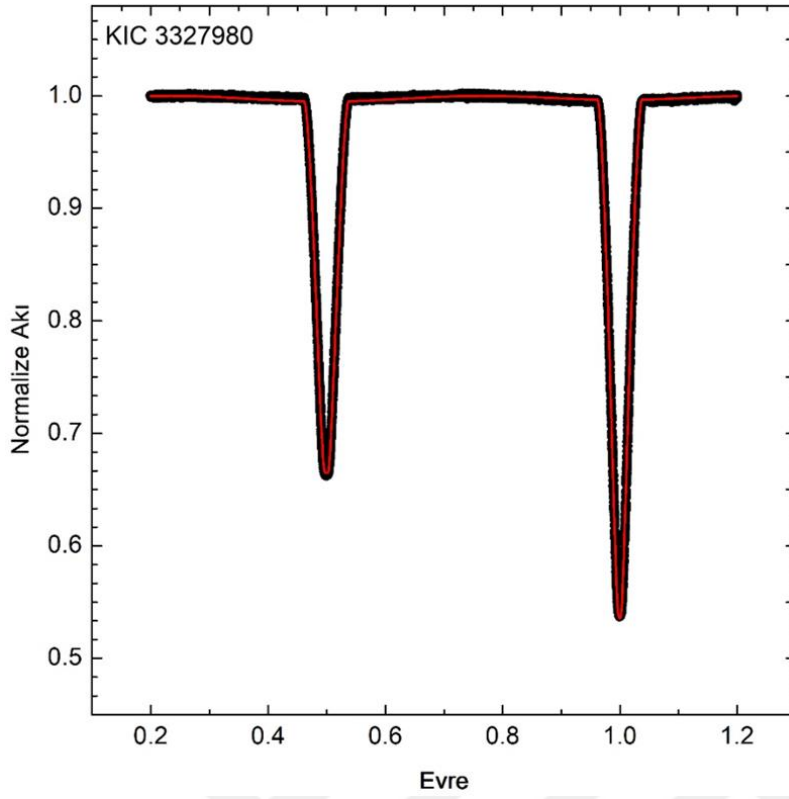


Şekil 4.20. HIP 25284'ün *Hipparcos* ile gözlenmiş (siyah) ışık eğrisi ile kuramsal (kırmızı) modelin uyumu.

#### 4.1.8. KIC 3327980

KIC 3327980 (2MASS J19084227+3826005,  $K_p=12^m.119$ ), VULCAN (Mjaseth ve ark. 2007) taramasıyla keşfedilmiş örten ayırık bir çift yıldızdır. Prsa ve ark. (2011), çift yıldızın yörünge döneminin  $P = 4.2310217$  gün olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, Gies ve ark. (2012) sisteme ilişkin yörünge dönem değişimi olup olmadığını araştırmışlardır ancak anlamlı herhangi bir değişimin olmadığını rapor etmişlerdir. Bunun dışında sisteme ilişkin herhangi bir detaylı çalışma yapılmamıştır.

Tez kapsamında sistemin *Kepler* ışık eğrileri incelenmiş ve *Kepler* kataloğunda (Prsa ve ark. 2011, Slowsan ve ark. 2011) yer alan etkin sıcaklıklar yardımıyla sistemin bileşenlerinin mutlak parametreleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle KIC 3327980 sisteminin ışık eğrileri, Wilson-Devinney yazılımıyla analiz edilmiş ve ilk kez fotometrik parametreleri belirlenerek Çizelge 4.16'da listelenmiştir. *Kepler* ışık eğrisiyle kuramsal modelin karşılaştırılması ise Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Belirlenen yüzey potansiyellerinden bileşenlerin iç Roche yüzeylerini doldurma oranlarının %50'nin altında olduğu ve yakınlık etkilerinin baskın olmadığı ayırık bir dizge olduğu ortaya çıkmaktadır.



Şekil 4.21. KIC 3327980'in *Kepler* ışık eğrisi ve çözüm sonucu elde edilen kuramsal modelin uyumu.

Çizelge 4.16 KIC 3327980 ve KIC 10156064 sistemlerinin ışık eğrisi analiz sonuçları.

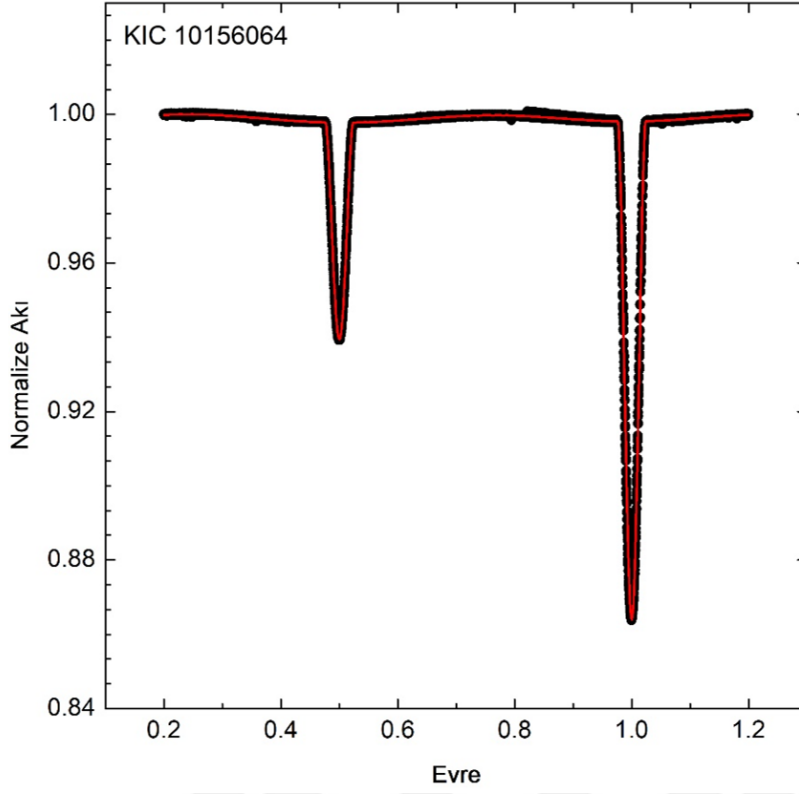
Parametre	KIC 3327980	Hata	KIC 10156064	Hata
$P$ (gün)	4,23102 *	—	4,85594 *	—
$T_1$ (K)	7321*	—	7424*	—
$T_2$ (K)	6820	152	5882	155
$i$ (derece)	89,05	0,14	84,69	0,06
$a$ ( $R_\odot$ )	15,91	0,36	17,24	0,33
$\Omega_1$	8,531	0,004	9,600	0,003
$\Omega_2$	9,489	0,009	11,391	0,005
$q$	0,882	0,001	0,629	0,003
<i>Evre Kayması</i>	-0,0001	0,0001	0,0002	0,0001
$L_1/(L_1+L_2)$	0,668	0,004	0,889	0,003
$L_2/(L_1+L_2)$	0,332	0,004	0,111	0,003
$l_3$	—	—	0,20	0,03
$f_1$	43	—	33	—
$f_2$	39	—	28	—
$r_{1ort}$	0,1309	0,0001	0,1113	0,0001
$r_{2ort}$	0,1045	0,0001	0,0615	0,0001

\*Prsa ve ark. (2011)

#### 4.1.9. KIC 10156064

KIC 10156064 (TYC 3561-1283-1,  $V=10^m.31$ ), ilk olarak *Kepler* uydu verilerinde keşfedilmiş ve Prsa ve ark. (2011) tarafından çift yıldızın yörünge dönemi  $P = 4.2310217$  gün olarak verilmiştir. Ayrıca, Gies ve ark. (2012) sisteme ilişkin yörünge dönem değişimini araştırmışlar ancak herhangi bir değişim bulamamışlardır. Bunun dışında çift yıldızla ilişkin herhangi bir detaylı çalışma yayınlanmamıştır.

Bu çalışma kapsamında ayırık çiftlerden olan KIC 10156064'ün *Kepler* ışık eğrilerinin analiz edilemesiyle birlikte ilk kez ayrıntılı çalışmasının yapıp sistemin ve bileşenlerin bazı fiziksel ve geometrik parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede, sistemin ışık eğrisi, *Kepler* kataloğunda (Prsa ve ark. 2011, Slowsan ve ark. 2011) yer alan etkin sıcaklıklar da dikkate alınarak, Wilson-Devinney yazılımıyla analiz edilmiştir. Ayrıca çift sistem ışık eğrisinde leke aktivitesinden kaynaklanabilecek küçük genlikli değişimler de gözlenmiştir. Bu değişimlerin küçük kütleli bileşenden mi, üçüncü bileşen kaynaklı mı yoksa her ikisinden gelen bileşik etki mi olduğu öngörülememektedir ve aktivite etkisi çözüm sonuçlarını etkilemeyecek derecede küçük ölçeklidir. Işık eğrisi analizinden elde edilen parametreler ve hataları Çizelge 4.16'da listelenmektedir. Bu parametrelerden hesaplanan kuramsal eğri ile *Kepler* verilerinin uyumu Şekil 4.22'de gösterilmektedir. *Kepler* verilerinin hassasiyeti sayesinde üretilen çözümlerde oldukça güvenilir kütle oranı ve kesirsel yarıçaplar elde edilmiştir. Sistemin kütle oranının 0.63 değerinde olması, ayırık çift yıldızlar açısından 0.6 civarında ve daha küçük kütle oranına sahip çift sistem sayısının az olduğu düşünüldüğünde oldukça kritik bir öneme sahiptir. Ek olarak, KIC 10156064 çift sistemi %20'lik ışık katkısına sahip olası üçüncü bir bileşen barındırmaktadır.



Şekil 4.22. KIC 10156064'ün *Kepler* ışık eğrisiyle kuramsal modelin uyumu.

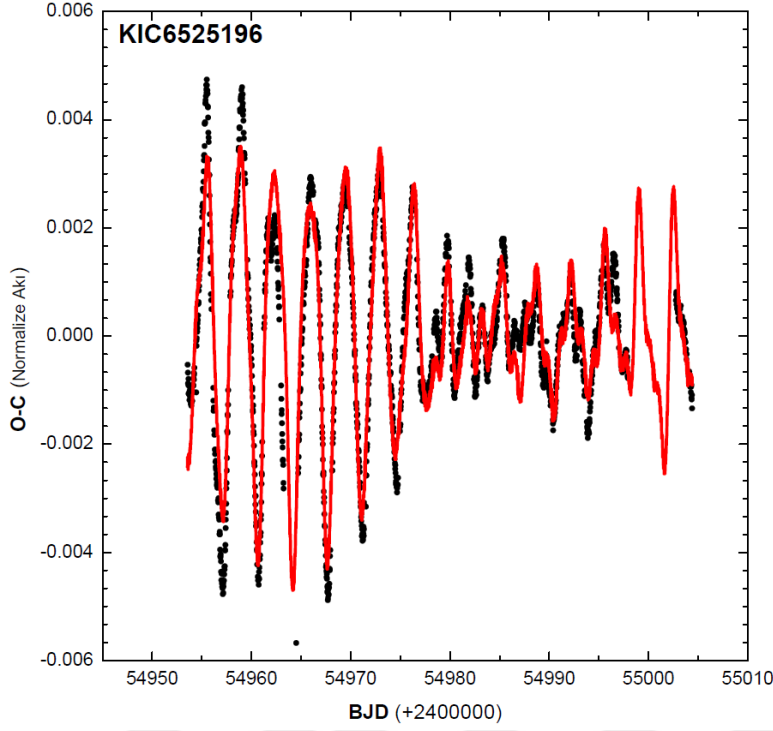
## 4.2. Tutulmalar Dışı Işık Değişimlerinin İncelenmesi

Bu bölümde, tutulma dışı ışık değişimlerinin incelenmesinde seçilen KIC 6525196 ve KIC 8043961 ayırık çift yıldızların *Kepler* verileri üzerine üçünü bölümde anlatılan yöntemler uygulanarak ulaşılan bulgular verilmektedir. Analizler, dönme modülasyonlarının dikkate alındığı ve çıkarıldığı durumlar şeklinde iki durum için incelenmiştir.

### 4.2.1. KIC 6525196

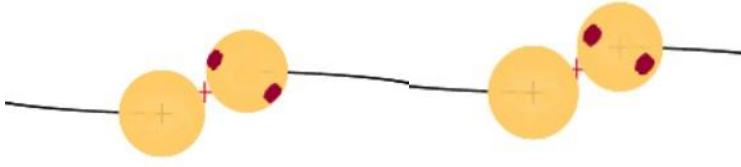
Üçlü sistem olan KIC 6255196'nın tutulma gösteren ikili sistemi bileşenleri hemen hemen Güneş kütleli olup ışık eğrilerinde hem leke hareketleri hem de zonklama kaynaklı olabilecek ışık değişimleri göstermektedir. KIC 6525196 çift yıldızının tutulmalar dışı ışık değişimi ve bu değişimin elde edilen modeller ile uyuşumu Şekil 4.23'te gösterilmektedir. Bu kuramsal modelleri üretmek için yapılan analizler iki alt başlık halinde aşağıda sunulmuştur.





Şekli 4.23. KIC 6525196'nın olası leke etkinliğinden kaynaklanan ışık değişiminin (siyah noktalar) kuramsal model (kırmızı çizgi) ile uyumu.

KIC 6525196 tutulmalar dışında oldukça değişken bir leke hareketliliğine sahiptir. Leke benzeri hareketlilikler eğer birinci ve ikinci bileşen kaynaklı ise yörünge dönemine eş sürelerde genlik değişimleri beklenmektedir. Bu durum frekans analizlerinde kendisini açıkça göstermektedir. Frekans analizleri incelendiğinde bileşenlerin dönme dönemlerinin modülasyonu şeklinde birçok frekans ortaya çıkmaktadır. Bu frekansların varlığı da ışık eğrisindeki değişimlerin leke kaynaklı olabileceğinin bir göstergesi olmaktadır. Tüm kısa poz süreli (SC) *Kepler* verilerinin frekans analizlerine ait sonuçları Çizelge 4.18'de verilmektedir. Leke etkisiyle yıldız yüzeyindeki kirlenmenin ve lekenin yıldız üzerindeki hareketinin daha iyi gözlenebilmesi açısından birkaç yörünge dönemi süresindeki kısa zaman ölçeğinde leke hareketini inceleyecek olursak *Kepler* ışık eğrisinden seçilen iki yörünge dönemi aralıklarla üretilen iki model Şekil 4.24'te gösterilmektedir. Bu zaman aralığındaki frekans analizlerindeki leke modülasyonu frekansları en olası çözümün tek bileşen üzerinde iki lekeli olacağını göstermektedir. Bu modele en uygun leke çözüm parametreleri ve çevrim ile değişimi ise Çizelge 4.17'de verilmektedir.

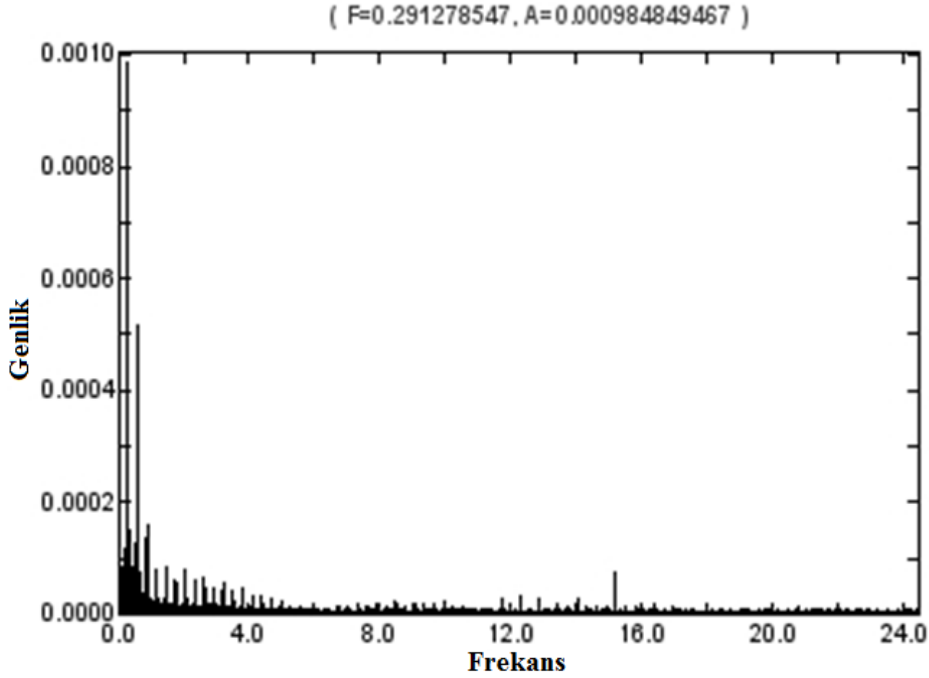


Şekil 4.24. KIC 6525196’ın yoldaş bileşeni üzerinde sistemin 0.46 evresinde, iki yörünge dönemi arayla elde edilen leke modeli.

Çizelge 4.17. KIC 6525196’ nın belirli bir zaman aralığındaki leke modelleme sonuçları.

Parametre	Leke 1	Leke 2
Enlem (°)	70	120
Boylam (°)	310	60
LekeYarıçapı (°)	11	10
T (=T <sub>leke</sub> /T <sub>yıldız</sub> )	0,92	0,9
Parametre (İki yörünge dönemi sonra)		
Enlem (°)	70	110
Boylam (°)	325	50
Leke Yarıçapı (°)	9	10
T (=T <sub>leke</sub> /T <sub>yıldız</sub> )	0,92	0,9

KIC 6525196 sisteminin ışık eğrisindeki diğer bir değişim ise Güneş benzeri zonklamalardan kaynaklanmaktadır. Bu durum, özellikle *Kepler* uydusunun aldığı kısa aralıklı verilerde leke etkileri giderildikten sonra elde edilen frekans analiz sonuçlarında açıkça görülmektedir (bakınız EK I). Zonklamaya ilişkin analizlerde standart sapması Breger ve ark. (1993) tarafından kabul edilen  $4\sigma$  değerinin üzerinde yüzlerce frekans belirlenmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. KIC 6525196'nin sismik analizinden belirlenen frekansların gösterimi.

Çizelge 4.18. KIC 6525196 ve KIC 8043961 sistemlerinin frekans analizi sonuçlarında elde edilen ilk beş frekans, genlik ve evre değerleri.

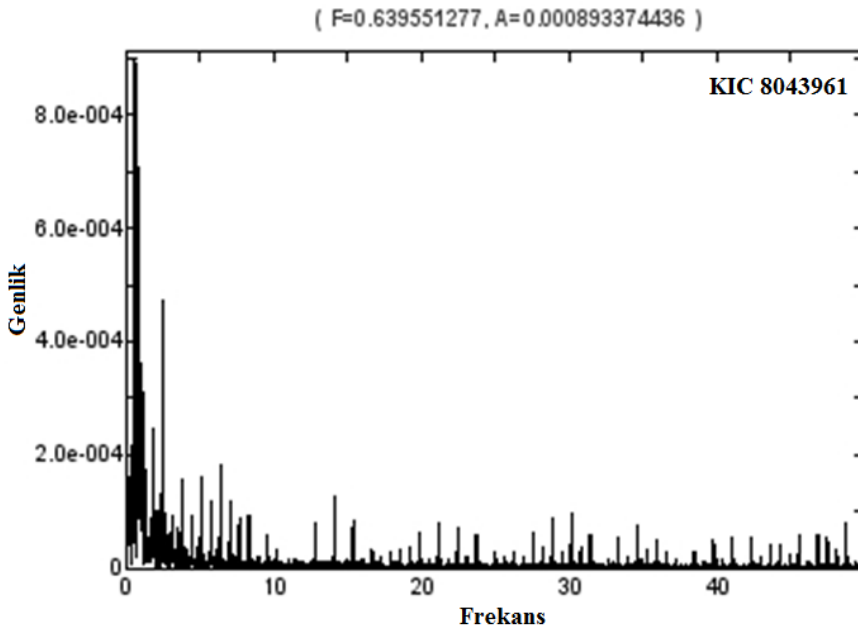
KIC 6525169	Frekans	Genlik	Evre	KIC 8043961	Frekans	Genlik	Evre
F1	0,29128	0,00088	0,06884	F1	0,63955	0,00085	0,37784
F2	0,29597	0,00075	0,88736	F2	0,91827	0,00051	0,16699
F3	0,29343	0,00059	0,73257	F3	2,57117	0,00047	0,25962
F4	0,30002	0,00054	0,81619	F4	0,04321	0,00046	0,70141
F5	0,59504	0,00051	0,55669	F5	0,95284	0,00113	0,91600

#### 4.2.2. KIC 8043961

Ayrık çift dizge KIC 8043961'in ışık eğrisinde üçüncü cisim etkisi ve tutulma dışı değişimler görülmektedir. Sistemin tutulma gösteren çift yıldız bir evrimleşmiş bileşen içermektedir. Sistemin ışık eğrilerinde hem küçük boyutta leke hareketleri hem de  $\gamma$  Dor ve  $\delta$  Scuti benzeri zonklama özellikleri olduğu düşünülebilir. Hem bileşenlerin ışık ve dikine hız analizleriyle elde edilen parametreleri hem de sıcaklık değerleri bu tür zonklamaların olabileceği kararsızlık kuşağının kırmızı kenarına yakın durumdadır. Bu durum frekans analizlerinde kendisini farklı uzun ve kısa dönemlerde göstermektedir.

KIC 8043961 üçlü sisteminde bileşenlerin sıcaklıkları dikkate alındığında manyetik etkinlik kaynaklı leke hareketleri, ışık değişimlerine yol açabilir. Üç bileşen de leke oluşumuna neden olabilecek kütle ve sıcaklık aralığında bulunduğundan bu tür ışık değişiminin kaynağı olabilir. Ancak, en olası leke kaynağı modülasyonlar da dikkate alındığında küçük kütleli bileşendir. Olası soğuk leke kaynaklı ışık değişimleri analiz edildiğinde O'Connell etkisi benzeri bir değişim karşımıza çıkmakta ve 0.75 evre dolaylarında çok küçük genlikli ışık azalmaları görülmektedir. Bu kapsamda, görülen bu değişimin önemliliği araştırılmıştır. Analiz sonucunda lekenin oluşturduğu dönme modülasyonuna ilişkin belirlenen frekans değerleri Çizelge 4.18'de verilmektedir.

KIC 8043961 sistemindeki diğer bir değişim ise  $\gamma$  Dor ve  $\delta$  Scuti benzeri zonklamalardan kaynaklanmaktadır. Zonklamamanın tek bileşenden kaynaklı hibrit bir değişim mi yoksa her iki bileşenin bileşik etkisi mi olduğu konusunda detaylı incelemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, özellikle *Kepler* uydusunun aldığı kısa poz süreli verilerde leke etkileri giderildikten sonra elde edilen frekans analiz sonuçlarında açıkça görülmektedir (bakınız EK I). Belirlenen frekanslarının güvenilirliği için Breger ver ark. (1993) tarafından verilen  $4\sigma$  sınır değeri kullanılmıştır. Yapılan frekans analizine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.18'de, frekansların gösterimi ise Şekil 4.26'da verilmektedir.



Şekil 4.26. KIC 8043961 sisteminin sismik analizinden elde edilen frekansların gösterimi.

### 4.3. Yörünge Dönem Değişimi Analizleri

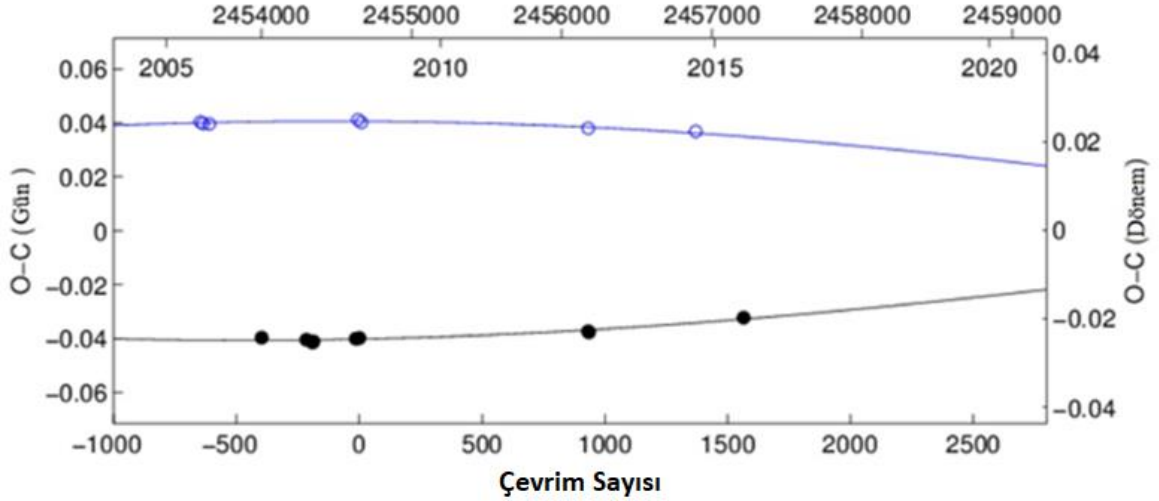
Yörünge dönem değişimi analizleri yörünge basıklığı gösteren üç sistem (HD 350731, V335 Ser ve V397 Cep) için daha önceki bölümde bahsedilen yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Analizler sırasında dejenerasyonların azaltılması açısından ışık eğrilerinden elde edilen basıklık değerleri öncelikle sabit tutulmuş sonrasında serbest bırakılmıştır. *O-C* analizlerinde gözlenen her bir yeni minimum zamanının özellikle az verili sistemler için büyük bir önemi vardır. Her eklenen minimum zamanlarıyla elde edilen parametrelerdeki küçük değişikliklerin fiziksel ifadeler veya açıklamalar üzerindeki etkisi büyük olabilmektedir. Seçilen üç sistem de eksen dönmesi göstermektedir ve yörünge dönem analizleri, en beri boylamının değişim oranının bulunması veya güncellenmesi açısından önemlidir. *O-C* analizlerinde kullanılan tüm minimum zamanları EK II’de verilmektedir.

#### 4.3.1. HD 350731

Çift yıldızın eksen dönmesi gösterdiğine ilişkin ilk bilgiler Kleidis ve ark. (2008) tarafından verilmiştir. Son olarak, Soydugan ve ark. (2015) yıldızın *O-C* analizini yapmışlardır. Bu bölümde Soydugan ve ark. (2015) yapılan çalışmaya ek olarak Hubscher (2016) tarafından yayınlanan yeni bir minimum zamanı kullanılarak *O-C* çalışması güncellenmiştir. *O-C* analizinden elde edilen çözüm parametreleri ve gözlem noktalarının kuramsal eğriyle uyumu, sırasıyla Çizelge 4.19 ve Şekil 4.27’de verilmektedir. Yapılan analizler sonucunda, ışık eğrisi çözüm sonuçlarıyla uyumlu olarak  $e=0.078$  lik bir basıklık bulunmuştur. Soydugan ve ark. (2015)’nin hesaplamış oldukları 92 yıllık bir eksen dönmesi döneminin eklenen bir minimum zamanı verisiyle 89.6 yıla azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.19. HD 350731’in eksen dönmesi parametreleri ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$T_0$ (HJD)	2454651,5002	0,0101
$P$ (gün)	1,63513	0,00001
$e$	0,078	0,036
$\omega$ (°)	5,3	3,9
$d\omega/dt$ (°/çevrim)	0,018	0,008
$U$ (yıl)	89,6	32
$P_a$ (gün)	1,635213	0,00001



Şekil 4.27. HD 350731'in *O-C* verileriyle eksen dönme analizi sonucunda elde edilen parametreler ile oluşturulan kuramsal modelin uyumu.

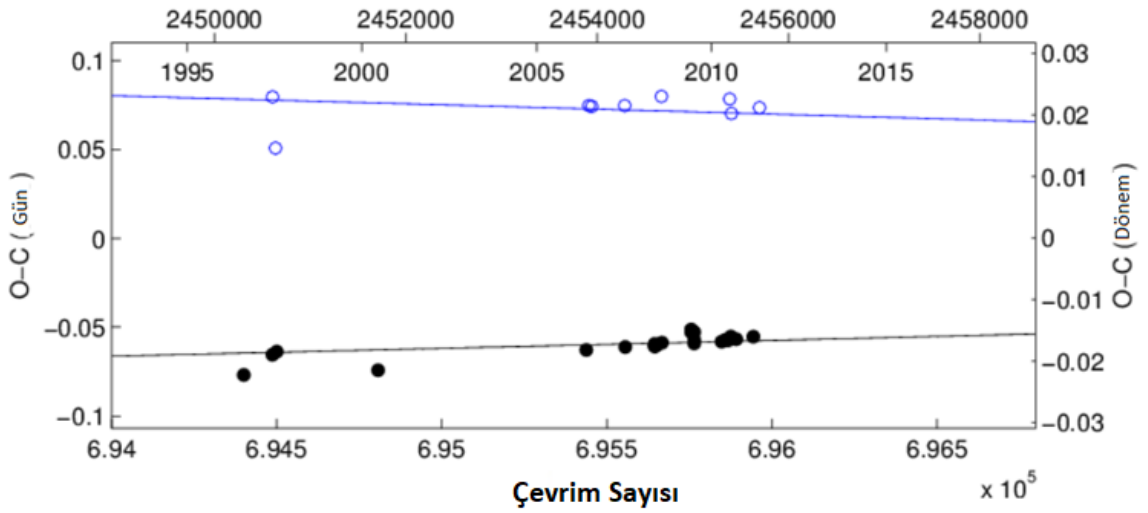
#### 4.3.2. V335 Ser

V335 Ser çift yıldızının ilk eksen dönmesi çalışması Bozkurt (2011) tarafından yapılmış ve eksen dönmesinin hatası büyük olmakla birlikte 261 yıllık bir döneme sahip olduğu belirtilmiştir. Lucy ve ark. (2012) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise eksen dönme döneminin yaklaşık 880 yıl olduğu rapor edilmiştir.

Tez kapsamında, literatürdeki minimum zamanlarıyla ÇAAM'da gözlenen minimum zamanları birlikte analiz edilerek çift yıldızla ilişkin eksen dönmesi parametreleri yeniden elde edilmiştir. Analiz sonucunda hesaplanan parametreler ve hataları Çizelge 4.20'de listelenmiştir. *O-C* verileriyle kuramsal modelin uyumu ise Şekil 4.28'de gösterilmektedir. Çözüm sonuçlarından da görüleceği üzere V335 Ser'in eksen dönmesi davranışının anlaşılabilmesi için zamana yayılmış daha fazla minimum zamanına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerekliliğin en açık göstergesi, eksen dönmesi döneminin, bu çalışmada eklenen minimum zamanı verileriyle Lucy ve ark. (2012)'nin hesaplamalarının neredeyse iki, Bozkurt (2011)'un hesaplamalarının ise yedi katına çıkarak 1751 yıla ulaşmasıdır.

Çizelge 4.20. V335 Ser'in eksen dönmesi parametreleri ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$T_0$ (HJD)	2454715,1659	0,2101
$P$ (gün)	3,44987	0,00002
$e$	0,14	0,04
$\omega$ (°)	154	25
$d\omega/dt$ (°/çevrim)	0,0019	0,002
$U$ (yıl)	1751	420
$P_a$ (gün)	3,44989	0,00002



Şekil 4.28. V335 Ser'in  $O-C$  analizi sonucunda elde edilen kuramsal modelin gözlem verileri ile uyumu.

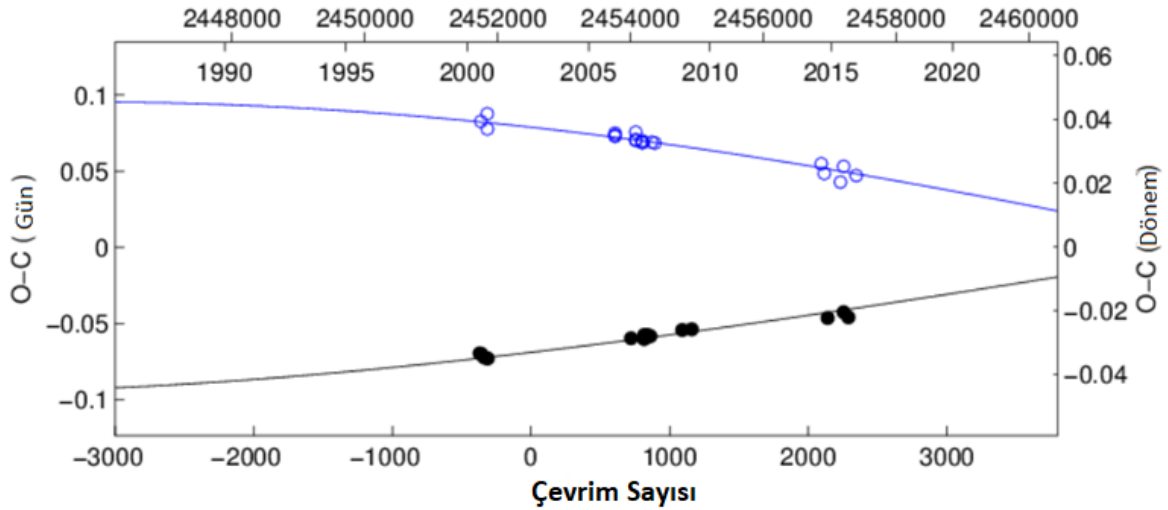
### 4.3.3. V397 Cep

V397 Cep'in ilk eksen dönmesi çalışması Bulut (2009) tarafından gerçekleştirilmiş ve sistemin eksen dönme dönemi 174.2 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında çift yıldızda ait literatürde daha önce gözlenen minimum zamanları toplanmış ve ÇAAM'da gözlenen yeni minimum zamanlarıyla birleştirilerek  $O-C$  analizleri güncellenmiştir.  $O-C$  analizi sonucunda hesaplanan eksen dönmesine ilişkin parametreler ve hataları Çizelge 4.21'de verilmiştir. Gözlem noktalarının kuramsal eğriyle uyumu ise Şekil 4.29'da gösterilmektedir. Analizler sonucunda, ışık eğrisi çözümleriyle uyumlu olarak yörünge basıklığı,  $e=0.14$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca eklenen yeni minimum zamanları ile birlikte

eksen dönmesi dönemi 206 yıl hesaplanmıştır ve bu değer Bulut (2009)'un bulduğu dönemden yaklaşık 32 yıl daha uzundur.

Çizelge 4.21. V397 Cep'in eksen dönmesi parametreleri ve hataları.

Parameter	Değer	Hata
$T_0$ (HJD)	2452501,7102	0,0017
$P$ (gün)	2,086823	0,000009
$e$	0,14	0,02
$\omega$ (°)	38,9	2,3
$d\omega/dt$ (°/çevrim)	0,001	0,002
$U$ (yıl)	206	24
$P_a$ (gün)	2,086881	0,000009



Şekil 4.29. V397 Cep'in  $O-C$  analizi sonucunda elde edilen parametreler ile hesaplanan kuramsal model eğrileriyle gözlem verilerinin uyumu.

#### 4.4. Tayfsal Ayrıştırma ve Model Atmosfer Analizleri

Bileşik tayfların ayrıştırılması, sistemdeki olası üçüncü bileşenlerin ortaya çıkarılması ve çift sistem bileşenlerinin ayrı ayrı incelenmesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıştırılmış tayflar sayesinde bileşenlerin ayrı ayrı duyarlı atmosfer modelleri elde edilebilir. Böylece, bileşenlerin mutlak parametrelerin daha hassas belirlenebilir ve detaylı evrim modelleriyle sistem ve bileşenlerin yapı ve özellikleri hakkında daha fazla bilgiye ulaşılabilir. Bu bölümde, yeterli verisi olan HD 350731, KIC 6525196, KIC 8043961, V335 Ser ve V397

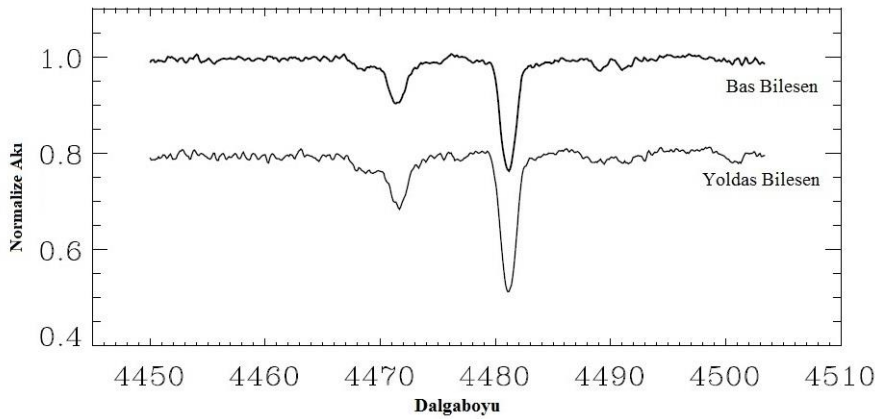


Cep sistemleri için, bileşenlerin ışık eğrilerinden gelen katkıları ve elde edilen yörünge parametreleri yardımıyla, önceki bölümde anlatılan yöntemler kullanılarak, bileşenlerin tayfsal ayrıştırılması yapılarak analiz sonuçları verilecektir. Tayfsal ayrıştırması gerçekleştirilen çift yıldızların ayrıştırılmış tayfları üçüncü bölümde belirtilen yöntemler ile çözümlenerek her bir bileşenin model atmosfer parametreleri üretilecektir.

Model atmosfer analizleri her bir bileşenin yüzey sıcaklıklarının, dönme hızlarının ve ağır element bolluklarının daha hassas belirlenebilmesi açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle, bileşenlere ait duyarlı bir şekilde belirlenecek sıcaklık ve metal bolluğu parametreleri tek ve çift yıldız evrimlerinin daha iyi bir şekilde oluşturulması ve tartışılması açısından oldukça kullanışlıdır. Bu bağlamda, bulunan model parametreler (Çizelge 4.22-23-24-25-26) ilerleyen bölümlerdeki evrim modellerinin daha iyi oluşturulmasına ve daha hassas mutlak parametre belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

#### 4.4.1. HD 350731

HD 350731 çift yıldızının ayrıntılı tayfsal çalışması ilk kez tez çalışmasının bir parçası olarak Soyduğan ve ark. (2015)'te sergilenmiştir. Tayfsal ayrıştırma safhasında *BVR* filtrelerinde elde edilen akı katkıları yardımıyla bileşenlerin tayfları KOREL yazılımı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma sonucunda elde edilen tayf örnekleri Şekil 4.30'da verilmektedir.



Şekil 4.30. HD 350731'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir (Soyduğan ve ark. 2015).

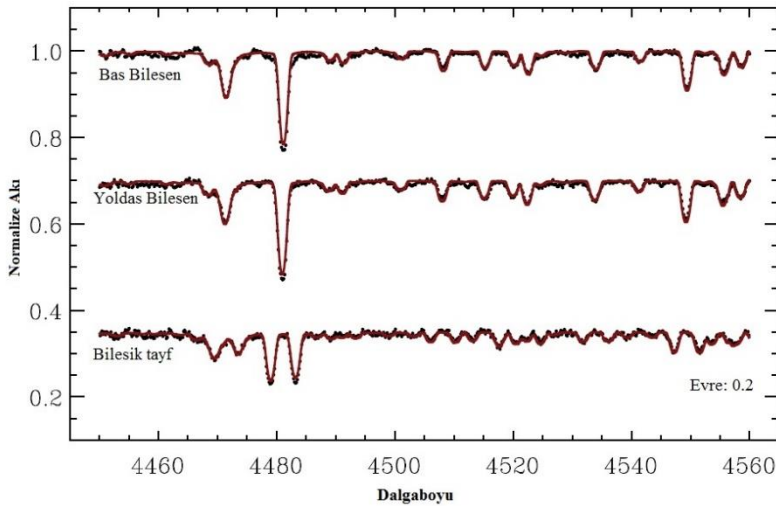
HD 350731 çift yıldızının atmosfer modelleri ayrıştırılmış tayflar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sırasında en iyi çözüm bileşenlerin metal bollukları

birbirlerine göre az da olsa farklılık gösteren metalce zengin modellerden gelmektedir. Ancak, tayfsal çözünürlük düşünüldüğünde her iki bileşen içinde Güneş bolluğu alınarak çözümler sonuçlandırılmıştır. Güneş kompozisyonundaki model çözümü Soydugan ve ark. (2015)'te sunulmaktadır. SME yazılımı kullanılarak elde edilen Güneş bolluğundaki atmosfer model çözüm parametreleri Çizelge 4.22'de her iki bileşen içinde verilmektedir. Ayrıca, ayrıştırılmış tayflar ve 0.2 evredeki gözlenen çift yıldız tayfıyla oluşturulan modellerin uyumu Şekil 4.31'de verilmektedir. Analizlerde  $\log g$  değeri, ışık eğrisi ve dikine hız çözümleri sayesinde duyarlı bir şekilde elde edilmiş ve bu nedenle model atmosfer hesaplamalarında sabit alınmıştır. Modeller yardımıyla elde edilen bileşen sıcaklıkları Güneş bolluğu göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Gelecekte alınacak yüksek çözünürlüklü ve daha geniş bir dalga boyu aralığını kapsayan tayf verileriyle güncellenecek analizlerde elde edilecek farklı metal bolluklarıyla bileşen sıcaklıklarında değişiklikler meydana gelebilir. Ayrıca, model atmosferler ile elde edilen dönme hızları çift yıldız dönme-dolanma senkronizasyonu öncesi beklenen değerlere oldukça yakın bulunmuştur.

Çizelge 4.22. HD 350731'in ayrıştırılmış tayflarıyla elde edilen atmosfer parametreleri (Soydugan ve ark. 2015).

Bileşen	$T_{eff}$ (K)	$\log g$ (cgs)	$v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[M/H] (dex)
Baş	12000(250)	4,25*	69,2 (15)	0*
Yoldaş	11830(300)	4,25*	70,1 (17)	0*

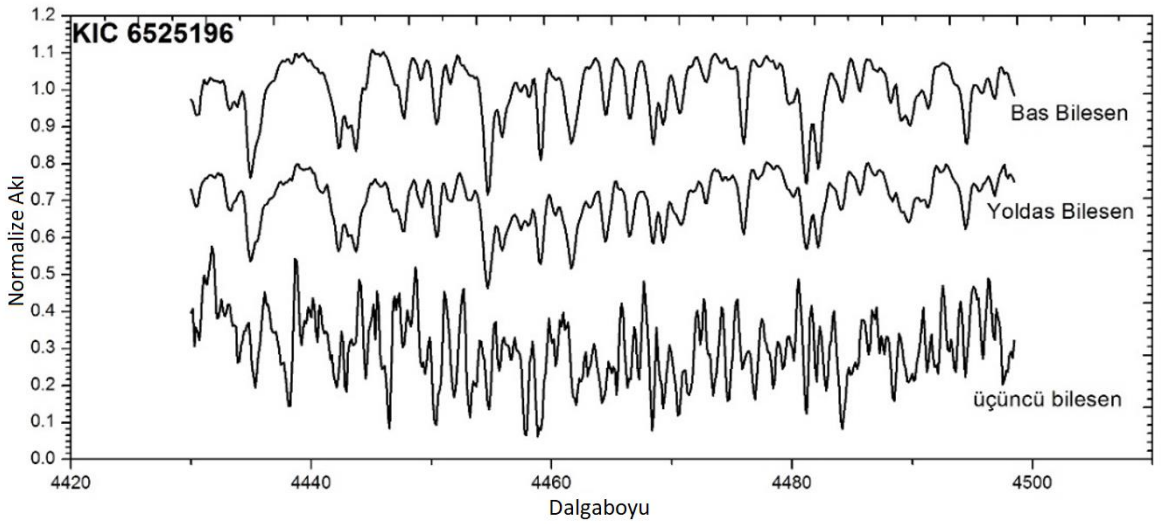
\*Sabit alınmıştır.



Şekil 4.31. Ayrıştırılmış bileşen tayflarıyla (siyah noktalar) en iyi atmosfer modelinin (kırmızı çizgi) uyumu (Soydugan ve ark. 2015).

#### 4.4.2. KIC 6525196

KIC 6525196 sisteminin ayrıntılı tayfsal çalışması ilk kez bu tez çalışması kapsamında sergilenmiştir. Tayfsal ayrıştırma safhasında orta bant  $vby$  filtrelerinde elde edilen akı katkıları yardımıyla her üç bileşenin tayfları FDBinary yazılımı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma sonucunda elde edilen tayf örnekleri Şekil 4.32’de verilmektedir. Şekilden de görüleceği üzere üçüncü bileşen tayfı ayrıştırma sonucunda, elde edilen tayfsal verinin, zaman yayılımının yeterli olmaması ve çözünürlüğünün yeterince yüksek olmaması nedeniyle oldukça gürültülü bir şekilde elde edilebilmiştir. Üçüncü bileşenin daha duyarlı ayrıştırılabilmesi için zamana yayılmış tayf miktarının artırılması gerekmektedir.



Şekil 4.32. KIC 6525196’nın tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen, (orta) yoldaş bileşen ve (alt) üçüncü bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.

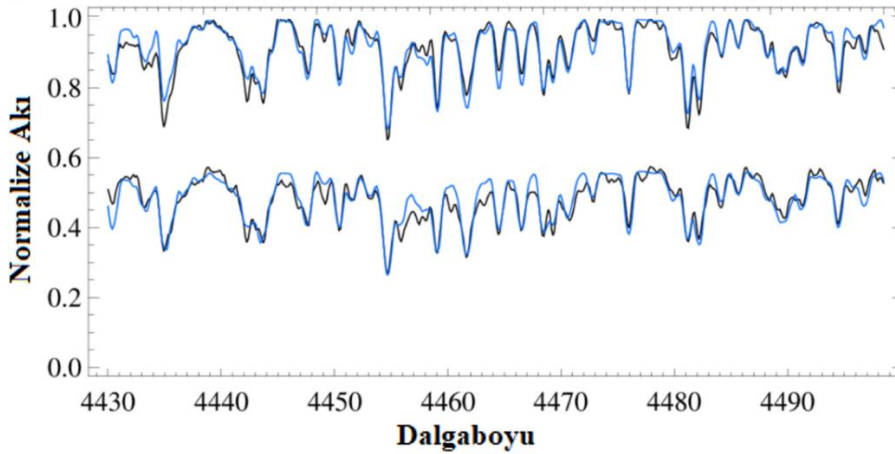
Model atmosfer analizlerinde, kısıtlı bir tayf aralığının kullanılması nedeniyle bileşenlere ilişkin  $\log g$  değerleri daha önce elde edilmiş olan ışık eğrisi ve dikine hız çözümlerinden gelen sonuçlar kullanılarak sabit alınmıştır. KIC 6525196 sisteminin model atmosfer analizleri sonucunda elde edilen parametreler Çizelge 4.23’te verilmektedir. Gözlemsel tayflar ile en iyi uyumu gösteren model atmosfer tayfları Şekil 4.33’te gösterilmektedir. Ayrıca, KIC 6525196 sisteminin üçüncü bileşenine ait atmosfer modellemeleri de üretilmeye çalışılmıştır ancak ayrıştırılan tayfın S/G oranı uygun bir model üretilmesini zorlaştırmıştır. Yapılan analizlerde üçüncü bileşen için en olası tayf türü için K0-K2 V öngörüsü yapılmıştır. Bu tayf türü, fotometrik olarak Helminiak ve ark. (2017) tarafından önerilen 4850 K’lik sıcaklık ile uyumlu görünmektedir. Üçüncü bileşene ilişkin

model atmosfer çözümlerinin iyileştirilebilmesi için zamana yayılmış tayflara ihtiyaç duyulmaktadır. Çözümler sonucunda elde edilen sıcaklık değerleri incelendiğinde *Kepler* verileri kullanılarak tahmin edilen sıcaklıklardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Bileşenlere ilişkin dönme değerleri ise dönme-dolanma eşleşmesinden beklenen değerler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Eldeki tayf aralığı ve çözünürlüğü çok yeterli olmasa da bileşenlerin metal bollukları Güneş'e göre belirgin bir şekilde daha düşük bulunmuştur.

Çizelge 4.23. KIC 6525196' in ayrıştırılmış tayflarıyla elde edilen atmosfer parametreleri.

Bileşen	$T_{eff}$ (K)	$\log g$ (cgs)	$v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[M/H] (dex)
Baş	6391(110)	4,36*	30,3 (8)	-0,30(0,2)
Yoldaş	6250(135)	4,40*	35,7 (8)	-0,49(0,2)

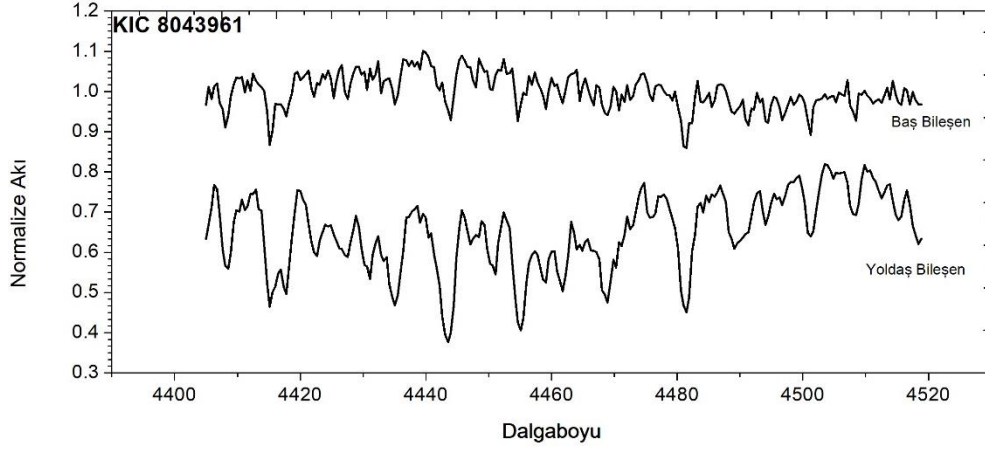
\*Sabit alınmıştır.



Şekil 4.33. KIC 6525196'nın ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayflarıyla (siyah noktalar) en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu.

#### 4.4.3. KIC 8043961

KIC 8043961 sisteminin tayfsal çalışması ilk kez tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Tayfsal ayrıştırma safhasında orta bant *vby* filtrelerinde elde edilen akı katkıları yardımıyla sistemi oluşturan her üç bileşenin de tayfları FDBinary yazılımı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma sonucunda elde edilen tayf örnekleri Şekil 4.34'de gösterilmektedir. Işık eğrisi çözümlerinde kendisini gösteren üçüncü bileşen katkısı tayfsal ayrıştırma sırasında tayf sayısının azlığı nedeniyle veriyi kirlenmiş ve elde edilememiştir. Üçüncü bileşenin ayrıştırılabilmesi için zamana yayılmış yüksek çözümleme gücünde ve *S/G* oranında tayf verisi gerekmektedir.



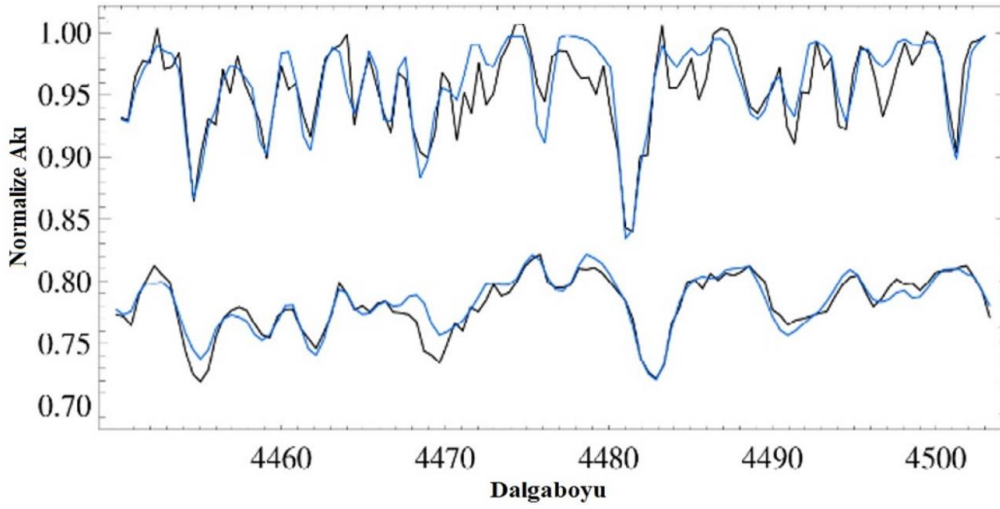
Şekil 4.34. KIC 8043961'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.

Model atmosfer analizlerinde, diğer bir *Kepler* yıldızı olan KIC 8043961 için de  $\log g$  değerleri sabit alınmıştır. Model atmosfer analizlerinde baş bileşen büyük kütleli bileşeni, yoldaş bileşen ise küçük kütleli bileşeni temsil etmektedir. KIC 8043961 sisteminin model atmosfer analizleri sonucunda elde edilen atmosfer parametreleri Çizelge 4.24'te verilmektedir. Gözlemsel tayflar ile en iyi uyumu gösteren model atmosfer tayfları Şekil 4.35'de gösterilmektedir. Bileşenler için atmosfer analizleriyle hesaplanan sıcaklıklar ve Güneş'e göre fakir bir ağır element bolluğuna sahip olduğu göz önünde bulundurulduğunda, önceki bölümlerde üzerinde durulan tutulma dışı değişimlerde gözlenen  $\gamma$  Doradus ve  $\delta$  Scuti zonklamalarının gözlenebileceği alt limitlere yakın değerler ile uyum içerisinde olduğu gözlenmektedir. Ayrıca, KIC 8043961 yıldızının üçüncü bileşen etkisinin tam olarak ölçülebilmesi ve daha duyarlı atmosfer modellerinin yapılabilmesi açısından daha fazla tayfa ihtiyaç bulunmaktadır.

Çizelge 4.24. KIC 8043961'in ayrıştırılmış tayflarıyla elde edilen atmosfer parametreleri.

Bileşen	$T_{eff}$ (K)	$\log g$ (cgs)	$v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[M/H] (dex)
Baş	6650(190)	3,78*	78 (3)	-0,15(0,3)
Yoldaş	6922(165)	4,04*	48 (2)	-0,25(0,3)

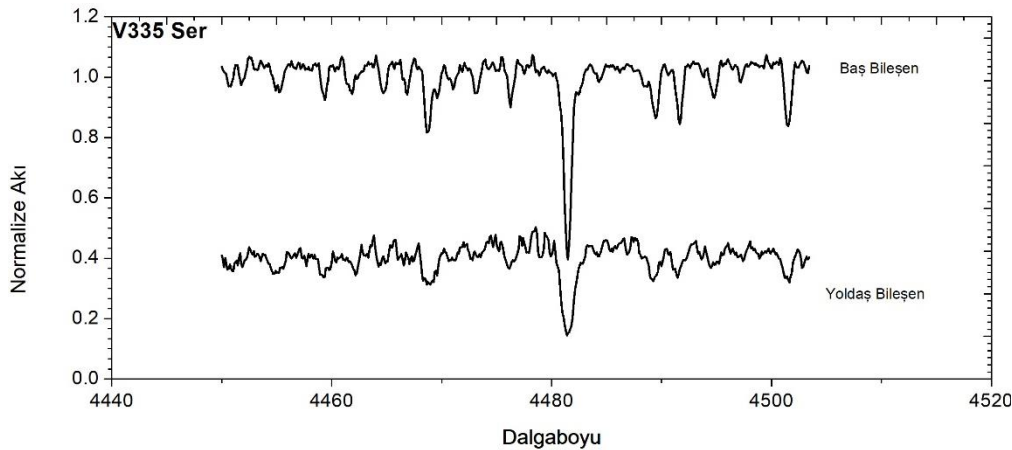
\*Dikine hızlar ve ışık eğrisinin eş zamanlı çözümünden elde edilmiştir.



Şekil 4.35. KIC 8043961'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayfları (siyah noktalar) ile en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu.

#### 4.4.4. V335 Ser

V335 Ser çift yıldızının, tayfsal ayrıştırmayı da içeren ayrıntılı tayfsal çalışması ilk kez tez çalışmasının bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. Tayfsal ayrıştırma için *BVR* filtrelerinde elde edilen akı katkılarıyla bileşenlerin tayfları KOREL yazılımı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma için Elodie veri tabanından elde edilen 14 yüksek çözünürlüklü tayf verisi de kullanılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen tayf örnekleri Şekil 4.36'da verilmektedir.



Şekil 4.36. V335 Ser'in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.

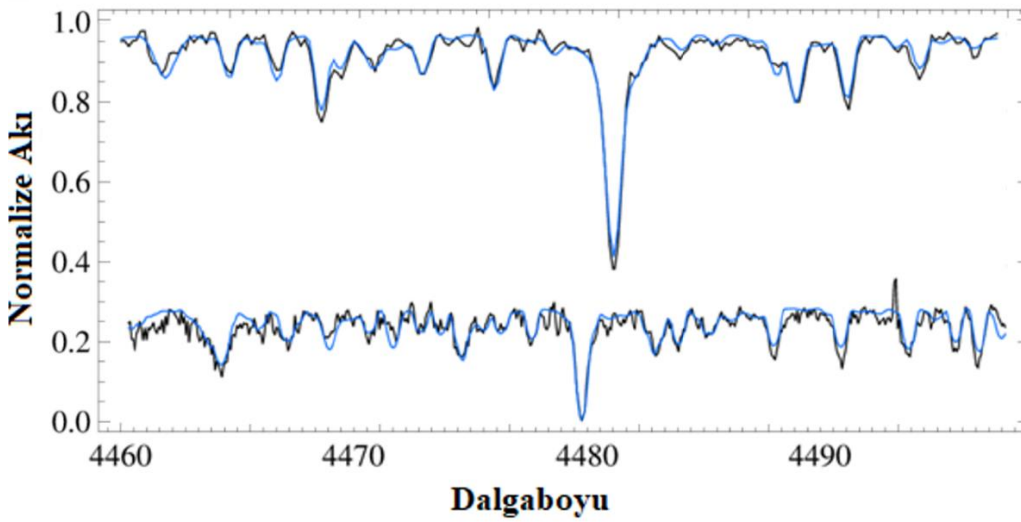
V335 Ser tayfsal olarak incelendiğinde bileşenler birbirinden kolaylıkla ayrılmaktadır çünkü baş bileşenin keskin ve derin çizgileri varken yoldaş bileşenin görece daha geniş ve



sıg çizgileri gözlenmektedir. Bu durumun kaynağı, Lacy ve ark. (2012)'de belirttiği gibi baş bileşenin Am özellikleri göstermesi ve baş bileşenin dönme hızındaki yavaşlamadır. V335 Ser'in bileşenlerinin atmosfer parametreleri Çizelge 4.25'te verilmektedir. Elde edilen atmosfer parametreleriyle ayrıştırılmış tayfların uyumu ise Şekil 4.37'de gösterilmektedir. Bu çift yıldız için mevcut geniş bir dalgaboyu bölgesine yayılmış yüksek çözünürlüklü tayf verileri sayesinde hidrojen çizgileri de kullanılarak daha duyarlı bileşenlere ilişkin sıcaklık belirlemesi yapılabilmektedir. Ayrıca, oluşturulan model atmosferler ile elde edilen yüzey çekim ivmesi değerleri ışık eğrisi ve dikine hız çözümleriyle elde edilen değerler ile uyum içerisindedir. Bileşenlerin dönme hızlarını incelediğimizde ise yoldaş bileşen dönme-dolanma dönemiyle beklenen değer ile uyumluyken baş bileşen açık bir şekilde beklenenden daha yavaş dönmektedir.

Çizelge 4.25. V335 Ser'in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.

Bileşen	$T_{eff}$ (K)	$\log g$ (cgs)	$v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[M/H] (dex)
Baş	9100(100)( $H_{\text{çizgileri}}$ )	4,17 (0,1)	29 (1)	0,30(0,2)
Yoldaş	8540(120)	4,32 (0,1)	48 (2)	0,10(0,2)

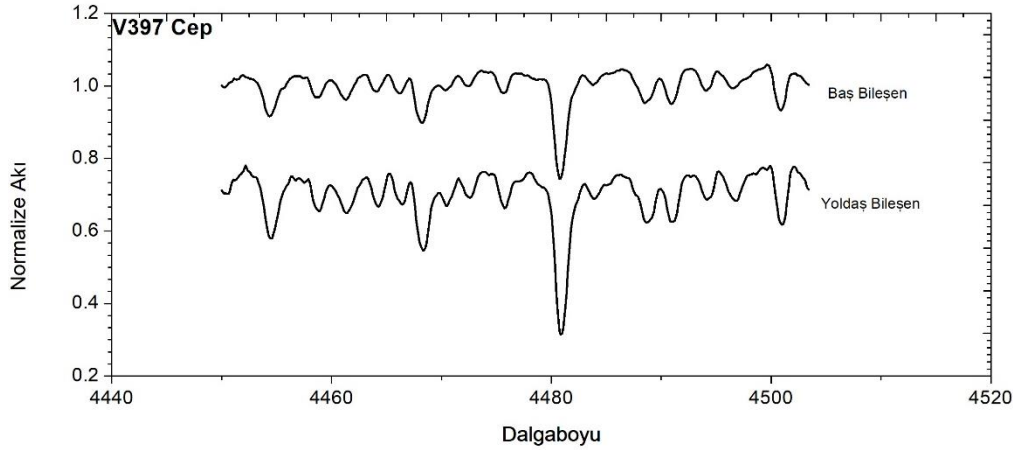


Şekil 4.37. V335 Ser'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayflarıyla (siyah noktalar) en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu.

#### 4.4.5. V397 Cep

V397 Cep çift yıldızının literatürde tayf verisi içeren çalışması bulunmamaktadır. Bu çalışmada gerçekleştirilen tayfsal ayrıştırma işleminde orta bant  $vby$  filtrelerinde elde edilen

akı katkıları yardımıyla bileşenlerin tayfları KOREL yazılımı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Ayrıştırma sonucunda elde edilen tayf örnekleri Şekil 4.38’de gösterilmektedir.



Şekil 4.38. V397 Cep’in tayfsal ayrıştırma analizi sonucunda elde edilen bileşenlere ait tayflar (üst) baş bileşen ve (alt) yoldaş bileşen olacak şekilde gösterilmektedir.

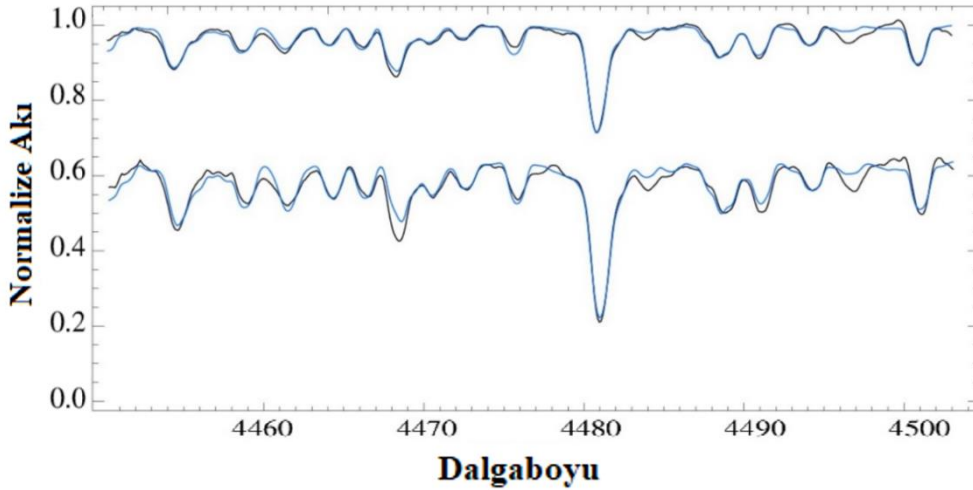
V397 Cep’in ayrıştırılmış tayflarının atmosfer modellemeleri bölüm üçte belirtilen yöntemlerle elde edilmiş ve elde edilen parametreler Çizelge 4.26’da verilmiştir. Elde edilen atmosfer parametreleri ile oluşturulan teorik modellerin bileşen tayfları ile uyumu ise Şekil 4.39’da gösterilmektedir. Analizler sonucunda elde edilen bileşen sıcaklıkları incelendiğinde, Bulut ve ark. (2005)’nin elde ettikleri sıcaklıklara göre oldukça farklı çıkmasına rağmen, McDonald ve ark. (2012)’nin *Hipparcos* verilerini kullanarak hesapladıkları 8211 K’lik sıcaklıkla oldukça yüksek bir uyum sergilediği görülmektedir. Ayrıca, çift yıldız bileşenlerinin Güneş metal bolluğuna oldukça yakın değerlerde bolluğa sahip olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.26. V397 Cep’in ayrıştırılmış tayfları ile elde edilen atmosfer parametreleri.

Bileşen	$T_{eff}$ (K)	$\log g$ (cgs)	$v \sin i$ ( $\text{km s}^{-1}$ )	[M/H] (dex)
Baş	8300(150)	4,13*	51 (3)	0,05(25)
Yoldaş	8290(165)	4,16*	48 (3)	0,09(25)

\*Dikine hızlar ve ışık eğrisi çözümünden elde edilmiştir.





Şekil 4.39. V397 Cep'in ayrıştırılmış baş bileşen (üst) ve yoldaş bileşen (alt) tayflarıyla (siyah noktalar) en iyi atmosfer modelinin (mavi çizgi) uyumu.

#### 4.5. Çalışılan Ayırık Sistemlerin Mutlak Parametreleri

Önceki bölümlerde elde edilen analiz sonuçları ve 3. bölümde belirtilen yöntemler kullanılarak ve gerekli sabitler ile Güneş'in temel nicelikleri Cox (2000)'dan alınarak seçilen sistemlere ait mutlak parametreler ve hataları hesaplanmıştır. Sadece fotometrik verisi bulunan KIC 3327980 ve KIC 10156064 çift yıldızları için baş bileşen sıcaklıklarından anakol kütleleri hesaplanmış ve bu nicelik kullanılarak diğer mutlak parametreler bulunmuştur. Analizi yapılan tüm çift sistemlerin mutlak parametreleri Çizelge 4.27'de verilmektedir. Mutlak parametreleri belirlenen çift sistem bileşenlerinin kütle aralıkları  $1 M_{\odot}$  ile  $5 M_{\odot}$  lik küçük-orta kütle bölgesini ve  $1 R_{\odot}$  ile  $4 R_{\odot}$ 'lik yarıçap aralığını kapsamaktadır. İncelenen çift sistemler 70 milyon yıl yaşlarından 4.5 milyar yıllık yaşlara kadar geniş bir bölgeyi kapsamaktadır. Evrim durumları açısından ise, ele alınan çift sistemler, ZAMS ve TAMS arasında neredeyse her bölgede bulunan bileşen barındırmaktadır. Özellikle V1385 Ori ve KIC 8043961'in büyük kütleli bileşenleri neredeyse anakoldan ayrılmak üzere olduğu yüzey çekim ivmelerinden açıkça görülmektedir. Ayrıca, mutlak parametreleri belirlenen V1385 Ori ve HIP 25284 çift yıldız bileşenlerinin mutlak parametrelerinin daha duyarlı incelenebilmesi için duyarlı ışık eğrilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sadece fotometrik verisi bulunan iki *Kepler* yıldızının ise sıcaklıkları tartışmalı olması nedeniyle kütle değerlerinin doğruluğunun denetlenebilmesi için tayfsal veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 4.27. Bu çalışmada analizleri yapılan ayırık sistemlerin mutlak parametreleri.

Parametre	HD 350731	KIC 6525196	KIC 8043961	V335 Ser	V397 Cep	V1385 Ori	HIP 25284	KIC 3327980	KIC 10156064
$T_1 (K)$	12000(250)	6391(150)	6922(148)	9100(100)	8311(150)	8199*	13500**	7321***	7424***
$T_2 (K)$	11830(300)	6250(153)	6420(136)	8540(120)	8262(160)	6696(328)	11294(590)	6820(202)	5882(205)
$a (R_{\odot})$	10,43(2)	12,16(14)	8,09(9)	15,25(2)	10,74(6)	11,67(52)	11,69(17)	15,92(4)	17,24(3)
$M_1 (M_{\odot})$	2,91(13)	1,03(4)	1,37(4)	2,11(1)	1,93(3)	2,31(30)	4,74(29)	1,61(10)	1,67(8)
$M_2 (M_{\odot})$	2,80(14)	1,03(7)	1,55(10)	1,90(1)	1,90(5)	1,96(39)	3,98(41)	1,42(11)	1,05(5)
$R_1 (R_{\odot})$	2,11(5)	1,09(1)	1,71(2)	2,00(8)	1,98(2)	3,84(18)	4,09(13)	2,08(1)	1,92(1)
$R_2 (R_{\odot})$	2,07(5)	1,03(1)	2,61(3)	1,72(9)	1,90(2)	2,83(22)	3,18(25)	1,66(1)	1,06(1)
$Log g_1$ (cgs)	4,25(2)	4,38(2)	4,11(2)	4,16(4)	4,13(1)	3,63(7)	3,89(4)	4,01(1)	4,09(1)
$Log g_2$ (cgs)	4,25(2)	4,43(3)	3,79(3)	4,24(4)	4,16(2)	3,83(14)	4,033(6)	4,15(2)	4,41(2)
$L_1 (L_{\odot})$	83(8)	1,76(17)	5,99(54)	24,6(23)	16,8(13)	60(8)	428(53)	11,2(12)	10,07(18)
$L_2 (L_{\odot})$	76(9)	1,45(14)	10,39(99)	14,2(16)	15,1(12)	14,5(28)	147(29)	5,4(9)	1,21(32)
$d_{for} (pc)$	703(34)	200(9)	512(21)	202(12)	190(8)	182(15)	455(48)	982(93)	448(120)
$d_{Gaia} (pc)$	766(171)	205(13)	929(180)	210(13)	197(10)	-	526(118)	-	782(151)
$d_{Hip} (pc)$	-	-	-	-	210(19)	365(79)	763(240)	-	-
$Yaş (G yıl)$	0,073(29)	4,37(68)	1,51(43)	0,32(8)	0,49(6)	0,79(32)	0,07(3)	0,75(20)	1,08(35)

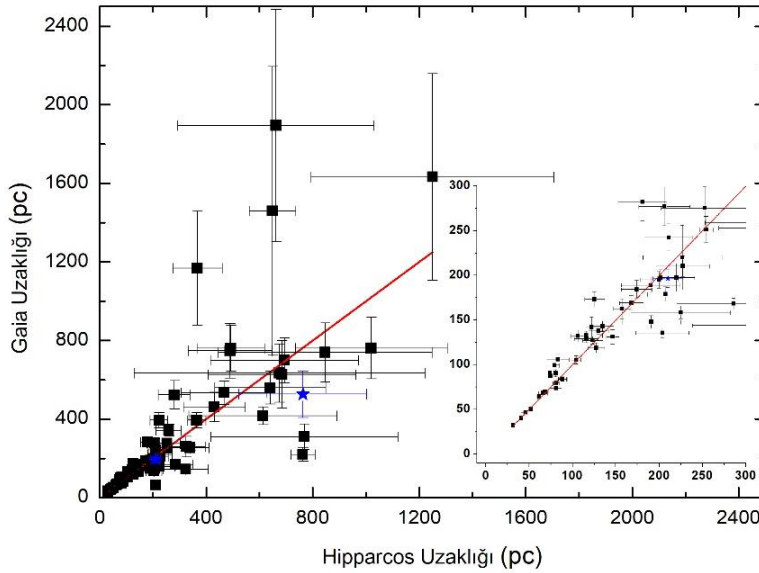
\*McDonald ve ark. (2012), \*\*Bu çalışma, \*\*\*Prsa ve ark. (2011)

#### 4.6. Fotometrik Uzaklıklar ile *Gaia* ve *Hipparcos* Uzaklıklarının Karşılaştırılması

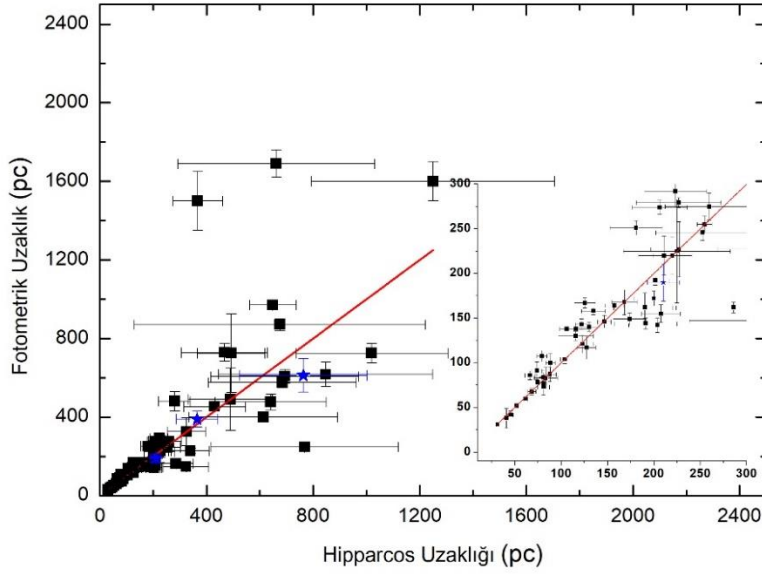
Yıldız uzaklıkları Gökadamızın dinamiklerini daha iyi anlayabilmemiz açısından oldukça önemlidir. Günümüzde yıldızların uzaklıkları fotometrik yöntemler gibi dolaylı yoldan ölçülebilmektedir. Bununla birlikte, belirli bir uzaklığa kadar oldukça hassas astrometrik ölçümler yapmamızı sağlayan *Hipparcos* ve *Gaia* uyduları, hem doğru uzaklık ölçümü hem de belirli sınırlar çerçevesindeki fotometrik uzaklıkların denetlenmesi için oldukça önemlidir. Bu bağlamda tez çalışması kapsamında, bazı mutlak parametrelerin belirlenmesinde ve kontrolünde önemli olan uzaklık parametresinin farklı ölçümler ile güvenilirliği kontrol edilmeye çalışıldı. Mutlak parametreleri bu çalışmada belirlenen sistemlerin, tüm ışınım düzeltmeleri Cox (2000)'un verdiği değerler üzerinden yapılarak fotometrik uzaklıkları hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemlerin fotometrik uzaklıklarının belirlenmesinde dikkate alınması gereken diğer bir parametre olan yıldızlararası kızarma miktarları Schlafly ve ark. (2011)'nin toz haritaları üzerinden verdikleri değerler kullanılarak uzaklıktaki duyarlılık artırılmaya çalışılmıştır. Sistemlere ait uzaklık değerleri diğer *Gaia* ve *Hipparcos* veri tabanlarında yer alan uzaklıklar ile birlikte Çizelge 4.27'de verilmektedir. Uzaklığı iyi belirlenmiş örnekleri arttırmak adına, *Gaia* veri tabanında verisi olan ve mutlak parametreleri hassas bir şekilde belirlenen ayırık çift yıldızlar arasından fotometrik uzaklığı duyarlı bir şekilde belirlenebilen cisimleri seçerek incelemelerde bulunuldu. Çalışmada Eker ve ark. (2014)'nin yayınlamış olduğu ayırık çift yıldızlar kataloğundan faydalanıldı. Buradan, *Gaia* uzaklıkları belirlenmiş olan toplam 71 çift sistem seçilmiştir. Belirlenen 71 sistemden 68'i aynı zamanda *Hipparcos* uzaklıkları mevcuttur.

Ayrıca Eker ve ark. (2015)'nin yapmış olduğu çalışmada fotometrik uzaklıkları belirlenmeyen bazı çift sistemlerin de fotometrik uzaklıkları belirlenerek elimizde her üç veriye sahip toplam 68 adet çift sistem bulunmaktadır.

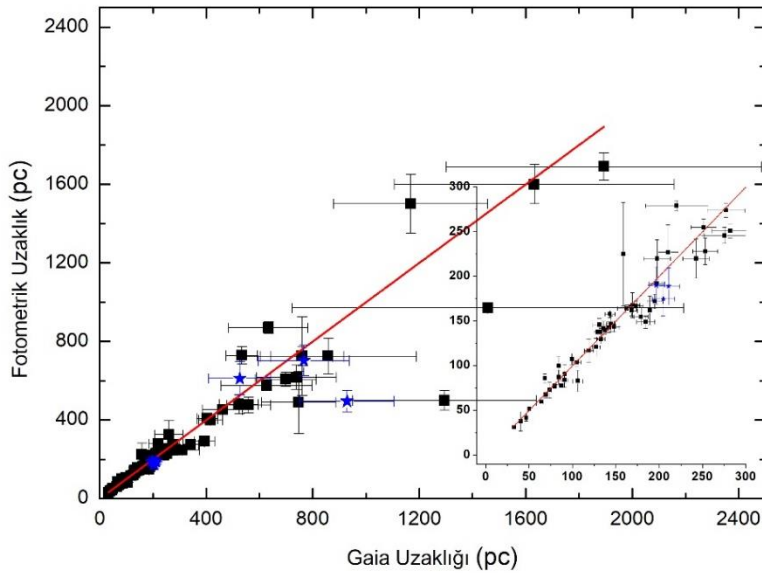
Tüm sistemlerin farklı kaynaklardan alınan uzaklıkları arasındaki dağılım ve tez çalışması kapsamında seçilen *Hipparcos* uzaklığı olan sistemler (mavi yıldızlar) Şekil 4.40 ve 4.41'de verilmektedir. Açıkça görülmektedir ki *Hipparcos* uzaklığına göre yaklaşık 300 pc'ten sonra verilerde büyük saçılmalar meydana gelmekte ve diğer yöntemlerden gelen uzaklık değerleri arasında büyük farklılıklar oluşmaktadır. Tüm veri üzerinden durumu incelediğimizde en iyi uyum fotometrik ve *Gaia* uzaklıkları (Şekil 4.42) arasındadır. Bu iki uzaklık ile *Hipparcos* uzaklıkları arasındaki uyum ise tüm veri için oldukça düşmektedir (Şekil 4.40 ve 4.41). Belirli uzaklık aralıkları incelendiğinde ise 0 ile 120 pc değerine kadar tüm kaynaklardan gelen uzaklıkların oldukça uyumlu olduğu gözlenmektedir. Tez çalışmasındaki çift sistem uzaklıklarına göre *Hipparcos* paralaks ölçümlerinin duyarlılığı 120 pc dolaylarından sonra düşmeye başlamaktadır. 300 pc'ten daha büyük uzaklıklar incelendiğinde (Şekil 4.40, 4.41 ve 4.42) durum değişmekte ve 120 pc dolaylarındaki uyumun oldukça bozulduğu gözlenmektedir. Ancak, *Gaia* ve fotometrik uzaklıklar arasındaki uyum daha büyük uzaklıklarda da devam etmektedir.



Şekil 4.40. Seçilen tüm ayrık çiftlerin, *Gaia* ve *Hipparcos* uzaklıklarının karşılaştırılması ve bire bir çizgisine (kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlenen ayrık çift yıldızları temsil etmektedir. İç panelde yer alan grafik ise 300 pc uzaklığa kadar olan bölümü daha detaylı göstermektedir.



Şekil 4.41. Seçilen tüm ayrık çiftlerin, *fotometrik* ve *Hipparcos* uzaklıklarının kıyaslaması ve bire bir çizgisine (kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlen ayrık çift yıldızları temsil etmektedir. İç panelde yer alan grafik ise 0-300 pc'lik uzaklık aralığındaki durumu daha detaylı göstermektedir.



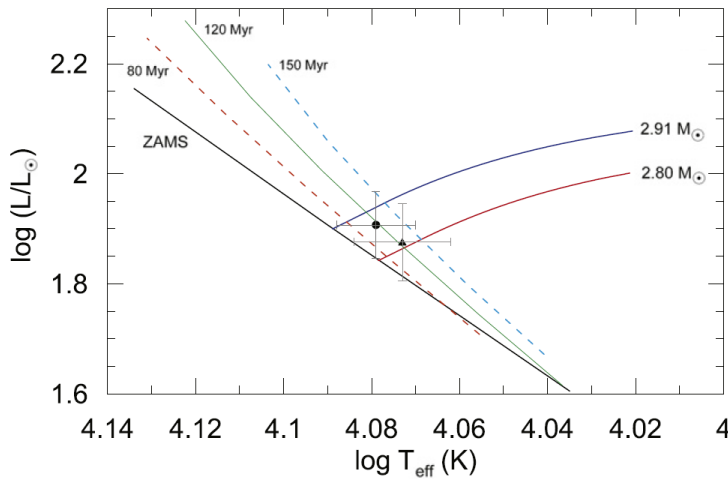
Şekil 4.42. Seçilen tüm ayrık çiftlerin, *Gaia* ve *fotometrik* uzaklıklarının kıyaslaması ve bire bir çizgisine (kırmızı çizgi) göre uyum değerleri gösterilmektedir. Mavi yıldızlar, mutlak parametreleri bu çalışmada belirlen ayrık çift yıldızları temsil etmektedir. İç panelde yer alan grafik ise 0-300 pc'lik uzaklık aralığındaki durumu daha detaylı göstermektedir.

#### 4.7. Seçilen Sistemler için Tek Yıldız Evrim Modeller

Evrım modeli analizleri üçüncü bölümde belirtilen yöntemler ile seçilen yıldızların elde edilen mutlak parametreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Sistemlerin evrim durumları tek yıldız evrim modelleri ve çift yıldız etkileşimleri dikkate alınarak oluşturulan modeller üretilerek iki yönden incelenmiştir. Tek yıldız ve çift yıldız evrim modellerinin birlikte incelenmesi özellikle ayırık çift yıldızlar özelinde bileşenlerin tek yıldız evrim modellerine ne ölçüde bağlı kaldıklarının araştırılması açısından önemlidir. Bu bağlamda, evrim modellerinin gözlemsel veri ile kolayca kıyaslanabilmesi açısından  $\log L - \log T$  ve  $\log R - \log M$  gibi düzlemlerde incelemeleri yapılmıştır. Bu bölümde, tek yıldızlar için üretilen  $Y^2$  eş yaş eğrileri (Yi ve ark. 2001) ve evrim yolları kullanılacak olup çift yıldız modelleri ilerleyen bölümde incelenecektir.

##### 4.7.1. HD 350731

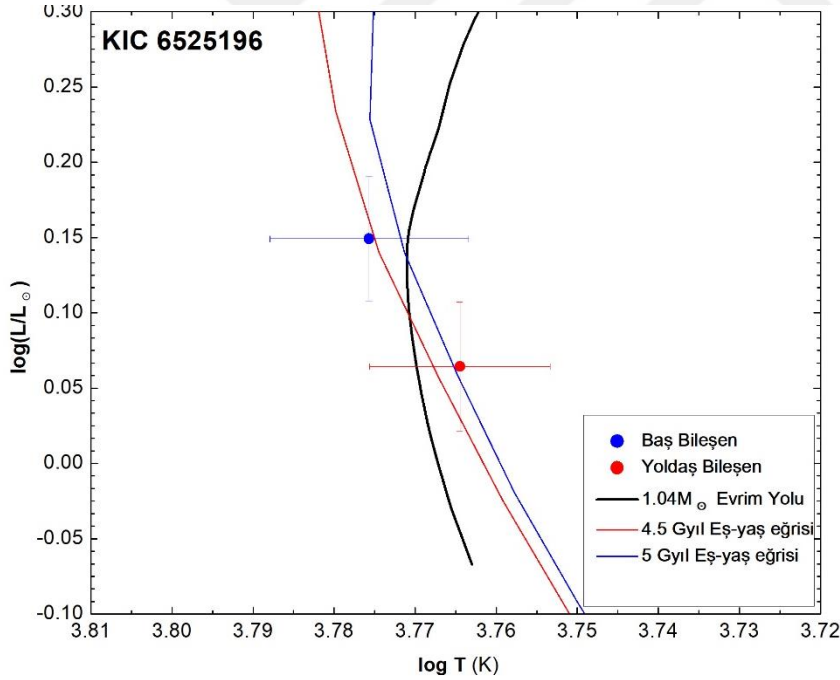
HD 350731 çift yıldızına ilişkin evrim yolları ve gözlemsel sonuçların uyumu incelendiğinde tek yıldız evrim yollarına göre (Şekil 4.43) her iki bileşen için ortalama 120 Myıl yaş eğrisi en iyi uyumu vermektedir. Burada kullanılan tek yıldız evrim yolları, atmosfer modellerinde kullanılan Güneş bolluğunda ve dönmesiz modeller olup çiftlik etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Üretilen modeller ile gözlemsel verinin konumları incelendiğinde, yoldaş bileşen Güneş bolluğuyla evrim yolu hemen hemen uyumluyken, baş bileşen açısından incelendiğinde Güneş bolluğunun yetersiz olduğu ve metalle zengin modellerin daha iyi bir uyum sergileyeceği görülmektedir. Ancak, bu durumun denetlenebilmesi için yüksek çözünürlüklü tayflara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.43. HD 350731 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileriyle uyumu (Soydugan ve ark. 2015).

#### 4.7.2. KIC 6525196

KIC 6525196 sistemine ilişkin evrim yolları ve gözlemsel sonuçların uyumu incelendiğinde tek yıldız evrim yollarına göre (Şekil 4.44) her iki bileşen için ortalama yaşın 4.87 Gyıl civarında olduğu görülmektedir. Bileşenlerin yerleşimi,  $\log L - \log T$  düzleminde incelendiğinde ise baş bileşen için en olası yaş 4.5 Gyıl çıkarken yoldaş bileşen için 5 Gyıl çıkmaktadır. Burada kullanılan tek yıldız evrim yolları tayfsal analizlerle elde edilen  $Z=0.012$  ağır metal bolluğu değerinde üretilmiş olup dönme ile çiftlik etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Bu çift yıldız özellikle bileşen kütlelerinin sahip olduğu değerler nedeniyle önem arz etmektedir. Buradaki bileşen yaşları incelendiğinde sistem için belirlenen yaşın Helminiak ve ark. (2017)'nin buldukları baş bileşen için 4 Gyıl ve yoldaş bileşen için hesapladıkları 7.5 Gyıl'lık yaşlar ile kıyaslandığında daha tutarlı görünmektedir. Bunun temel nedeni bu çalışmada üretilen ayrıştırılmış tayflar ile elde edilen sıcaklıklar ve dikine hız çözümlerinin üçüncü cisim etkisinden olabildiğince az etkilenecek şekilde kısa bir zaman aralığında alınması olabilir.

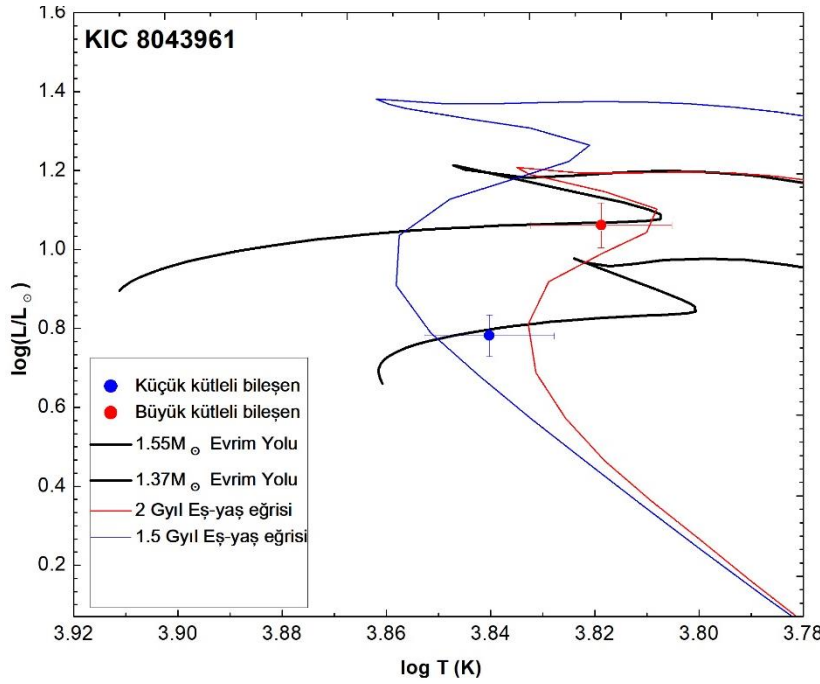


Şekil 4.44. KIC 6525196 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.3. KIC 8043961

Bu kısımda, daha önceki bölümlerde üretilen bileşen sıcaklıkları ve elde edilen mutlak parametreler yardımıyla KIC 8043961 sisteminin tek yıldız evrim yolları ve eş-yaş eğrileri incelenmiştir. KIC 8043961 sistemine ilişkin evrim yolları ve gözlemsel sonuçların uyumu incelendiğinde tek yıldız evrim yollarına göre (Şekil 4.45) her iki bileşen için ortalama

1.8 Gyl yaş eğrisi en iyi uyumu vermektedir.  $\log L - \log T$  düzleminde ise büyük kütleli bileşen için yaş yaklaşık 2 Gyl çıkarken küçük kütleli bileşen için ise yaklaşık 1.7 Gyl olarak görülmektedir. Şekil 4.45’deki tek yıldız evrim yolları, atmosfer modellerine göre en uyumlu metal bolluğu olan  $Z=0.012$  için üretilmiştir ve çift yıldız etkileri dikkate alınmamıştır. Evrim yollarıyla bileşenlerin durumları incelendiğinde özellikle, büyük kütleli soğuk bileşen anakol evriminin neredeyse sonuna gelmiş ve anakoldan ayrılmak üzere olduğu açıkça gözlenmektedir. Bu durumun daha detaylı incelenebilmesi açısından bu sistem için elde edilecek yüksek çözünürlüklü tayf verileri oldukça önemlidir.



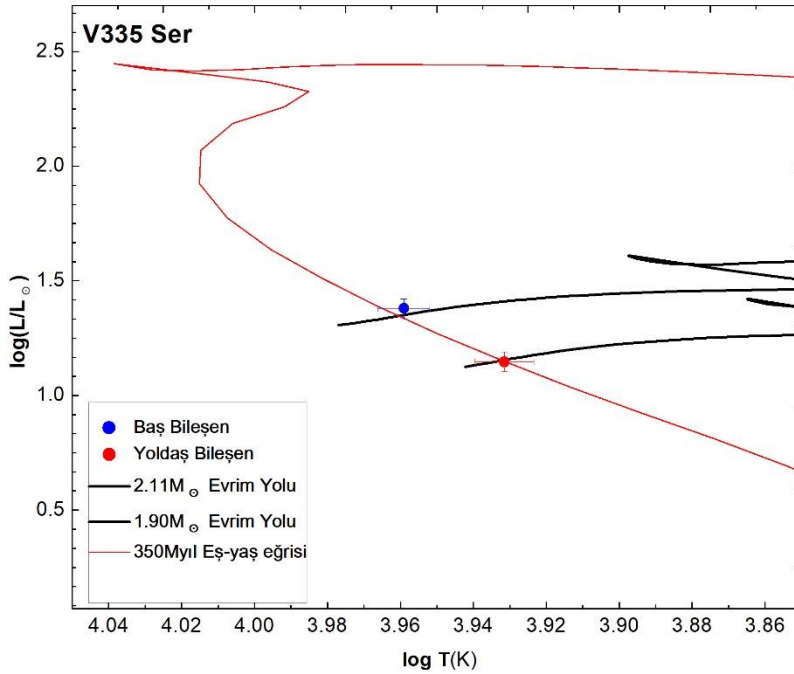
Şekil 4.45. KIC 8043961 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.4. V335 Ser

Bu çift yıldız, oldukça yüksek bir hassasiyet ile elde edilen mutlak parametreler düşünüldüğünde evrim modellerinin gözlemsel sonuçlar ile kıyaslanması açısından oldukça önemli bir örnektir. V335 Ser çift yıldız bileşenleri, H-R diyagramında tek yıldızlar için üretilmiş evrim yollarıyla birlikte incelendiğinde, en olası yaşın her iki bileşen için ortalama 350 Myıl olduğu söylenebilir (Şekil 4.46). Burada kullanılan evrim yolları tayfsal analizler ile hesaplan  $Z=0.018$  metal bolluğu değeri için üretilmiştir ve çift yıldız etkileşimleri ileri ki bölümde ele alınacaktır. Tek yıldız evrim modelleriyle elde ettiğimiz sonuçlar daha önceki çalışmalar ile kıyaslandığında, Lacy ve ark. (2012)’nin öngördükleri 380 Myıl’lık yaş tahminiyle uyum içerisinde iken, Bozkurt (2011)’un yapmış oldukları 560 Myıl’lık yaş tahmininden oldukça küçük olduğu görülmektedir. Ancak, eş-yaş eğrilerinin gözlemsel



sonuçları temsil oranlarına bakılırsa en iyi temsil bu çalışmada elde edildiği açıkça görülmektedir. Bunun temel sebebinin bileşen sıcaklıklarının tayfları ayrıştırma yöntemi kullanılarak tayin edilmesi ve bu sayede temel parametrelerdeki hassasiyetin artırılması olarak açıklanabilir. Elimizdeki hassas mutlak parametreler yardımıyla çift yıldız evrim modelleri kullanılarak bu bileşen için oldukça yüksek duyarlılıkta sonuçlar elde edilebilecektir.

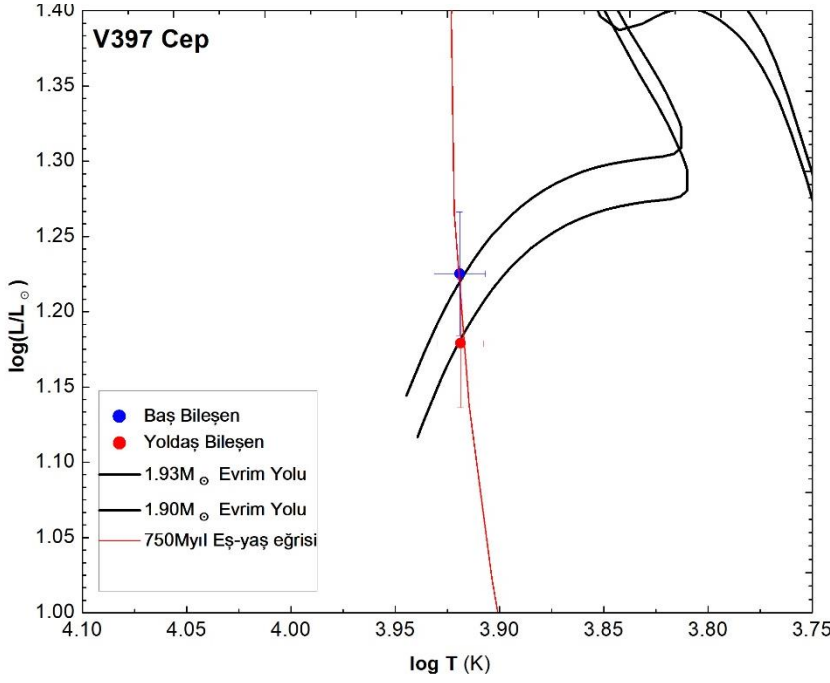


Şekil 4.46. V335 Ser çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş yaş eğrileri ile uyumu.

#### 4.7.5. V397 Cep

V397 Cep çift yıldızının bileşenlerinin mutlak parametreleri bugüne kadar hassas olarak bilinmediğinden, sistemle ilgili yayınlanan çalışmalarda, bileşenlerin evrim durumları ve yaşlarıyla ilgili bir inceleme yapılamamıştır. Bu çalışmada, bileşenlerin gözlemsel parametreleri  $\log L - \log T$  düzleminde, oluşturulan evrim yollarıyla karşılaştırıldığında, her iki bileşen için en olası yaşın 750 Myr olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.47). Ancak, burada tayfsal analizlerden de yararlanılarak yaklaşık Güneş metal bolluğu için tek yıldız evrim yolları kullanılmıştır. Hassas tayf verileri yardımıyla oldukça duyarlı mutlak parametreleri elde edilen V397 Cep yıldızı tek ve çift yıldız evrim modellerinin incelenmesi ve kıyaslanması açısından oldukça önemlidir. Şekil 4.47’de görüldüğü gibi elde edilen mutlak parametreler ile eş-yaş ve evrim yolları arasında oldukça yüksek bir uyum söz konusudur.

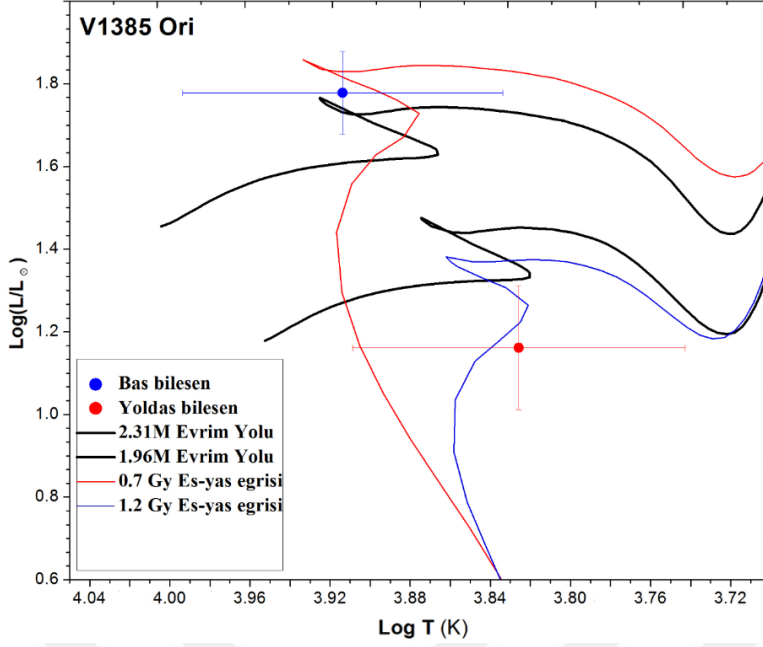




Şekil 4.47. V397 Cep çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş-yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.6. V1385 Ori

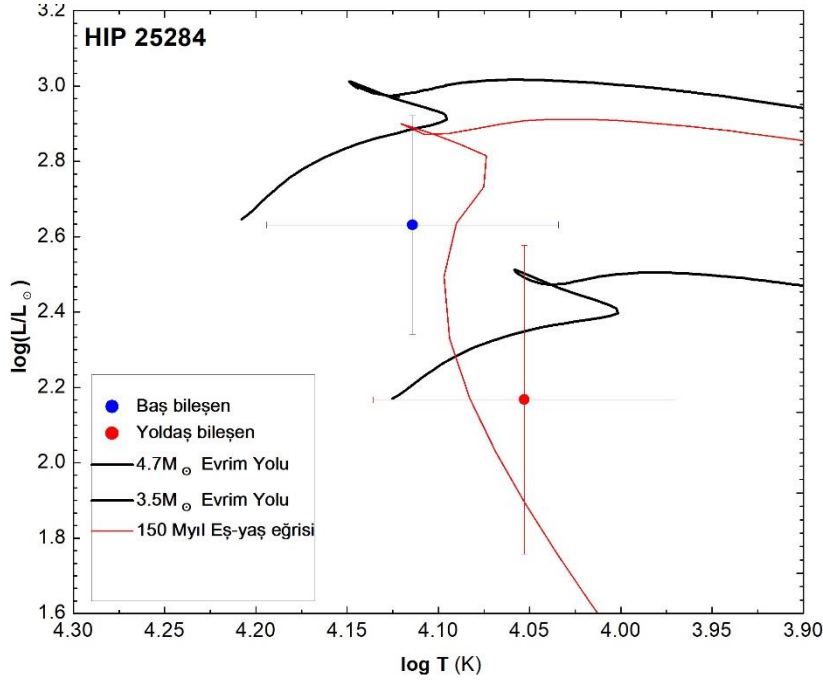
V1385 Ori çift yıldızı için gözlemsel verilerin hassasiyetinin düşük olması nedeniyle belirlenen parametrelerdeki hatalar oldukça büyük çıkmakta ve evrim yolunun belirlenmesinde problemler çıkmaktadır. Bu çift yıldızla ilişkin evrim yolları ve gözlemsel sonuçların uyumu, H-R diyagramı üzerinde incelendiğinde, tek yıldız evrim yollarına göre (Şekil 4.48) sistem için ortalama 700 Myıl yaş değeri tahmin edilebilir. Burada kullanılan tek yıldız evrim yolları her iki bileşenin kütle yollarıyla en iyi uyumu veren ortalama  $Z=0.023$  metal bolluğu değerinde ve dönmesiz modeller olup çiftlik etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Bu sistem için evrim yolları ve eş yaş eğrileri incelendiğinde bileşenlerin anakoldan ayrılmak üzere olduğu açıkça gözlenmektedir. Çift yıldız bileşenlerinin evrim yollarıyla en iyi uyuşmalarının baş bileşen için ortalama değerden daha düşük bir metal bolluğunda elde edilmesi beklenirken, yoldaş bileşen için daha büyük metal bolluklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, baş bileşenden ikinci bileşene doğru Roche taşımlarının başladığı ve yoldaş bileşenin yüzeyinin kirletilmiş olabileceği ihtimalini ortaya koymaktadır. Ancak, bu varsayımın incelebilmesi için farklı dalgaboyu pencerelerinde ve yüksek çözünürlüklü tayflara ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.48. V1385 Ori çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş-yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.7. HIP 25284

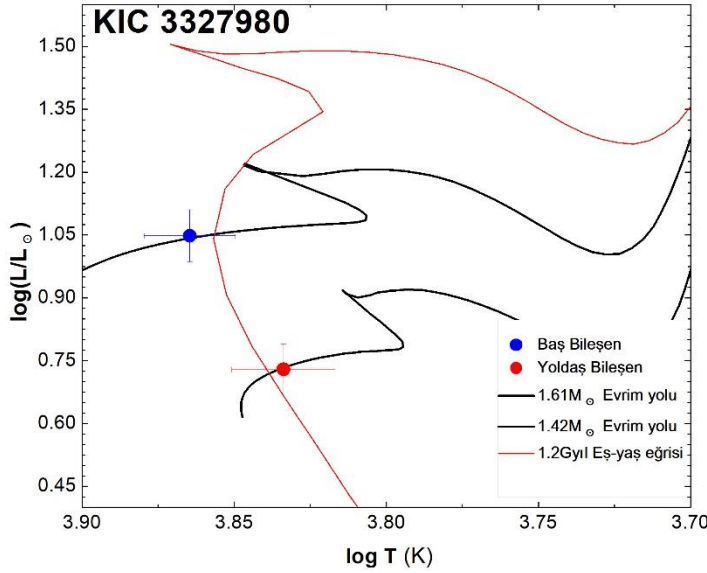
HIP 25284 çift yıldız için yapılan analizler sonucunda elde edilen mutlak parametrelerdeki belirsizlikler, düşük gözlem duyarlılığı nedeniyle, büyük çıkmaktadır. Bu durum da, bileşenlerin evrim durumunun anlaşılmasını ve yaş tahminini güçleştirmektedir. Bu olumsuzluklara karşın, bileşen yıldızların  $\log L - \log T$  düzlemindeki konumlarıyla (Şekil 4.49) veya gözlemsel parametreleriyle, Güneş metal bolluğu için oluşturulan tek yıldız evrim modelleri karşılaştırıldığında, sistem için ortalama 150 Myıl yaş tahmini yapılabilir. Evrim yollarıyla gözlemsel veriler kıyaslandığında bu çift sistem için açık bir şekilde Güneş bolluğundan düşük kalmaktadır. Daha detaylı evrim model çalışmalarının yapılabilmesi açısından sisteme ilişkin duyarlı gözlem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.49. HIP 25284 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş-yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.8. KIC 3327980

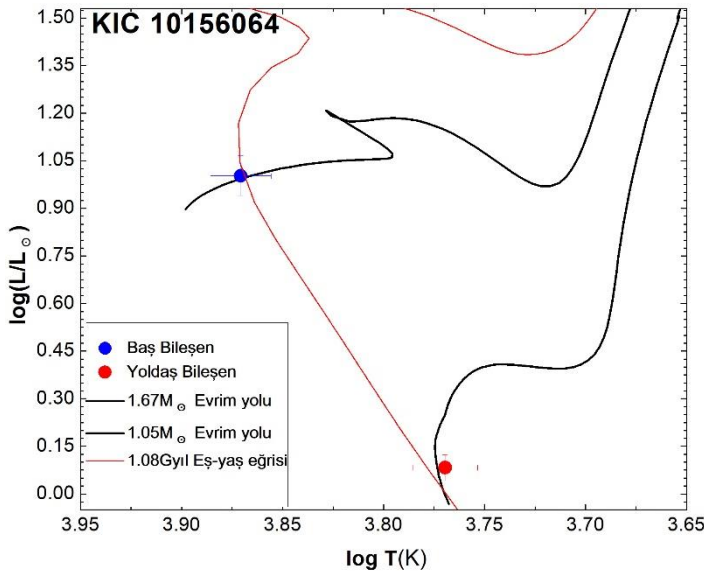
KIC 3327980 çift yıldızına ve bileşenlerine ilişkin temel parametreler doğrudan ölçümle değil sadece ışık eğrisi kullanılarak ve bazı kabuller yapılarak tahmin edilmiştir. Evrim yolları ve gözlemsel sonuçların uyumu incelendiğinde tek yıldız evrim yollarına göre (Şekil 4.50) her iki bileşen için ortalama 1.2 Gyıl yaş öngörüsü yapılmıştır. Burada kullanılan tek yıldız evrim yolları Güneş bolluğunda ve dönmesiz modeller olup çiftlik etkileşimleri dikkate alınmamıştır. Analizler sonucunda, gözlemsel veri ile evrim yolları kıyaslandığında Güneş bolluğu için hesaplanan parametreler ile modellerin oldukça uyumlu olduğu gözlenmektedir. Ancak, 1.2 Gyıl'lık eş-yaş eğrisi her ne kadar uyum içinde olsa da gözlenen farklılıklar, bileşenlerin sıcaklıklarının daha duyarlı belirlenmesi gerektiğini göstermektedir.



Şekil 4.50. KIC 3327980 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş-yaş eğrileriyle uyumu.

#### 4.7.9. KIC 10156064

KIC 10156064 çift yıldızı, bu çalışmada incelediğimiz diğer ayırık yıldızlara göre biraz daha küçük bir kütle oranına ( $q=0.63$ ) sahiptir. Bileşenlere ilişkin temel parametreler, sistemin sadece ışık eğrisi verisi analiz edildiğinden ve tayf verisi olmadığından, bazı kabuller yapılarak elde edilmiştir. Güneş bolluğu kabulü altında, tek yıldız evrim yollarının sistemin bileşenlerinin temel parametreleriyle uyumu incelendiğinde, her iki bileşen için ortalama yaşın 1.1 Gyr civarında olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 4.51). Evrim yolları ve eş – yaş eğrileri incelendiğinden de *Kepler* ışık eğrisi ile elde edilen kütle oranının hassasiyetinin yüksek olacağı da göz önünde bulundurularak, özellikle bileşen sıcaklıkları üzerinde bir farklılık olabileceği dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.51. KIC 10156064 çift yıldız bileşenlerinin evrim yolları ve eş-yaş eğrileri ile uyumu.

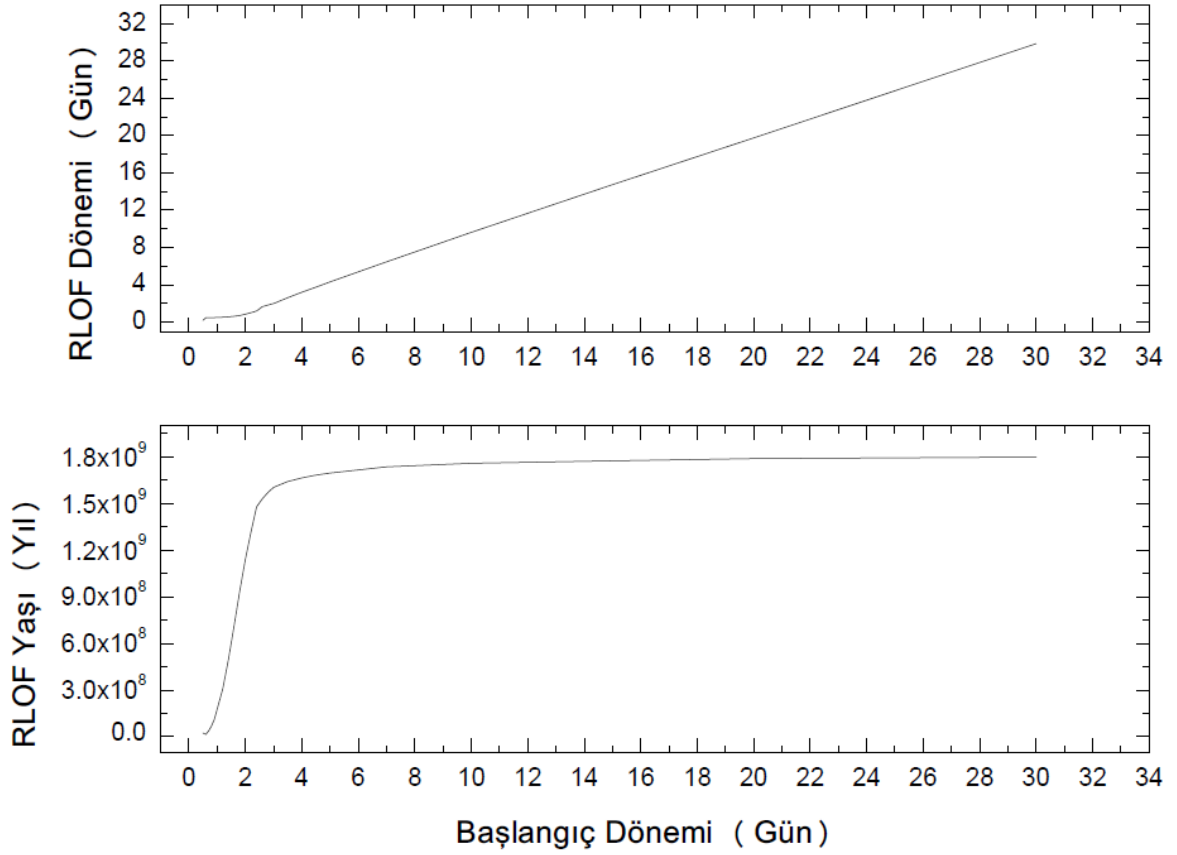
#### 4.8. Çift Yıldız Evrim Modellerinin Farklı Parametreler ile İncelenmesi

Çift yıldızların evrimlerinin, doğasının anlaşılmasında ve çift yıldız türleri arasında olası evrim geçişlerinin test edilmesinde evrim modelleri çok önemlidir. Özellikle çift/çoklu yıldız sistemlerinin doğasını dikkate alan modeller artan hassas veriler ile daha anlamlı hale gelmiştir. Bu bölümde, çift yıldızların evrim modelleri üzerinde, yörünge dönemi, basıklık, dönme hızı ve manyetik frenleme gibi etkilerin oluşturdukları farklılaşmalar incelenmiştir. Yapılan araştırmalarda homojenliğin sağlanması açısından Eker ve ark. (2014)'te yer alan, temel parametreleri duyarlı belirlenmiş ayrık çift yıldız bilgilerinden yararlanılmış ve bu yıldızların, baş ve yoldaş bileşen kütleleri, kütle oranı, yörünge dönemi parametrelerinin ortalamaları alınarak çift yıldız evrim modelleri için başlangıç değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, bugüne kadar yayınlanan çalışmalarda yıldızlara ilişkin dönme hızı değerleri güvenilir bir ortalama dağılım çıkarmak için yeterli olmadığından, baş ve yoldaş bileşen için başlangıç dönme hızı değerleri, bileşenlerin kütle parametresine göre, Cox (2000)'den alınmıştır. Bu koşullar altında belirlenen ayrık çift yıldız ortalama değerleri sırasıyla, baş bileşenin kütlesi  $M_1=1.6 M_{\odot}$ , yoldaş bileşenin kütlesi  $M_2=1.4 M_{\odot}$ , çift yıldızın ortalama yörünge dönemi  $P=3.00$  gün, kütle oranı  $q=0.87$ , baş bileşenin başlangıç dönme hızı  $v_{1baş} = 100 \text{ kms}^{-1}$  ve yoldaş bileşenin başlangıç dönme hızı değeri  $v_{2baş} = 30 \text{ kms}^{-1}$  olacak şekilde elde edilmiştir. Yine bolluk çalışmalarıyla ilgili elimizde yeterince veri bulunmamasından dolayı modeller Güneş bolluğu için üretilmişlerdir.

##### 4.8.1. Yörünge Dönemi Etkisi

Çift yıldız evrim modellerindeki yörünge dönemi etkisinin araştırılması açısından, dönem için belirli tarama aralıkları ve adımlar seçilmiştir. Yukarıda belirdilen ortalama başlangıç değerleri kullanılarak, 0.5 - 30 gün dönem aralığında inceleme yapılmıştır. Gözlemsel bulgular da düşünülerek daha büyük dönemler dikkate alınmamıştır. 0.5 gün ve altı dönemlerde ise çift yıldızlar evrim başlangıcında kısa zaman aralığında Roche yüzeylerini doldurduğundan daha kısa dönemler için hesaplama yapılmamıştır. Adım aralığı olarak ise 0.5-10 gün aralığı için 0.1 gün, 10 gün ve üzeri dönemlerde ise 0.2 gün kullanılmıştır. Yörünge dönemi değişimleri, modellerde, Roche loblarından taşım yaşları, yıldızların dönme - dolanma dönemi uyumu süreleri ve dolayısıyla küçük te olsa sıcaklık ve yarıçap gibi birçok parametre üzerine etki göstermektedir. Dönem ve ilk Roche aşımının başladığı sürelerle ilişkin modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.52'de gösterilmektedir. Ayrıca başlangıç yörünge dönemiyle ilk Roche aşımı civarındaki yörünge dönemi değişimi de Şekil 4.52'de gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde, ilk Roche taşım

(RLOF) zamanı, dört günlük başlangıç dönemlerine kadar doğrudan çift yıldızın yörünge evrimi etkili iken daha büyük dönemlere gidildiğinde ise yıldızların nükleer evrimiyle gerçekleştiği açık bir şekilde görülmektedir. RLOF dönemiyle evrim başlangıç dönemi kıyaslandığında ise yine dört günlük dönemlere kadar hızlı bir yörünge dönem değişimi gözlenirken, dört günden büyük dönemlerde çiftlik durumunun dönem değişimi üzerine etkisi giderek azalmaktadır.

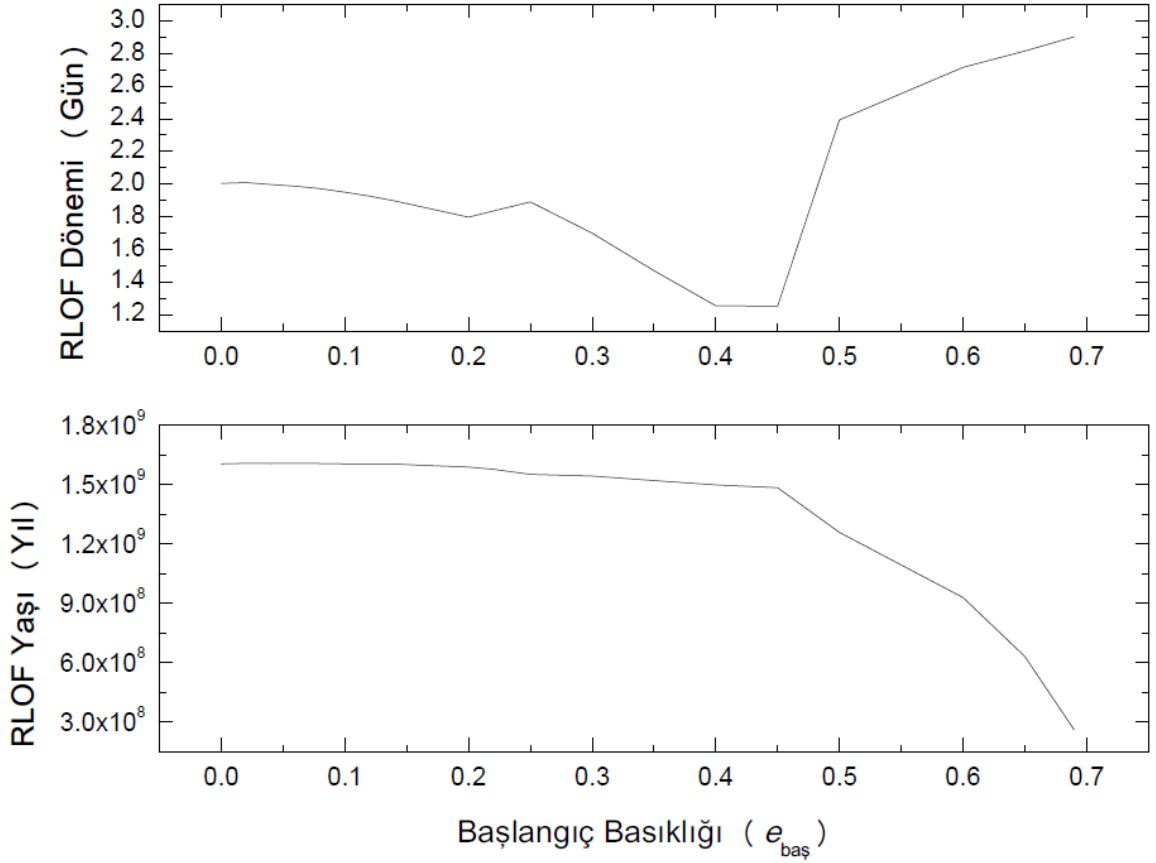


Şekil 4.52. MESA ile oluşturulan çift yıldız evrim modellerinde yörünge dönemi değişiminin etkisi. İlk Roche taşıma (RLOF) yaşı (alt) ve ilk RLOF zamanındaki dönem (üst) ile başlangıç dönemi arasındaki değişim.

#### 4.8.2. Basıklık Etkisi

Çift yıldız yörünge evriminde basıklık etkisi oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Basıklık parametresinin, çift yıldızın ayrık olarak geçirebileceği zaman ölçeğinde farklılıklar ortaya çıkarması beklenmektedir. Çift yıldızların yörünge basıklıklarının ( $e$ ) evrim üzerindeki etkisinin araştırılması açısından belirli tarama aralıkları ve adımlar seçilmiştir. Yukarıda belirtilen ortalama başlangıç değerleri kullanılarak,  $e$  için 0-0.70 aralığında tarama yapılmasına karar verilmiştir. Basıklık değeri  $e \approx 0.70$  civarına ulaştığında çift yıldızlar

evrimlerinin henüz başında Roche loblarından taşmaktadır ve ileri evrim aşamaları izlenemeyeceği için taramada 0.70 son değer olarak seçilmiştir (bu durum yukarıda belirtilen ortalama  $q$ ,  $p$  ve  $M_1$  ile  $M_2$  değerleri için de geçerlidir). Adım aralığı olarak 0.02 değeri kullanılmıştır. Basıklık değişimlerinin, modellerde Roche loblarından taşım yaşları, yıldızların dönme – dolanma dönemi uyuşum süreleri ve büyük oranda yörünge dönemi değişimleri üzerinde etkisi görülmektedir. Basıklık ve ilk Roche lobe aşımalarının başladığı sürelerle ilişkin modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.53'te gösterilmektedir. Ayrıca başlangıç basıklığıyla ilk Roche yüzeyi taşım zamanlarındaki basıklıklar incelendiğinde, başlangıç basıklığı 0.5 değerinden daha küçük olan başlangıç basıklık değerlerinde daireselleşme gerçekleşmektedir. Bu durum kendisini Şekil 4.53'te basıklığın 0.45 değerinden sonra ilk Roche taşım dönemindeki ani artış ve ilk Roche taşım zamanındaki azalmayla göstermektedir. Başlangıç basıklıklarının ilk Roche lobu taşım sırasındaki dönemler ile kıyaslaması ise Şekil 4.53'in üst kısmında verilmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi ayırık çift yıldızların ortalama dönemi başlangıç dönemi olarak seçildiğinde,  $e_{baş}=0$  durumundan  $e_{baş}=0.45$  durumuna kadar, ilk Roche taşım yaşları 1.6 ile 1.45 Milyar yıl aralığında küçük bir zaman aralığında değişirken, RLOF dönemleri, 2 günden 1.2 güne kadar değişmektedir. Bu da basıklık etkisinin yörünge dönem değişimi üzerine etkisini göstermektedir. Yörünge basıklığı  $0.45 < e < 0.7$  aralığında ise ilk RLOF zaman ölçeği hızlı bir şekilde birkaç yüz milyon yıla kadar azalmaktadır. Benzer şekilde yörünge dönemi ise, 1.2 günden tekrar 3 gün dolaylarına yaklaşmaktadır. Bu modeller de beklendiği üzere, açık bir şekilde ayırık çift yıldızların, ayırlıktan ayrılma zaman ölçekleri üzerinde yörünge basıklığının etkin olduğunu göstermektedir.



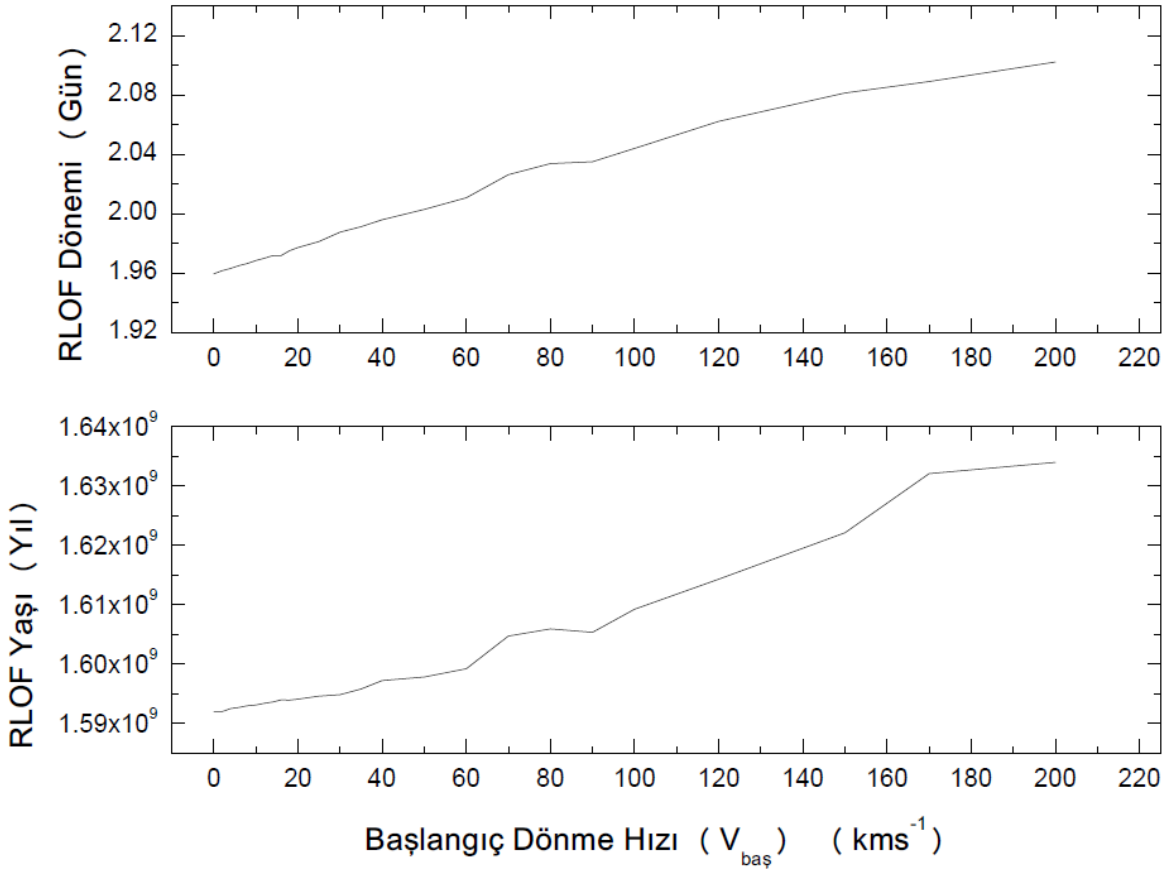
Şekil 4.53. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin başlangıç basıklık değişimiyle ilk Roche taşıma (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve başlangıç basıklığıyla ilk RLOF ların meydana geldiği durumdaki dönemi arasındaki ilişki (üst).

#### 4.8.3. Başlangıç Dönme Hızı Etkisi

Çift yıldız evriminde başlangıç dönme hızı, dönme – dolanma senkronizasyonunun gerçekleşme süresi, açısal momentum değişimleri üzerine etkisi ve bileşen sıcaklıkları ve yarıçapları üzerine dolaylı etkileri nedeniyle dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Çift yıldız evriminde başlangıç dönme hızı etkisinin araştırılması açısından belirli tarama aralıkları ve adımlar seçilmiştir. Belirtilen ortalama başlangıç değerleri kullanılarak, baş bileşenin dönme hızı  $v_{baş}$  için 0 – 200  $\text{kms}^{-1}$  aralığında tarama gerçekleştirilmiştir. Burada özellikle baş bileşenin seçilmesinin temel nedeni bileşik etkiden çok tek bir bileşenden gelen mutlak etkinin araştırılmak istenmesidir. Adım aralığı olarak ise 0-20  $\text{kms}^{-1}$  bölgesi için 2  $\text{kms}^{-1}$ , 20-50  $\text{kms}^{-1}$  aralığı için 5  $\text{kms}^{-1}$  ve 50-200  $\text{kms}^{-1}$  aralığı için 10  $\text{kms}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Başlangıç hızı değişimleri modellerde Roche loblarından taşıma yaşları, yıldızların dönme hızı ve yörünge dönemi değişimi üzerine etki göstermesinin yanında yıldızların yarıçap ve sıcaklık değerleri üzerinde de küçük etkileri bulunmaktadır.



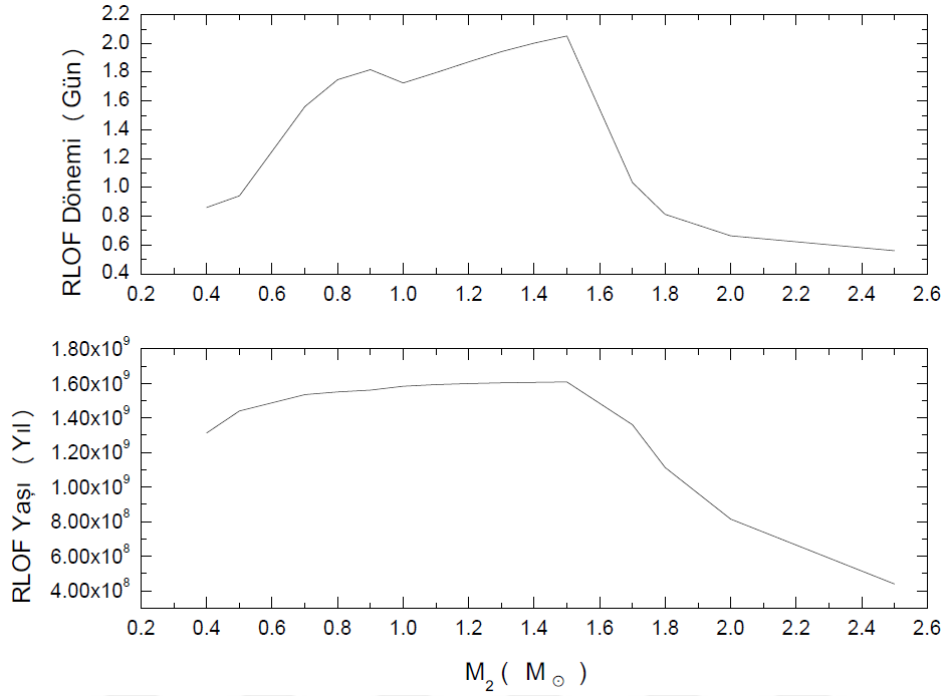
Başlangıç dönme hızları ve ilk Roche yüzeyi aşımalarının başladığı yaşlara ilişkin modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.54'te gösterilmektedir. Başlangıç dönme hızlarıyla ilk Roche taşım sırasındaki yörünge dönemleri kıyaslaması ise Şekil 4.54'te verilmektedir. Şekillerden de görüleceği gibi başlangıç dönme hızının yörünge ve yaş üzerine etkisi basıklık ve yörünge dönem değişimi etkilerine göre oldukça küçük kalmaktadır. Modeller incelendiğinde, 0 ile 200  $\text{kms}^{-1}$  lik dönme hızı aralığı için ilk Roche taşım yaşının 1.59 ile 1.64 Milyar yıl aralığında değiştiği ve hız etkisinin zaman ölçeğinde birkaç on milyon yıl mertebesinde olduğu görülmektedir (Şekildeki alt kısım). Aynı duruma RLOF dönemi üzerinden bakılırsa dönme etkisinin, üç gün civarı kabul edilen başlangıç yörünge dönemi değişimine etkinin minimum hız durumunda 1.96 gün hesaplandığı, maksimum dönme hızı etkisinde ise 2.10 güne uzadığı ve en uç değer olarak ise 0.14 günlük bir değişime yol açtığı görülmektedir.



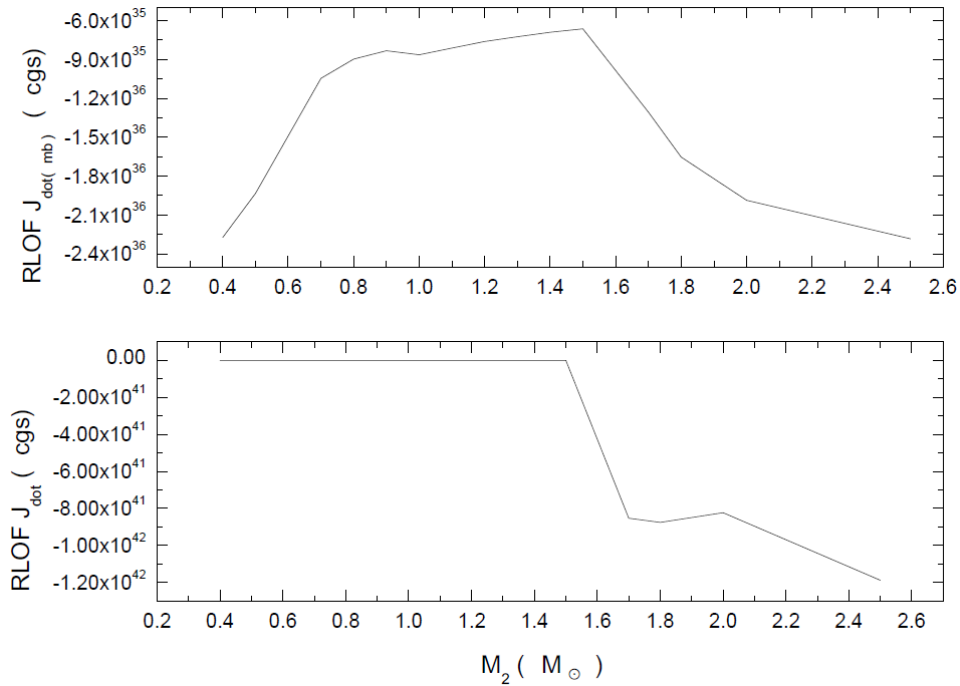
Şekil 4.54. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin evrim başlangıç dönme hızı değişimi ile ilk Roche taşım (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve evrim başlangıç dönme hızıyla RLOF dönemi arasındaki ilişki (üst).

#### 4.8.4. Manyetik Frenleme Etkisi

Çift yıldızlarda, yörünge açısal momentumunun değişiminin anlaşılması açısından manyetik frenleme etkisinin araştırılması küçük kütleli yıldızların yörünge evrimlerinin açıklanabilmesi açısından önemlidir. Bu etkinin mertebesinin ne boyutlarda olduğu ve bileşen yarıçapları üzerine etkilerinin anlaşılabilmesi aktivitenin çift yıldız evrimindeki rolünde bir göstergesi olması açısından incelenmelidir. Modellerde manyetik frenleme etkisinin incelenmesi amacıyla, girdi parametreleri yukarıda belirtilen ayrık yıldızların ortalama değerlerinde olacak şekilde yoldaş bileşenin kütlesi değiştirilerek modeller üretilmiş ve kütleyle manyetik frenlemenin yörünge evrimi ve yıldız evrimini ne şekilde etkilediği incelenmeye çalışılmıştır. Çalışma sırasında, baş bileşen kütlesi, üretilen modellerde kütle ve manyetik aktivite arasındaki ilişkinin bozulmaması ve kütle oranı değişiminin etkilerinin manyetik frenleme etkisiyle daha rahat kıyaslanabilmesi adına değişmeyecek şekilde, kütle oranı 0.25 ile 1.57 aralığında taranmış ve bunu gerçekleştirmek için ikinci bileşenin kütlelerine 0.4 - 2.5  $M_{\odot}$  aralığında başlangıç kütle değerleri atanmış ve böylece modeller hesaplanmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar Şekil 4.55 ve Şekil 4.56' da gösterilmiştir. Üretilen modeller incelendiğinde, 0.4-1.5  $M_{\odot}$  aralığı incelendiğinde manyetik frenleme nedeniyle ortaya çıkan ilk Roche taşıma yaşlarındaki değişim bir kaç yüz milyon yıllık bir zaman ölçeğine karşılık gelmektedir. Bu etkinin Roche taşıma dönemine yansması ise 0.8 günden 2 güne değişen yörünge dönemleriyle meydana gelmektedir. Bu kütle aralığında meydana gelen yörünge açısal momentum kayıplarındaki ( $J_{\dot{}}$ ) en baskın etki manyetik frenlemeden ( $J_{\dot{(mb)}}$ ) kaynaklanmaktadır ve  $-10^{36}$ 'dan  $-10^{35}$ 'lik kayıp miktarları aralığına denk gelmektedir. Özellikle 1.5  $M_{\odot}$ 'ten sonra manyetik aktivitenin sınırından daha büyük kütlelere gidildikçe hem manyetik frenlemenin sona ermesiyle hem de değişen kütle oranı ve büyüyen kütleyle oluşan evrim etkisi devreye girmekte ve bu kütleden sonra yörünge döneminde ve ilk RLOF yaşlarında yüksek bir gradyent ile azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, bu sınır sonrasında manyetik frenlemenin toplam yörünge açısal momentum değişimindeki etkisi dışlanabilecek boyutlara gelmektedir.



Şekil 4.55. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin ikinci bileşenin kütle değişimiyle ilk Roche taşıma (RLOF) yaşı arasındaki ilişkisi (alt) ve ikinci bileşenin kütle değişimiyle son durumdaki RLOF dönemi arasındaki dağılım (üst).



Şekil 4.56. Oluşturulan çift yıldız evrim modellerinin ikinci bileşenin kütle değişimi ile ilk Roche taşıma (RLOF) zamanına denk gelen toplam momentum değişimi,  $J_{dot}$  değeri arasındaki ilişkisi (alt) ve ikinci bileşenin kütle değişimiyle ilk Roche taşıma (RLOF) zamanına denk gelen manyetik frenleme etkisiyle oluşan momentum değişimi,  $J_{dot}(mb)$  değeri arasındaki ilişkisi (üst).

#### 4.8.5. Çekimsel Işıma Etkisi

Çekimsel ışımayı kısaca, kütle çekimsel alanda ivmelenmiş kütle parçacıklarının oluşturdukları ışıma olarak tanımlayabiliriz. Çekimsel ışıma özellikle kısa dönemli ve yakın çift yıldızların açısal momentum kayıplarında etkili hale gelmektedir. Bu nedenle çekimsel ışımanın büyüklüğü yörünge momentum evrimi açısından özellikle beyaz cüce çiftleri benzeri sıkışık cisimler açısından açısal momentum kayıplarında etkin rol oynadıkları için önemlidir. Örneklerimiz açısından bakıldığında ise yörünge açısal momentum değişimine manyetik frenlemenin yanında oldukça küçük bir katkı yapması beklenmektedir. Bu bölümde, analiz için seçilen  $0.3-5 M_{\odot}$  lik kütle aralığıyla çift yıldız evrim modelleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda çekimsel ışımanın açısal momentum değişimi üzerindeki etkisi incelendiğinde genel olarak belirtilen kütle aralığı için  $-10^{31}$  ile  $-10^{36}$  cgs dolaylarında bir katkı gelmektedir. Bu katkı, manyetik aktivitenin olduğu yıldızlarda manyetik frenleme etkisinin yüzde 0.01 – 0.001’i arasında bir etki olarak kendisini göstermektedir. Modellemelerden de anlaşılacağı üzere bu etki ayırık çift yıldızların ortalama değerleri açısından bakıldığında dikkate alınmaya gerek duyulmayacak kadar küçük kalmaktadır. Bu etkinin manyetik frenlemenin yanında anlamlı bir hale gelebilmesi ancak çok yakın ve kısa dönemli ayırık çift yıldızlarda mümkün olabilir.

#### 4.9. Çalışılan Bazı Sistemlerin Çift Yıldız Evrim Modelleri

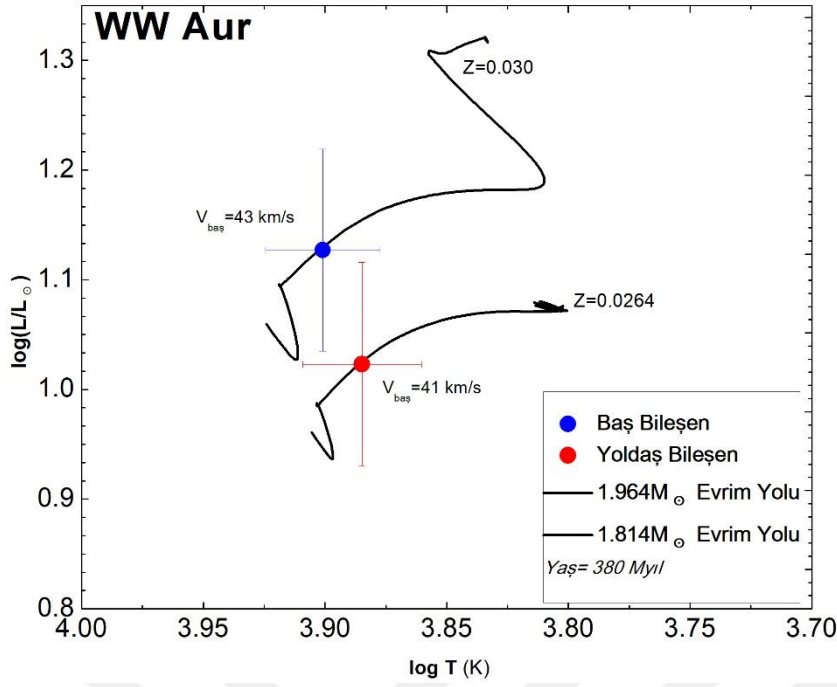
Önceki bölümlerde modeller üzerine tartışılan etkiler dikkate alınarak tez kapsamında seçilen atmosfer modelleri üretilen ve mutlak parametreleri duyarlı olarak belirlenen HD 350731, KIC 6525196, KIC 8043961, V335 Ser ve V397 Cep sistemlerinin çift yıldız evrim modelleri üretilmiş ve evrim başlangıç parametreleri belirlenerek sistem yaşları hesaplanmıştır. Modellerde daha önceki bölümlerde bulunan sistemlerin günümüzdeki durumlarını tanımlayan mutlak parametrelerinden, özellikle kütle, yarıçap, metal bolluğu ve sıcaklık olmak üzere, yararlanılmıştır. Ayrıca, literatürde mutlak parametreleri daha önce belirlenmiş olan ancak tek yıldız evrim yollarıyla uyum sorunları bulunan WW Aur sistemi model analizleri için seçilmiştir. WW Aur ayırık çift yıldızı için, Southworth ve ark. (2005)’nin yapmış olduğu çalışmada, tek yıldız evrim modelleri kullanılarak yaş hesaplanmaya çalışılmış ancak sadece  $Z=0.06$ ’lık oldukça yüksek bir bolluk değeri için sistemin temel parametre özellikleri ile uyum olmayan 90 Myl civarı bir yaş tahmininde bulunulabilmiştir. Southworth ve ark. (2005)’nin WW Aur’un ışık eğrisi ve tayf analizleri sonucunda elde ettikleri bazı temel parametreler Çizelge 4.28’ de verilmektedir. Southworth ve ark. (2005) bu durumun bileşenlerin Am özelliğiyle ilişkilendirilebileceğini belirtmiş ve

yeni tayfsal çalışmalara ihtiyaç duyulduğunu söylemişlerdir. Bu bağlamda WW Aur, çift yıldız evrim yollarının testi açısından kullanışlı bir cisim olarak öne çıkmaktadır. Bu açıdan, bu bölümde, çift yıldız evrim modellerinde uygulanan basamakların daha iyi anlaşılabilmesi adına, WW Aur ve HD 350731'in analizleri daha detaylı bir şekilde tartışılmıştır. Çalışılan diğer sistemler için, sadece  $\log L - \log T$  diyagramı üzerinde çift yıldız evrim modelleri gösterilmiştir.

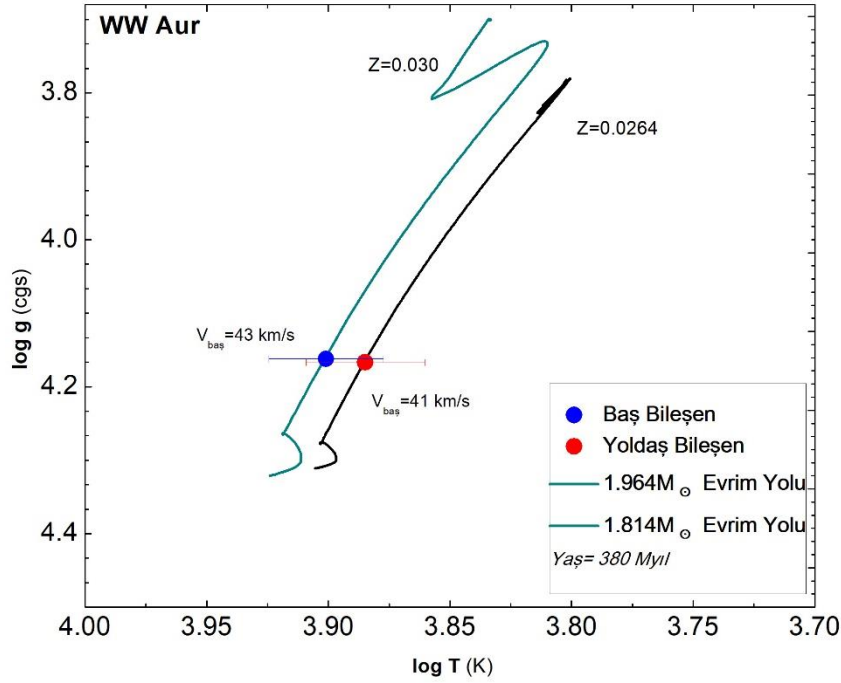
Çizelge 4.28. WW Aur Çift yıldızının bazı mutlak parametreleri (Southworth ve ark. 2005).

Sistem	P (gün)	e	M <sub>1</sub> (M <sub>☉</sub> )	M <sub>2</sub> (M <sub>☉</sub> )	R <sub>1</sub> (R <sub>☉</sub> )	R <sub>2</sub> (R <sub>☉</sub> )	log L <sub>1</sub> (L <sub>☉</sub> )	log L <sub>2</sub> (L <sub>☉</sub> )	log g <sub>1</sub> (cgs)	log g <sub>2</sub> (cgs)	V <sub>1sini</sub> (kms <sup>-1</sup> )	V <sub>2sini</sub> (kms <sup>-1</sup> )	Yaş (Myıl)
WW Aur	2.52502	0	1.964(7)	1.814(7)	1.927(11)	1.841(11)	1.127(103)	1.023(105)	4.162(7)	4.167(7)	35(3)	37(3)	90

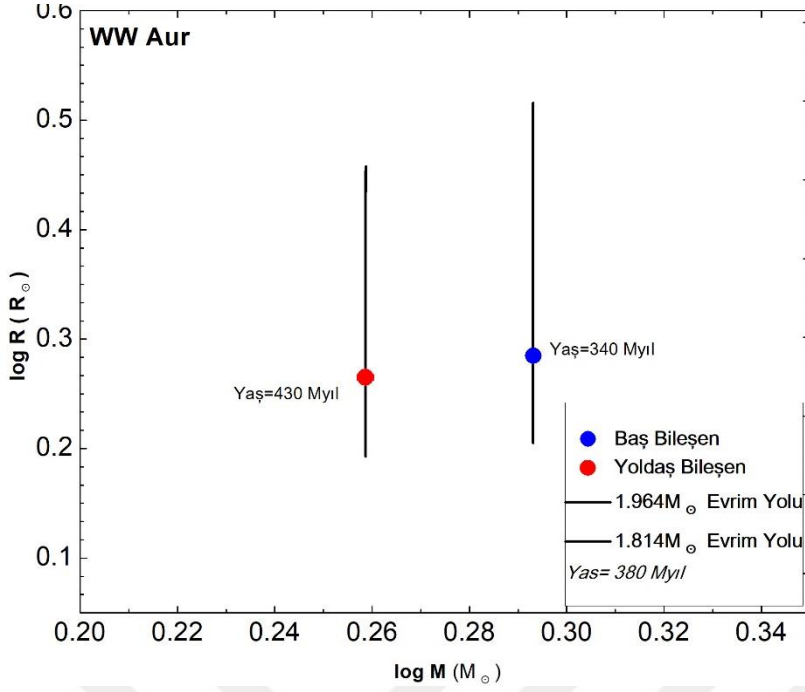
WW Aur için günümüzdeki hesaplanan kütle ve yarıçaplar ile bileşenlerin dönme hızları çift yıldız evrim modelleriyle temsil edilmeye çalışılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda WW Aur sistemi için elde edilen en iyi çift yıldız evrim modeli Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'ta gösterilmektedir. En iyi uyumu veren çift yıldız evrim model sonuçları da Çizelge 4.29'da listelenmektedir. Çizelgede, sırasıyla, sistemin yaşı (Gyıl), başlangıç yörünge basıklığı ( $e_{baş}$ ), gün biriminde başlangıç yörünge dönemi ( $P_{baş}$ ), bileşenlerin ağır element bolluğu ( $Z_1, Z_2$ ) ve bileşenlerin başlangıç dönme hızları ( $v_{1baş}, v_{2baş}$ ) verilmektedir. Çift yıldız evrim modelleriyle elde edilen sistem yaşı değeri bileşenlerin günümüzdeki yarıçapları ve sıcaklıklarıyla Southworth ve ark. (2005)'nin tek yıldız evrim modellerine göre çok daha tutarlı görünmektedir. Özellikle evrim modelleriyle elde edilen bileşenlere ait ağır element bollukları daha önceki çalışmada belirtilen  $Z=0.06$  değerine göre baş ve yoldaş bileşen için çok daha olası bir değer ile sırasıyla, 0.030 ve 0.026 olarak bulunmuştur. Ayrıca, analizlerimizde yarıçap değerlerine göre incelediğimiz de bileşenler için sırasıyla 340 ve 430 Myıl'lık yaşlar hesaplanmıştır. Bu yaşlar hatalar çerçevesinde çok tutarsız olmasa da iki bileşen arasındaki görünürdeki 90 Myıl'lık yaş farkının en olası açıklaması Southworth ve ark. (2005)'nin belirtmiş oldukları tayflarında gözlenen Am özellikleri kaynaklı olabileceği yönündedir. Analizlerden de görüleceği gibi duyarlı girdi parametresi elde edilebilmesi durumunda çift yıldız evrim modelleri ayrık sistemlerin için de oldukça önemli farklar yaratabilmektedir. Ayrıca, WW Aur sisteminin daha duyarlı analizlerinin ortaya konabilmesi ve dönme özelliklerinin daha hassas tartışılabilmesi için çift yıldız bileşenlerinin daha iyi belirlenmiş sıcaklık değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.



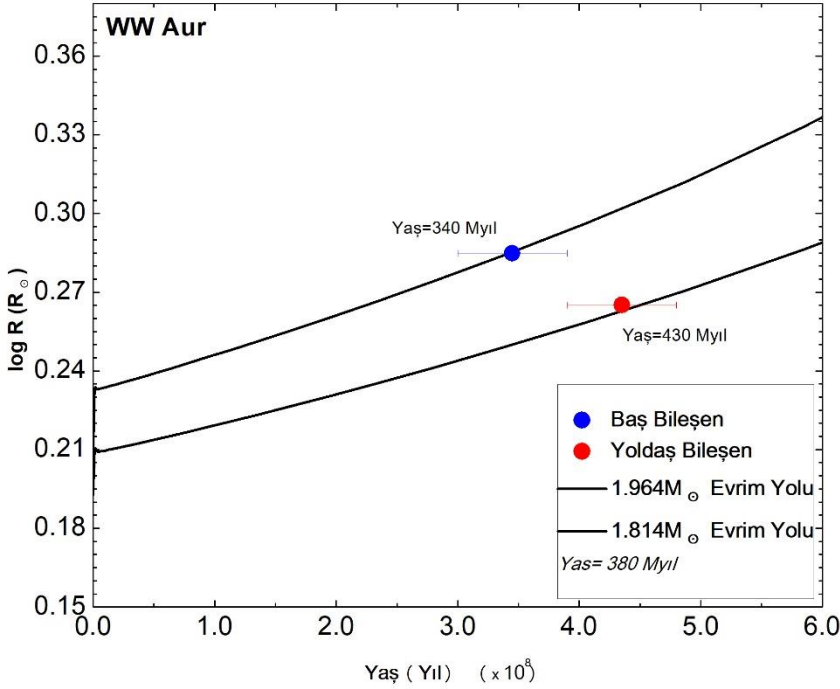
Şekil 4.57. WW Aur bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



Şekil 4.58. WW Aur bileşenlerinin  $\log g - \log T$  diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



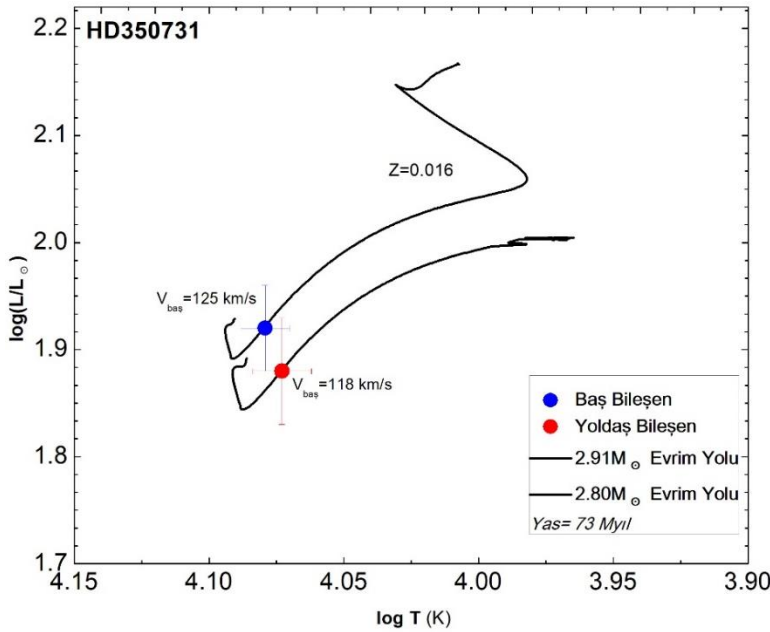
Şekil 4.59. WW Aur bileşenlerinin  $M$ - $R$  diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



Şekil 4.60. WW Aur bileşenlerinin Yaş- $R$  diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

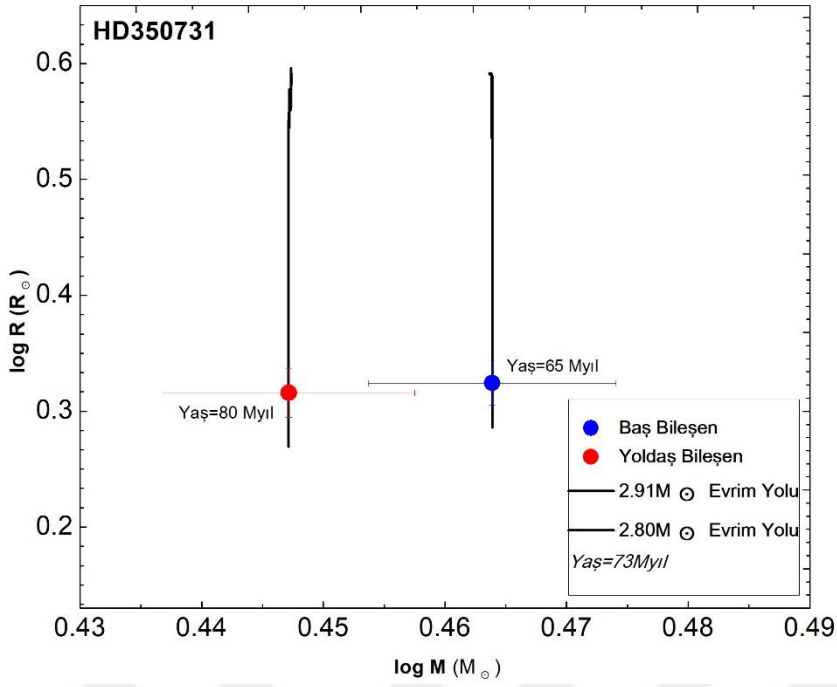
Yapılan analiz sonuçlarına örnek olarak basık yörüngeli HD 350731 sisteminin bileşenleriyle çift yıldız model uyumları, zamana bağlı yörünge dönemi değişimiyle basıklık

değişimleri Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64’de gösterilmektedir. HD 350731 basık yörüngenin çift yıldız evrimi üzerindeki etkisinin önemini anlaşılması açısından oldukça kullanışlı bir örnektir. Çifte ilişkin elde edilen evrim model sonuçları Çizelge 4.29’da verilmektedir. Elde edilen çift yıldız evrim modeli sonuçları irdelendiğinde, sistem için ortalama yaş 73 Myıl olarak verilse de ilk göze çarpan bileşenler arasındaki H-R,  $\log R - \log M$  diyagramları üzerinde beliren yaş farklılığıdır. Bu ölçüdeki (~15 Myıl) farklılık günümüzdeki çift yıldız çalışmalarında hata mertebeleri içinde kalmakla birlikte olağan olsa da bunun bir diğer açıklaması diyagramlar birlikte değerlendirildiğinde bileşenler arasındaki küçük metal bolluğu farklılıkları da olabilmektedir. HD 350731 ve benzer yapıdaki çift yıldızların önemine Şekil 4.64 üzerinden değinecek olursak, sistemin evrim başlangıç değerleri, günümüzdeki konumu ve gelecekteki yörünge evriminin ne şekilde gelişeceğine dair tahmin yapmamıza olanak sağlayabilir. Bu öngörüler tayftan elde edilen dönme hızı değerleriyle de birleştirilerek, özellikle dönme-dolanma dönemi eşleşmesinin ne mertebede olduğunun bilinmesiyle hem yörünge evrimine dair öngörüler, basıklığında yardımıyla güvenilir hale gelmekte hem de sistem yaşına ilişkin öngörüler ve bileşenlerin anakol evrimine başlangıç dönme hızlarının güvenilirliği çapraz kıyaslamalar ile artırılmaktadır. Ayrıca, HD 350731 özelinde daha önceki bölümlerde verilmiş tek yıldız evrim modelleriyle kıyaslama yapılırsa, sistemin neredeyse yarı yarıya daha genç bulunduğu açıkça gösterilmektedir.

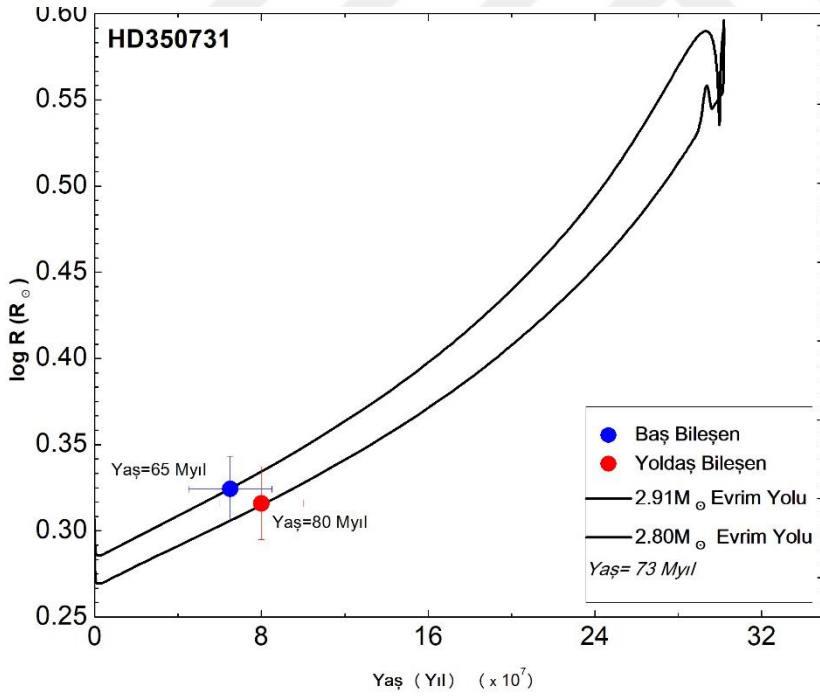


Şekil 4.61. HD 350731 bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

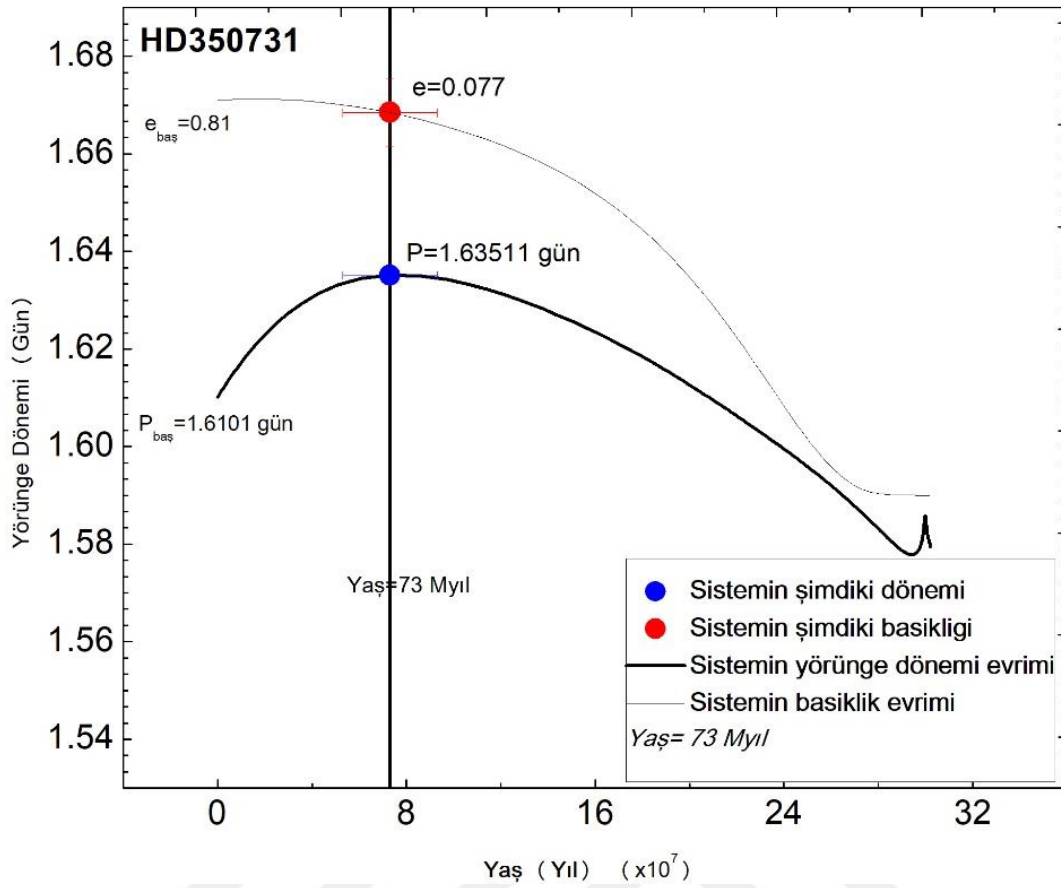




Şekil 4.62. HD 350731 bileşenlerinin  $M$ - $R$  diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

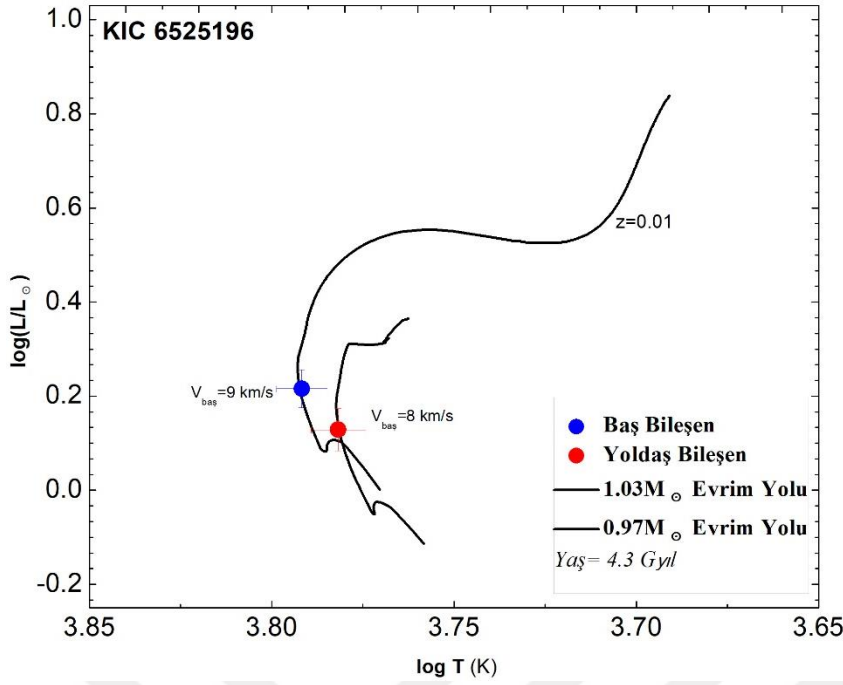


Şekil 4.63. HD 350731 bileşenlerinin Yaş- $R$  diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

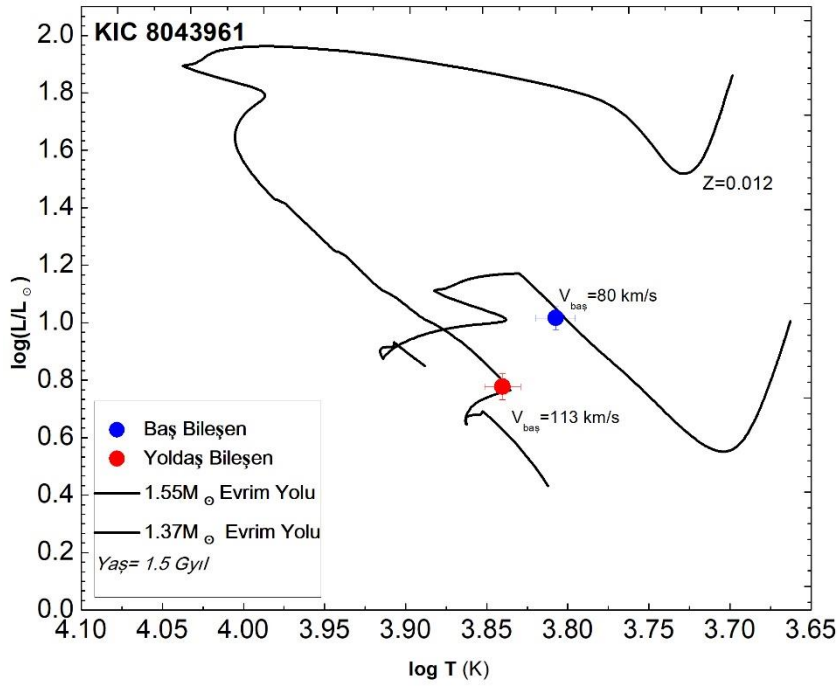


Şekil 4.64. HD 350731 bileşenlerinin Yaş- $P_{yör}$  diyagramındaki konumu ve yörünge basıklığının çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

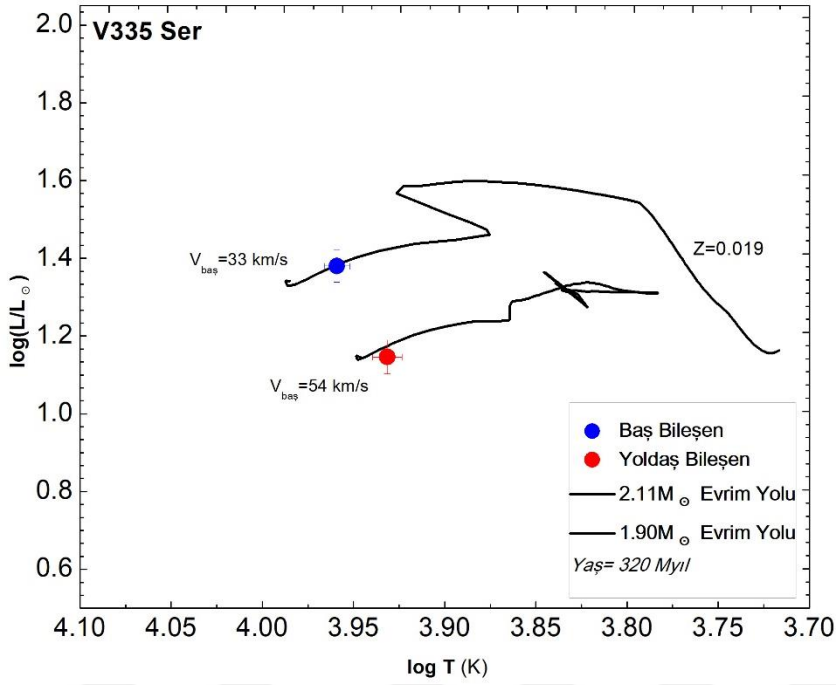
Önceki bölümlerde, hassas ışık ve dikine hız eğrileri olup çözümleri yapılan ve böylece temel parametreleri belirlenen sistemlerin (KIC 6525196, KIC 8043961, V335 Ser ve V397 Cep) benzer analizleri yapılarak çift yıldız evrim modelleri üretilmiş ve bileşenlerin H-R diyagramındaki konumları Şekil 4.65, 4.66, 4.67 ve 4.68’de gösterilmektedir. Ayrıca, analizleri yapılan tüm sistemlerin benzer analizler sonucunda bulunan başlangıç parametreleri Çizelge 4.29’da verilmektedir.



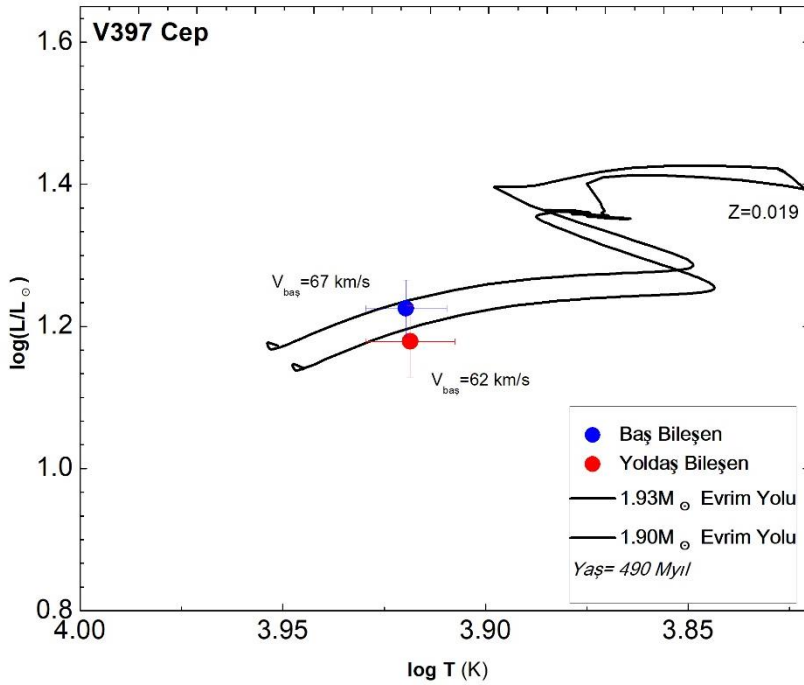
Şekil 4.65. KIC 6525196'nın bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



Şekil 4.66. KIC 8043961'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



Şekil 4.67. V335 Ser'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.



Şekil 4.68. V397 Cep'in bileşenlerinin H-R diyagramındaki konumu ve çift yıldız evrim modelleriyle uyumu.

Kısaca her bir çift sistem için çift yıldız evrim modeli analizi sonuçları incelenecek olursa, KIC 6525196 sisteminin üç bileşenli ve ikili sisteminin eş dönme durumunda olduğu

düşünüldüğünde çift sistem evrim yollarının daha duyarlı hesaplanabilmesi ve yörünge evriminin tam olarak öngörülebilmesi için birkaç on  $\text{ms}^{-1}$  hız çözünürlüğünde tayflara ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 4.65'ten de görüldüğü gibi bileşenlerin ortak yaşları 4.3 Gyıl olarak bulunmuştur. Bu durum daha önceki bölümde bulunan değere göre biraz daha genç çıkmaktadır ve Helminiak ve ark. (2017)'nin yapmış olduğu çözüme göre de bileşenlerin evrim durumları birbirleriyle daha tutarlıdır.

Diğer bir *Kepler* sistemi olan KIC 8043961'in evrim durumu incelendiğinde, oldukça dikkat çekici sonuçlar gözlenmektedir. Büyük kütleli bileşen neredeyse anakoldan ayrılmak üzere çıkmakta ve sistem Roche taşımına başlamış olarak görülmektedir (Şekil 4.66). Ayrıca çift yıldızın yaşı tek yıldız evrim modellerinden elde edilen yaşa göre 0.3 Gyıl daha genç çıkmaktadır. Bu durumda açıkça çift yıldız evrim modellerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, büyük ve küçük kütleli bileşenlerin evrim başlangıç dönme hızları sırasıyla,  $v_{1baş}=80 \text{ kms}^{-1}$  ve  $v_{2baş}=113 \text{ kms}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.29). Bu sistemin ve bileşenlerinin özelliklerinin kontrol edilmesi ve daha duyarlı sonuçlar elde edilebilmesi için farklı dalgaboylarında yüksek çözünürlüklü tayf verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Hassas mutlak parametre verisi olan basık yörüngeli, V335 Ser ve V397 Cep çift yıldızlarının da benzer değerlendirmeleri yapılmış ve sistem yaşları sırasıyla, 0.32 Gyıl ve 0.49 Gyıl olarak belirlenmiştir (Şekil 4.67 ve Şekil 4.68). Yine çift yıldız evrim modellerinden elde edilen yaş değerleri açıkça tek yıldız evrim modellerinden gelen değerlere göre daha küçük bulunmuştur.

Çizelge 4.29. Çalışılan sistemlerin çift yıldız evrim modelleri sonucunda elde edilen evrim başlangıç parametreleri ve sistem yaşları.

Sistem	Yaş (Gyıl)	$e_{baş}$	$P_{baş}$ (Gün)	$Z_1$	$Z_2$	$V_{1baş}$ (km/s)	$V_{2baş}$ (km/s)
WW Aur	0,38(5)	0	2,5255	0,030(7)	0,026(7)	43	41
HD 350731	0,073(19)	0,081	1,6101	0,016(5)	0,015(5)	125	118
KIC 6525196	4,37(68)	0	3,4405	0,010(3)	0,010(3)	9	8
KIC 8043961	1,51(43)	0	4,6	0,012(4)	0,012(4)	80	113
V335 Ser	0,32(8)	0,141	3,45	0,0185(20)	0,0188(20)	33	54
V397 Cep	0,49(6)	0,153	2,09	0,0189(28)	0,0189(28)	67	62
V1385 Ori	0,79(32)	0	2,1889	0,015(7)	0,015(7)	172	165
HIP 25284	0,07(3)	0	1,6001	0,035(9)	0,035(9)	225	212
KIC 3327980	0,75(20)	0	4,2302	0,015(3)	0,015(3)	100	30
KIC 10156064	0,92(33)	0	4,8557	0,014*	0,014*	100	10

\*Sabit alınmıştır (Güneş metal bolluğu).

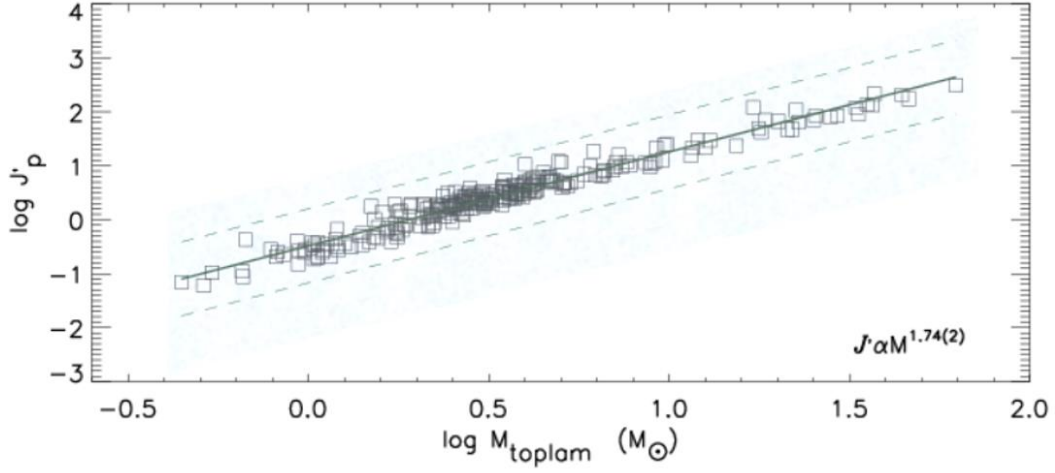
#### 4.10. Ayrık Çift Yıldızlarda Yörünge Açısal Momentum Dağılımı

Çift yıldızlarda açısal momentum değişimleri, onların oluşum ve evrimlerinin anlaşılmasında kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, tez çalışmada, ayırık çift yıldızlarda yörünge açısal momentumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Böylece, çift yıldızların açısal momentum ve yörünge evriminin başlangıç durumlarına ilişkin bazı sonuçlara ulaşmak mümkün olabilir.

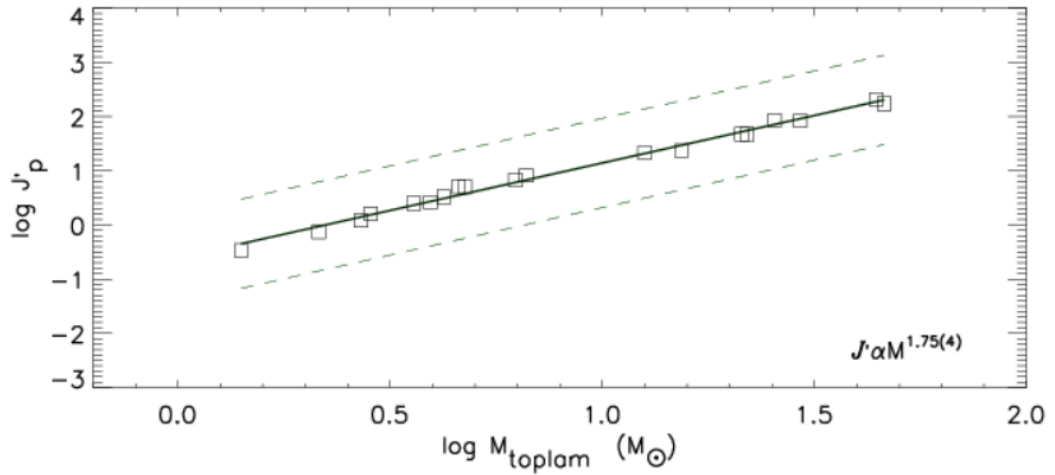
Bu bölümde mutlak parametreleri duyarlı bir şekilde belirlenen ayırık çift yıldızlar ele alınarak üçüncü bölümde anlatılan yöntemler kullanılarak çalışılan tüm sistemlerin ve ayrıca tüm iyi bilinen ayırık sistemlerin yörünge açısal momentum değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan yörünge açısal momentumu, farklı sistem parametreleriyle karşılaştırılmış ve bulgular rapor edilmiştir. Yapılan analizlerde basıklık, manyetik frenleme ve yörünge dönemi gibi etkiler incelenmiştir. Eker ve ark. (2014)'den seçilen ayırık çift yıldızlar üzerinden yörünge açısal momentum ( $J'_p$ ) ile baş ve yoldaş bileşenin toplam kütlesi ( $M=M_1+M_2$ ) arasındaki ilişki, logaritmik düzlemde, en olası doğruyla temsil edilmiştir ve Şekil 4.69'da gösterilmiştir. Genel dağılımın denklemi ise şu şekilde verilmektedir:

$$\log J'_p = 1.74(2)\log M - 0.48(2) \quad (4.1)$$

Aynı ilişki, iç Roche lobu doldurma oranı (yakınlık etkilerinin belirgin olmaya başladığı oran olan %75'ten büyük olanlar), radyatif ve konvektif zarf yapısı farklılıkları üzerinden de incelenmiştir. Doldurma oranına göre elde edilen açısal momentum ve kütle dağılımının tüm sistemler için elde edilen ilişki ile hemen hemen aynı olduğu Şekil 4.70'de görülmektedir.



Şekil 4.69. Parametreleri iyi bilinen tüm ayırık çift yıldızların toplam kütle-yörünge açısal momentum ilişkisi. Taralı bölge teorik olarak elde edilen kütleyle karşılık olması gereken yörünge açısal momentum değerlerini göstermektedir.



Şekil 4.70. Doldurma oranı (FF) %75'ten büyük olan ayırık çiftlerin  $\log M - \log J'_p$  dağılımı.

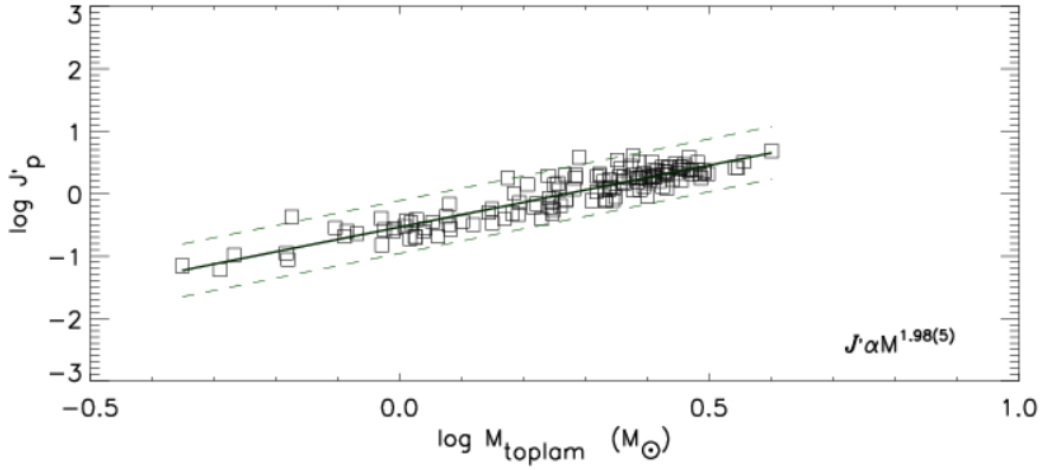
Radyatif ve konvektif dış zarfın yörünge açısal momentum dağılımına etkisi ise Şekil 4.71 ve 4.72'de gösterilmektedir. Burada radyatif ve konvektif sınır olarak  $1.5M_{\odot}$  değeri seçilmiştir. Bünyesinde  $1.5 M_{\odot}$ 'ten küçük kütleli bileşen bulunduran ayırık çift yıldızlar ele alındığında verileri en iyi temsil eden doğrunun eğiminin açıkça değiştiği Şekil 4.71'de görülmektedir. Değişimi en iyi temsil eden doğrusal denklem aşağıdaki gibi belirlenmiştir:

$$\log J'_p = 1.98(5)\log M - 0.55(9) \quad (4.2)$$

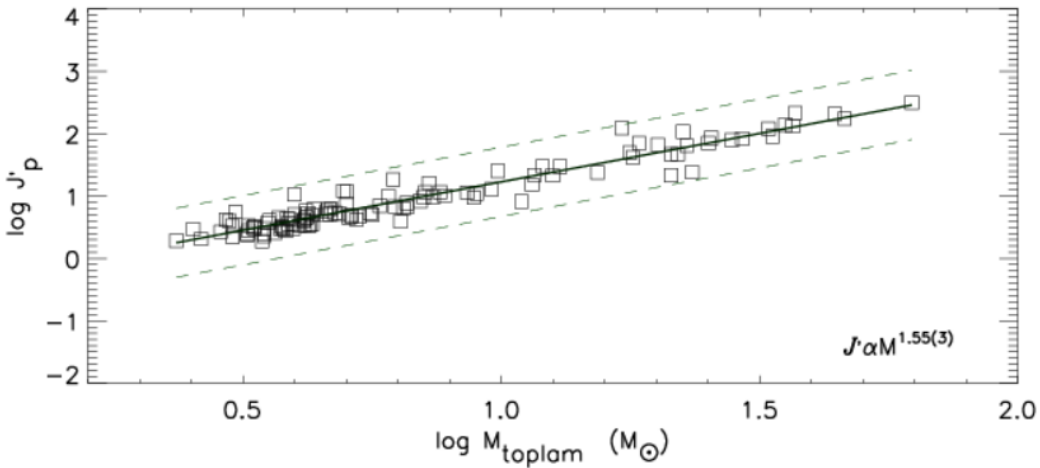
Benzer bir şekilde her iki bileşeni de  $1.5 M_{\odot}$ 'ten büyük olan ayırık çift yıldızlar yine tüm

ayrık çift yıldız veri dağılımından farklı bir eğim göstermekte ve bu durum Şekil 4.72’de gösterilmektedir. Değişimi en iyi temsil eden doğrusal denklem aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$\log J'_p = 1.55(3)\log M - 0.32(4) \quad (4.3)$$



Şekil 4.71. Kütleleri  $1.5M_{\odot}$ 'ten büyük bileşen barındırmayan ayrık çift yıldızların  $\log M$ - $\log J'_p$  dağılımı.



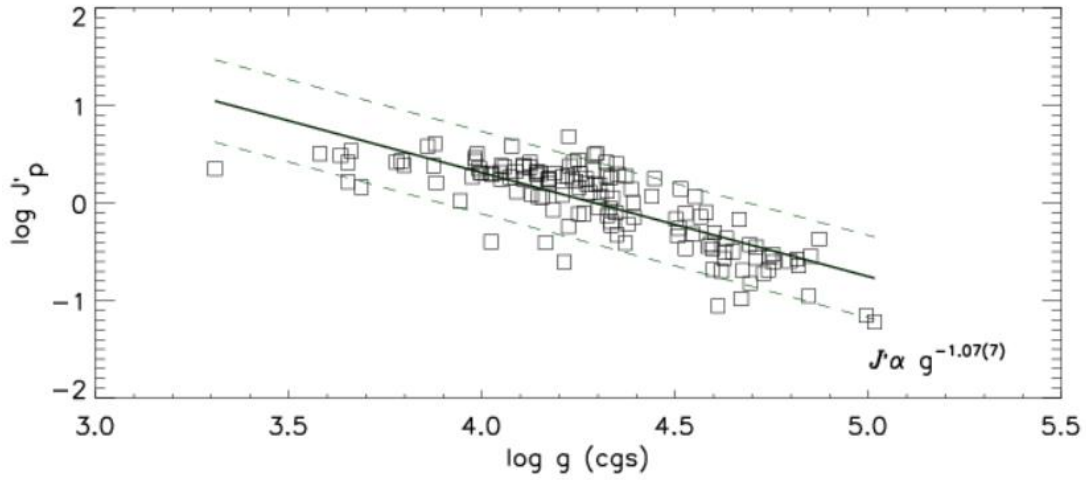
Şekil 4.72. Bileşenleri  $1.5M_{\odot}$ 'ten büyük kütleli ayrık çift yıldızlardaki  $\log M$ - $\log J'_p$  dağılımı.

Ayrıca, sistemlerin toplam yörünge açısal momentumunun, bileşenleri  $1.5M_{\odot}$ 'ten küçük ve büyük kütleli olanları için, yüzey çekim ivmesi ( $g$ ) ile dağılımına bakıldı. İncelemeler sonucunda, yörünge açısal momentumunda  $1.5M_{\odot}$ 'ten büyük kütleli bileşen barındıran çiftler için anlamlı bir dağılım görülmezken  $1.5M_{\odot}$ 'ten küçük kütleli bileşen



içeren çiftler için  $\log g$  arttıkça yörünge açısal momentumunun azaldığı açıkça gözlenmektedir (Şekil 4.73). Değişimi en iyi temsil eden doğrusal denklem aşağıdaki şekliyle ortaya çıkmıştır:

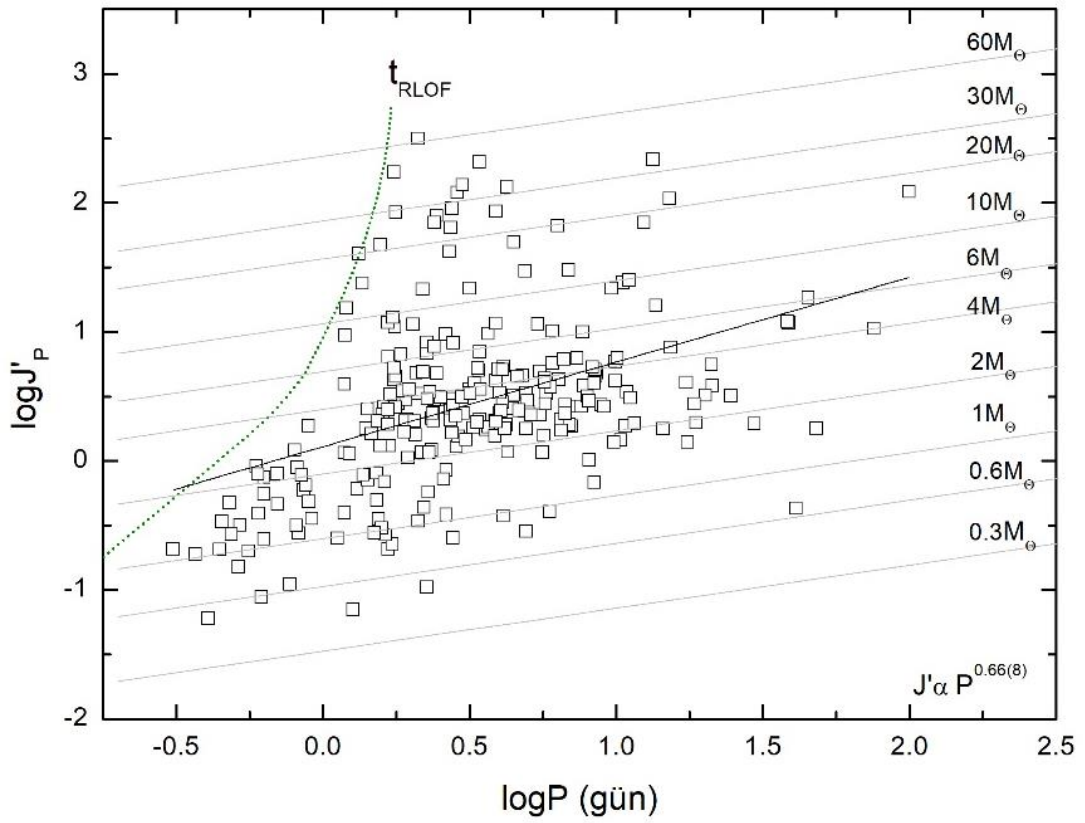
$$\log J'_p = -1.07(7)\log g - 4.57(30) \quad (4.4)$$



Şekil 4.73. Bileşenleri  $1.5M_{\odot}$ 'ten küçük kütleli ayırık çift yıldızlar arasındaki  $\log g - \log J'_p$  dağılımı.

Yörünge açısal momentum ile ilişkili bahsi geçen parametre ilişkilerine ek olarak, tüm sistemlerin yörünge dönemi ve yörünge açısal momentumları arasındaki ilişki araştırılmış ve dağılım Şekil 4.74'te gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi hızlı evrimleşme ve uzun dönemli sistem gözlemlerinin zorluğu vb. bazı seçim etkileri nedeniyle dağılım beklendiği gibi çıkmamaktadır. Seçim etkileri dışında kütleyle bağlı, kısalan yörünge dönemlerinin bulunduğu belirli bir bölgeden sonra yörünge dönemi ve açısal momentum arasında bir sınır oluşmaktadır. Bu sınırın irdelenmesi amacıyla çift yıldız evrim modelleri üretilerek evrimsel durum ve çift yıldızların yörünge evrimleri araştırılmıştır. Üretilen modellerde yörünge dönemi açısından en alt sınırların elde edilebilmesi amacıyla, kütle oranı  $q=1$  ve çembersel yörünge yaklaşımı kullanılmıştır. Şekil 4.74'ten de görüldüğü gibi ilk Roche aşımalarının meydana geldiği zaman ( $t_{RLOF}$ ), modeller sonlandırılmış ve o andaki yaşlar, yörünge dönemleri ve yörünge açısal momentumları şekilde noktalanarak bir sınır (kesikli çizgi) oluşturulmuştur. Küçük kütle bölgesindeki gözlemsel veri azlığı nedeniyle, modeller bileşen kütlelerinin  $0.5 M_{\odot}$  olduğu bölgede kesilmiştir. Çift yıldız evrim modelleri ile elde edilen, çift yıldız evrimi başlangıç yörünge dönemi ( $P$ ), ilk Roche taşımalarının meydana geldiği yörünge

dönemi ( $P_{RLOF}$ ), ilk Roche taşımaların meydana geldiği yaş ( $t_{RLOF}$ ), ilk Roche taşımalarının meydana geldiği zamandaki yörünge açısal momentumları ( $J_{P(RLOF)}$ ) ve sabit niceliklerin bölünmesiyle elde edilen normalize yörünge açısal momentumu ( $J'_{P(RLOF)}$ ) değerlerine ilişkin bazı sonuçların toplam kütleyle göre aldığı değerler Çizelge 4.30'da gösterilmektedir. Ayrıca, aynı çizelgede, belirtilen bileşen kütleleri için beklenen anakolda kalma süreleri ( $t_{TAMS}$ ) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kütle-ışınım bağıntısı sabit alınmamış, belirli kütle aralıkları için Eker ve ark. (2015)'nin çalışmasında belirtilen  $M - L$  ilişkileri kullanılarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.74. Çift yıldız evrim modelleriyle oluşturulan teorik  $t_{RLOF}$  sınırının (yeşil çizgi) gözlemsel veri (içi boş kareler) ile uyumu ve toplam kütle çizgileri (gri çizgiler) gösterilmektedir. Siyah koyu çizgi ise gözlemsel dağılımın ortalamasını göstermektedir.

Çizelge 4.30. Çift yıldız evrim modelleriyle elde edilen sonuç parametreleri.

$M_{toplam}$ ( $M_{\odot}$ )	$P$ (Gün)	$P_{RLOF}$ (Gün)	$t_{RLOF}$ (Yıl)	$J_{P(RLOF)}$ (cgs)	$J'_{P(RLOF)}$	$t_{TAMS}$ (Yıl)
90	1,85	1,71	$8,0 \times 10^5$	$6,70 \times 10^{54}$	2,73	$8,2 \times 10^5$
60	1,80	1,68	$1,9 \times 10^6$	$3,39 \times 10^{54}$	2,44	$2,3 \times 10^6$
30	1,60	1,51	$5,8 \times 10^6$	$1,03 \times 10^{54}$	1,92	$1,1 \times 10^7$
20	1,40	1,33	$1,1 \times 10^7$	$5,03 \times 10^{53}$	1,61	$1,7 \times 10^7$
14	1,30	1,21	$2,4 \times 10^7$	$2,71 \times 10^{53}$	1,34	$4,0 \times 10^7$
10	1,10	1,06	$4,7 \times 10^7$	$1,47 \times 10^{53}$	1,07	$9,1 \times 10^7$
6	0,90	0,87	$1,6 \times 10^8$	$5,86 \times 10^{52}$	0,67	$3,7 \times 10^8$
5	0,80	0,77	$2,3 \times 10^8$	$4,16 \times 10^{52}$	0,53	$6,3 \times 10^8$
4	0,70	0,67	$3,7 \times 10^8$	$2,72 \times 10^{52}$	0,34	$1,2 \times 10^9$
3	0,80	0,49	$7,0 \times 10^7$	$1,52 \times 10^{52}$	0,09	$3,0 \times 10^9$
2	0,55	0,32	$6,4 \times 10^7$	$6,73 \times 10^{51}$	-0,27	$1,0 \times 10^{10}$
1,5	0,45	0,23	$7,2 \times 10^7$	$3,75 \times 10^{51}$	-0,52	$2,7 \times 10^{10}$
1	0,35	0,15	$9,0 \times 10^7$	$1,65 \times 10^{51}$	-0,88	$1,7 \times 10^{11}$

Yapılan çift yıldız evrim modellerinde elde edilen bazı sonuçlar üzerinde duracak olursak; özellikle manyetik aktivite başlangıç sınırından sonra çift yıldızın evrim başlangıç döneminin RLOF üzerindeki etkisi azalarak toplam kütle ve kütle oranına göre sınır dönemlere evrildiği görülmektedir. Manyetik frenleme etkisiyle hızlı bir şekilde değişen yörünge dönemi, Roche taşımalarının daha kısa sürelerde oluşmasına ve küçük kütleli bileşenleri olan ayrık çiftlerin kısa zaman ölçeklerinde hızlıca ayrık durumdan ayrılmasına neden olabilir. Daha büyük kütleli bileşenleri olan sistemlere bakıldığında ise bileşenlerin beklenenden daha da hızlı bir şekilde çift yıldız evrimi etkisiyle Roche yüzeylerini doldurdukları ve ayrık durumdan, yarı-ayrık duruma evrildikleri söylenebilir.

## BÖLÜM 5

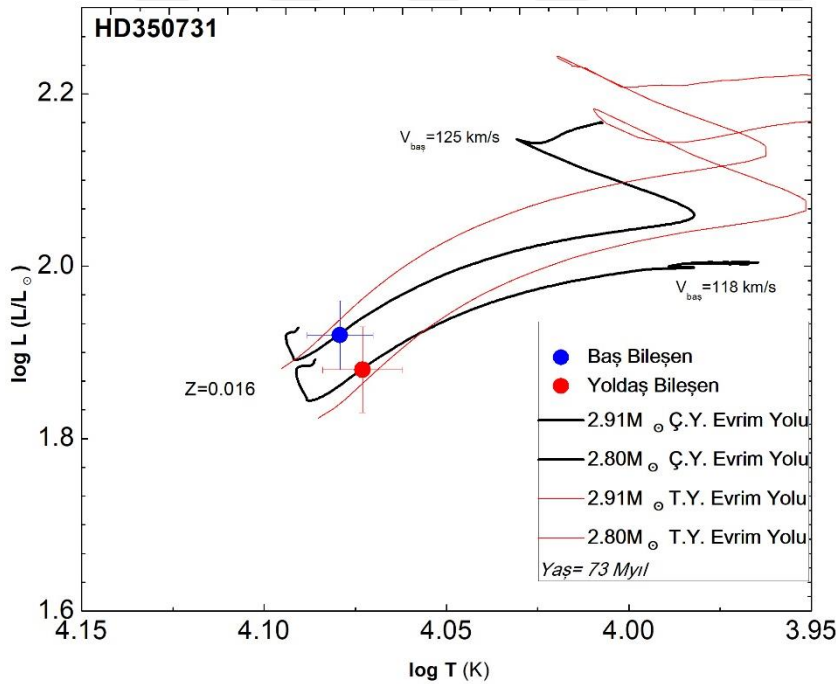
### SONUÇ ve ÖNERİLER

Son yıllarda, gelişen teknolojinin beraberinde elde edilen hassas gözlem verileri ve uygulanan gelişmiş analiz teknikleriyle astrofizikte önemli problemlerin çözümünde yol alınmıştır. Bu çerçevede, yıldızların temel parametrelerinin duyarlı olarak elde edilip yapı ve evrimlerinin anlaşılmasıyla ilgili araştırmalarda da önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Buna karşın, yıldızların doğasının anlaşılmasını zorlaştıran açık problemlerin varlığı, yıldızların temel parametreleri, yapısal özellikleri, oluşum ve gelişimleri üzerine yapılan incelemelerin hala güncel kalmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, bu tez çalışmasında, seçilen ayırık örten çift yıldızların yeni gözlemlerden elde edilen ve/veya açık veri tabanlarındaki veri durumuna göre, temel astrofiziksel parametrelerinin hassas şekilde belirlenmesi, bazılarının atmosfer yapılarının incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, çalışılan çift sistemlerin tek ve çift yıldız evrim modelleriyle evrim durumları incelenerek yorumlanmıştır. Çalışmanın önemli alanlarından biri de, çift yıldız evrim süreçlerinde bazı parametrelerin ne derece etkin olduğunun araştırılmasıdır. Bunun yanında bu çalışma kapsamında, çift yıldızların, özellikle ayırık çift yıldızların evrim süreçlerinin anlaşılmasına ve çift sistemler arasında olası evrim geçişlerinin açıklanmasına katkı sunabilecek parametrelerden olan bu tür sistemlerin açısal momentum dağılımlarının farklı parametreler ve evrim durumlarıyla birlikte incelenmiştir.

Öncelikle, tez kapsamında çalışılan ve bulguları önceki bölümünde verilen ayırık çift sistemlere ilişkin elde edilen sonuçlar aşağıda verilecek olup daha sonra evrim durumları ve açısal momentum dağılımları üzerine elde edilen bulgular sunulacaktır.

HD 350731 ayırık çift sisteminin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizlerinden B8V tayf türü iki bileşenden oluşan basık yörüngeli bir dizge olduğu ortaya konmuştur. Sistemin yaşı tek yıldız evrim modellerinde yaklaşık 120 Myıl olarak belirlenmiştir. Yörünge dönemi evrimi, basıklık ve bileşen dönme hızlarını dikkate alarak üretilen çift yıldız evrim modellerinde, sistem yaşı 73 Myıl çıkmakta ve bileşenlerin metal bollukları da en iyi uyum  $Z_1=0.016$  ve  $Z_2=0.015$  civarında elde edilmektedir. Bu değerler tayfsal veriyle uyum içindedir ancak daha hassas ve güvenilir sonuçlar elde etmek ve bu çalışmada bulunan parametreleri test etmek için sistemin yüksek çözünürlüklü tayflarına ihtiyaç duyulmaktadır. Çift yıldız evrim modelleriyle sisteme ilişkin başlangıç koşulları dikkate alındığında sistemin yörünge basıklığı ve yörünge döneminin başlangıç değerleri, sırasıyla,  $e=0.081$  ile  $P=1.6101$  gün olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bileşenlerin evrim başlangıç dönme hızları baş ve yoldaş bileşenler için, sırasıyla,  $125 \text{ kms}^{-1}$  ve  $118 \text{ kms}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Hesaplanan

evrim başlangıç dönme hızı değerleri Cox (2000)'de verilen aynı kütledeki tek yıldızın dönme hızı değerlerine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, büyük bir ihtimalle, bileşenlerin anakol öncesi etkileşimlerinin olmasıdır (Ghez ve ark. 1997, Khaliullin ve Khaliullina 2011). Çift ve tek yıldız evrimlerini dikkate aldığımızda basıklığın, dönmenin ve diğer etkilerin varlığı, Şekil 5.1'den de görüldüğü üzere, bu etkilerin dikkate alınmadığı tek yıldız evrim modelleriyle karşılaştırıldığında önemli farklar göze çarpmaktadır. Özellikle sistemin ilerleyen evrim durumlarında yıldızlar hala ayırık olmalarına rağmen tek ve çift yıldız evrim yolları arasındaki farklılık açıkça ortaya çıkmaktadır. Her iki bileşenin sahip olduğu başlangıç dönme hızı değerleri, bunun yanında ikili yıldız etkileşimleri nedeniyle ortaya açılacak momentum değişimleriyle şekillenen çift yıldız yörünge dönemi değişimleri ve en sonunda değişen Roche geometrisi bu farklılıklara neden olmaktadır. Ayrıca bu sistemde eksen dönmesi gözlenmekte olup *O-C* analizleri sonucunda  $U = 89.6$  yıllık bir eksen dönmesi dönemine sahip olduğu bulunmuştur. Dönem analizi, veri yetersizliği nedeniyle kısa bir zaman aralığına sıkışmış sadece 16 minimum zamanıyla yapılabilmektedir. Bu nedenle eklenen her yeni minimum zamanının enberi boylamı değişme oranının duyarlı olarak bulunmasına katkı sunacağı öngörülmektedir.



Şekil 5.1. HD 350731 ayırık çift yıldız bileşenleri için tek ve çift yıldız (T.Y. ve Ç.Y.) evrim yolları ve bileşenlerin konumları.

KIC 6525196 ayırık çiftinin, *Kepler* gözlemleri yardımıyla, bileşenlerinin mutlak

parametrelerinin bulunması yanında, tutulma dışı ışık değişimi ilk kez detaylı çalışılmıştır. Hem bulundurduğu üçüncü bileşen hem de Güneş benzeri leke ve zonklama özellikleriyle oldukça dikkat çekicidir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde hemen hemen Güneş ikizi barındıran sistem ve üçüncü bileşene ait bazı temel özellikler analizler sonucunda ortaya çıkarılmış ve Helminiak ve ark. (2017) analiz bulgularıyla karşılaştırılmıştır. İkili sistemin bileşenlerine ilişkin yapılan analizlerde, Helminiak ve ark. (2017), baş ve yoldaş bileşenleri için, sırasıyla yaklaşık, 4.5 ile 7 Gyıl yaş değerlerini rapor etmişlerdir. Ancak, bu çalışmada, çift yıldız evrim modellerine göre, her iki bileşen yaşı da yaklaşık 4.5 Gyıl olarak, birbirini destekleyecek şekilde bulunmuştur. Yine ilk kez bu çalışmada gerçekleştirilen tayfsal ayrıştırma ve atmosfer modeli çalışmalarıyla bileşen yıldızların sıcaklıkları daha hassas belirlenmiş ve üçüncü bileşen için en olası tayf türü aralığı K0-K2V olarak verilmiştir. Bu tayf aralığı, Helminiak ve ark. (2017)'nin üçüncü bileşenin sıcaklığına ilişkin fotometrik yöntemle üretilen sonuç ile oldukça uyumlu görünmektedir. Ancak üçüncü bileşenin atmosfer modelinin duyarlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi ve sistemin daha detaylı çalışılabilmesi için zamana yayılmış daha yüksek çözünürlüklü ve yüksek  $S/G$  değerlerinde tayflara ihtiyaç duyulmaktadır. KIC 6525196 çift sisteminin oldukça değişken bir leke hareketliği ışık değişimlerinde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada ilk kez incelenen bu özelliğiyle her iki yıldız üzerinde yer alan lekelerin zaman içindeki evrimleri de incelenmiştir. Zonklama kaynaklı ışık değişimlerinin incelenmesi sonucunda, yapılan frekans analizleriyle 400 civarı farklı frekansın varlığı ilk kez bu çalışmada ortaya konmuştur. Ayrıca, sistemin çift yıldız evrim modelleriyle sıfır yaş başlangıç verilerine ilişkin öngörülerde bulunulmuş ve sistemin  $P_{baş} = 3.4405$ 'lik yörünge dönemiyle evrimine başladığı tahmin edilmiştir (bakınız Çizelge 4.28).

KIC 8043961, *Kepler* ışık eğrisinde tutulmalar dışı ışık değişimlerinin bulunduğu diğer bir ayırık çift sistemdir. Bu sistemin yapılan analizlerinde belirgin bir üçüncü bileşen ışık katkısı tespit edilmiştir. Ancak elimizdeki tayf verilerinin azlığı ve genişlemiş tayf çizgileri nedeniyle üçüncü bileşenin tayfsal özelliklerine ilişkin öngörülerde bulunulamamıştır. İkili sistem bileşenleri incelendiğinde, görece evrimleşmiş bir yıldız barındıran bu çift yıldız, evrim aşaması olarak Roche taşımlarının başladığı zaman ölçeğinin hemen ilerisinde oldukça yakın (ilk Roche taşıma süresi  $\sim 1.49$  Gyıl) evrim ve yaşlarda (1.51 Gyıl) çıkmaktadır. Bu durumun daha ayrıntılı ayrıştırılması için ilk kez bu çalışmada yapılan metal bolluğu analizlerinin yüksek çözünürlüklü tayflarıyla tekrar incelenmesi ve çift yıldız evrim modelleriyle karşılaştırmanın daha hassas yapılması gerekmektedir. Ayrıca, yapılan frekans analizlerinde leke dışındaki etkiler incelendiğinde, birçok düşük ve yüksek

frekans değerlerine sahip düşük genlikli zonklamalar ortaya çıkarılmıştır. Kısa pozlarla alınmış *Kepler* verileri üzerine yapılan frekans analizleri sonucunda olası bir  $\gamma$  Dor-  $\delta$  Scuti türü hibrit yapıda zonklayan yıldızın varlığı ve her iki bileşenin ayrı ayrı zonklama özellikleri gösterebileceği ( $T_1=6922$  K,  $T_2=6420$  K,  $\log g_1 = 4.11$ ,  $\log g_2= 3.79$ ) ortaya konmuştur.

V335 Ser, sisteminin bileşenlerinin mutlak parametreleri eldeki veriler ışığında oldukça yüksek duyarlılıkla elde edilen bir çift sistemdir. Her bir bileşenin kütlesi sırasıyla, 2.11 ve 1.90  $M_{\odot}$  ve herbir bileşenin yarıçapı, sırasıyla, 2.00 ve 1.72  $R_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır. Kütlelerdeki hatalar % 0.5 değerlerinde elde edilirken, yarıçap hataları baş ve yoldaş bileşen için sırasıyla, %4 ve %5 olarak hesaplanmıştır. Yıldızla ilişkin yüksek çözünürlüklü Elodie tayf verilerinin varlığı bileşenlerin oldukça hassas bir şekilde atmosfer yapılarını incelememize olanak sağlamıştır. Özellikle, bileşenlere ilişkin ayrı ayrı metal bollukları belirlenmiş ve bileşenler arasında 0.2 dex'lik bir bolluk farklılığı ön plana çıkmıştır. Ayrıca, bileşen sıcaklıklarındaki hatalar 100 K mertebelerinde elde edilmiştir. Lacy ve ark. (2012) tarafından baş bileşenin olası bir Am yıldızı olabileceği önerilmiş olup bu çalışmada ayrıştırılmış tayflar üzerinde yapılan model atmosfer analizlerinde de bu sonuç desteklenmiştir. Bu çalışmada, yapılan analizlerde, Hidrojen çizgilerinden elde edilen sıcaklık 9100 K civarında bulunurken, demir elementini Güneş bolluğuna göre en iyi temsil eden sıcaklık 8650 K civarında bulunmaktadır. Her iki bileşenin tayfları kıyaslandığında birbirlerine göre oldukça farklı yapıda oldukları ve bu durumun kaynağının baş bileşenin Am yıldızı olmasıyla açıklanabileceği ortaya konulmuştur. Elde edilen hassas parametreler yardımıyla sisteme ilişkin ilk kez detaylı çift yıldız evrim modelleri üretilmiş ve sistemin başlangıç özellikleri ve yörünge değişim özellikleri ortaya konmuştur. Özellikle yörünge basıklığının ve bileşen yıldızların dönme-dolanma eşleşme zaman ölçekleriyle birlikte kullanılması sistem yaş ve evrim durumunun daha duyarlı belirlenmesine katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada üretilen modeller ile dönme hızının, geri tayf türünden ön tayf türüne doğru  $10 \text{ ms}^{-1}$  den  $500 \text{ ms}^{-1}$  lik duyarlılıkla belirlenmesi durumunda dönme-dolanma eşleşmesinin dördüncü basamağına kadar hassas bir şekilde elde edilebileceği ve yörünge kilitlenmesi dolaylarında bile kontrol mekanizması olacağı gösterilmiştir. Ayrıca, çift yıldızın gösterdiği yörünge dönem değişimi literatürde ve bu çalışmada kullanılan verilerden elde edilen minimum zamanları yardımıyla incelenmiş ve eksen dönmesine ait özellikler ortaya konmuştur. Ancak, hem enberi boylamının değişim döneminin uzun olması hem de kısa zaman aralığında alınmış veri nedeniyle elde edilen sonuçların güvenilirliği oldukça düşüktür. Yörünge dönem değişimine ilişkin yapılan çalışmalarda Bozkurt (2011), Lacy ve

ark. (2012) ve bu çalışmada elde edilen değişim dönemleri, sırasıyla, 250, 880 ve 1700 yıl olarak hesaplanmıştır. Lacy ve ark. (2012)'nin da belirttiği gibi iç-yapı sabitinin kuramsal değeri bu çalışmada bulunan  $k_2_{gözlem} = -2.30$  değerine göre oldukça farklı çıkmaktadır ( $k_2_{kuram}=-2.45$ ). V335 Ser için yapılan analizlerde rölativistik katkı %32 olarak hesaplanmış olup oldukça büyük değeri dikkat çekicidir. Bu sonuçlar incelendiğinde her bir minimum zamanının bu sistemin eksen dönmesi doğasının anlaşılması için oldukça kritik olduğu açıkça görülmektedir. Ek olarak, ilk kez bu çalışmada sisteme ait çift yıldız evrim modelleriyle sistemin evrim başlangıç özelliklerine ilişkin öngörülerde bulunulmuştur ve  $P_{baş} = 3.45$  gün,  $e_{baş} = 0.141$  olarak tahmin edilmiştir. Ancak bu tür Am özellikleri gösteren yıldızlarda dönme-dolanma eşleşmesi ile yörünge basıklığı kıyaslamaları yaparken dikkatli olunmalıdır. İncelemelerde, Am özelliği göstermeyen bileşenin dönme hızı ön planda tutulması daha tutarlı sonuçların elde edilmesinde önemlidir. (bakınız Çizelge 4.28).

V397 Cep çift yıldızının ilk kez bu çalışmada tayfları incelenmiş, bileşenlerin dikine hızları ölçülmüş ve ışık eğrileriyle eş zamanlı çözümleri gerçekleştirilmiştir. Çift yıldız bileşenine ait atmosfer özellikleri incelenerek temel astrofizik parametreler duyarlı bir şekilde belirlenmiştir. Baş ve yoldaş bileşenin kütleleri sırasıyla, 1.93 ve 1.90  $M_{\odot}$  olarak elde edilmiştir. Kütledeki duyarlılıklar ise sırasıyla, %1.5 ve %2.5 bulunmuştur. Baş ve yoldaş bileşenin yarıçapları ise, sırasıyla, 1.98 ve 1.90  $R_{\odot}$  olarak hesaplanmıştır. Yarıçaptaki duyarlılık ise her iki bileşen için de % 1 dolaylarında elde edilmiştir. Belirlenen parametrelerden yararlanılarak ilk kez çift yıldız evrim modelleri üretilmiş ve başlangıç özellikleri ortaya konmuştur. Çift sistemin başlangıç yörünge basıklığı  $e_{baş}=0.153$  olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, bileşenlerin evrim başlangıç dönme hızları sırasıyla  $V_{1baş}= 67 \text{ kms}^{-1}$ ,  $V_{2baş}= 62 \text{ kms}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Sistemin fotometrik ve tayfsal verilerinin eş zamanlı çözümü, Bulut ve ark. (2005)'nin yapmış olduğu ışık eğrisi çözümüyle kıyaslandığında çift yıldızın fotometrik kütle oranıyla bu çalışmada hesaplanan tayfsal kütle oranının iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Sisteme ilişkin yapılan O-C çalışmasında da yeni eklenen minimum zamanlarıyla çözümler güncellenmiş ve Bulut (2009)'un bulduğu sonuçlar üzerinde iyileştirmeye gidilerek  $k_2_{gözlem} = -2.45$  olarak ilk kez belirlenebilmiştir. O-C diyagramı incelendiğinde her iki minimum türünden elde edilen değişimin kesim noktasına oldukça yaklaşıldığı ve eklenen yeni minimum zamanlarıyla eksen dönmesi parametreleri daha hassas bir şekilde belirlendiği söylenebilir.

V1385 Ori ayrık çift yıldızının, TUG'da elde edilen yüksek çözünürlüklü tayfları sayesinde, yörünge parametreleri elde edilmiş ve ASAS ışık eğrisi kullanılarak eş zamanlı çözümleri yapılmıştır. Çözümler sonucunda toplam ışığa katkısının yaklaşık % 30 civarında



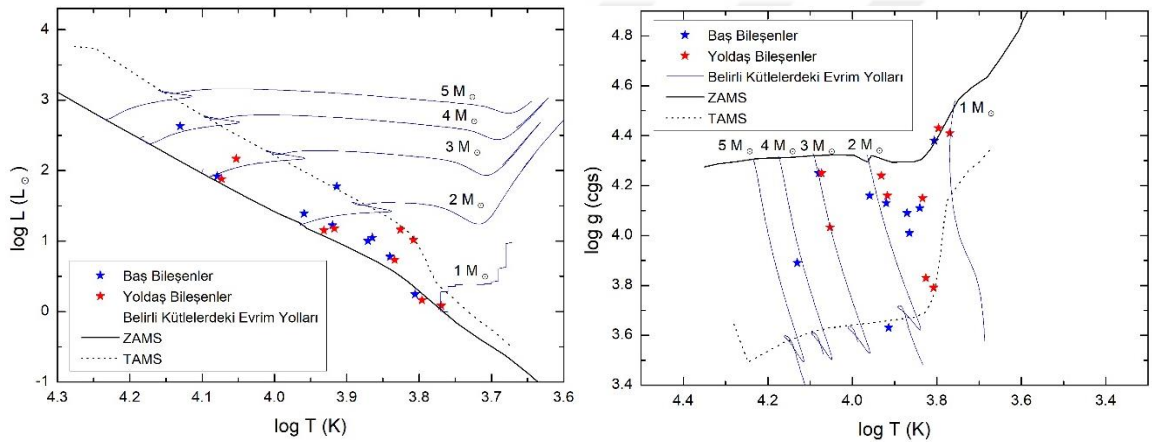
olduğu tahmin edilen, bir üçüncü cismin ışık katkısı bulunmuştur; ancak tez çalışmasında ışık eğrisi saçılmaları ve tayfta her hangi bir etkinin gözlenmemesi nedeniyle üçüncü cisim etkisi dikkate alınmamıştır. Üçüncü cisme ilişkin bulguların denetlenebilmesi için hassas ve farklı dalga boylarında fotometrik gözlemlere ve yüksek çözümleme gücünde zamana yayılmış tayf verilerine ihtiyaç vardır. Yapılan analizler sonucunda bileşenlerin evrim durumları incelendiğinde özellikle baş bileşenin anakoldan ayrılma sınırına oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (bakınız Şekil 4.48). Bu sistem için bulunan yaş değeri 0.79 Gyl iken, baş bileşenin olası anakolda kalma süresi 0.82 Gyl dolaylarındadır.

HIP 25284 çift yıldızı da TUG’da tayf gözlemleri yapılan diğer bir ayrıık dizgedir. Ancak bu sistemin de duyarlı bir ışık eğrisi bulunmamaktadır ve sadece *Hipparcos* verisi kullanılarak çözümler üretilmiştir. Dolayısıyla astrofizik parametrelerin daha hassas elde edilmesi ve tayfsal ayrıştırmanın iyi bir şekilde yapılabilmesi için farklı dalga boylarında fotometrik gözlemlere ihtiyaç vardır. Bulgular incelendiğinde ise bu sistem oldukça yüksek doldurma oranına ( $f_1 = \%93$ ,  $f_2 = \%85$ ) sahiptir ve baş bileşen anakol evriminin son aşamalarına yaklaşmıştır. Üretilen çift yıldız evrim modellerinde sistemin yaşının yaklaşık 70 Myıl olduğu bulunmuştur. Büyük kütleli bileşenin yaklaşık anakolda kalma süresi 90 Myıl civarındadır ve anakolda kalma süresinin  $\%80$ ’ini tamamlamış görünmektedir.

Sadece *Kepler* fotometrik verisi bulunan KIC 3327980 ve KIC 10156064’nın literatürde ilk kez ışık eğrileri çözülmüş ve çift yıldız bileşenlerinin temel astrofizik parametreleri tahmin edilmiştir. Her iki sistem de duyarlı ışık eğrisiyle parametre hassasiyetinin ne ölçüde bulunabileceğinin anlaşılması açısından iyi birer örnektir. KIC 3327980 ve KIC 10156064 yıldızlarına ilişkin üretilen çift yıldız evrim modelleri incelendiğinde sistemler için en olası yaşlar, sırasıyla, 0.92 ve 0.75 Gyl olarak bulunmuştur. Her iki sisteme ilişkin daha detaylı çözümler ve bulunan parametrelerin hassasiyetinin artırılması için tayfsal veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

Tez çalışması kapsamında seçilen dokuz çift yıldızın veri analizleri sonucunda hesaplanan temel parametreler kullanılarak sistemlerin bileşenlerinin  $\log L - \log T$  ve  $\log g - \log T$  diyagramlarındaki dağılımları Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Seçilen çift yıldız bileşenlerinin kütle aralığı 1 ile 5  $M_\odot$  ve yarıçap aralığı ise 1 ve 4  $R_\odot$  aralığındaki bölgeyi kapsamaktadır. Şekil incelendiğinde, seçilen ayrıık çift yıldızların hepsinin anakol bandı içerisinde kaldığı açıkça görülmektedir. Şekil 5.2’deki ZAMS ve TAMS sınır çizgileri Güneş bolluğu için çizilmiştir bu nedenle bazı bileşenler ZAMS sınırının çok az altında gözlenebilmektedir. Her iki diyagramdaki dağılım incelendiğinde, her bir bileşenin anakol bandı içerisinde yer almasına rağmen bazıları evriminin başlangıcında bazıları ise açıkça

anakol evriminin sonuna yaklaşmıştır. Bu durum ise seçilen yıldızların ayrık çift yıldızlar içerisinde de farklı evrim ile Roche geometrisi ve doldurma oranına sahip olmaları, onların çift yıldız evriminde evrimsel durumun etkisinin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Diyagramlardaki dağılımlar incelendiğinde, özellikle V1385 Ori ve KIC 8043961 çiftlerinin bileşenlerinin TAMS'ın hemen yakınında yer aldığı açıkça görülmektedir. Özellikle, KIC 8043961 sisteminin büyük kütleli bileşeni anakol evriminin sonuna yaklaşmaktadır ve çift yıldız evrim açısından ise Roche taşıma başlangıcının sınırının hemen yakınında ( $f \sim \%90$ ) görülmektedir. Bu durumun daha detaylı incelenebilmesi için bu çift yıldızın üçüncü bileşeninin de ayrıştırılıp bileşenlerin daha duyarlı mutlak parametrelerinin elde edilebileceği yüksek çözünürlüklü tayflara ihtiyaç duyulmaktadır.

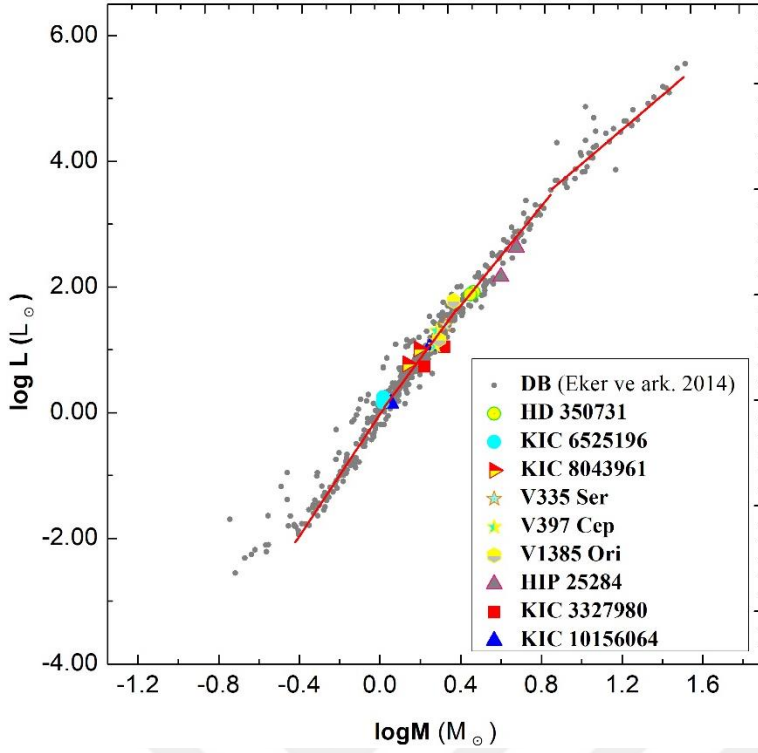


Şekil 5.2. Tez çalışması kapsamında salt parametresi hesaplanan tüm ayrık çift yıldız bileşenlerinin,  $\log L - \log T$  ve  $\log g - \log T$  diyagramındaki konumları. Düz çizgi ZAMS, kesikli çizgi ise TAMS sınırını temsil etmektedir.

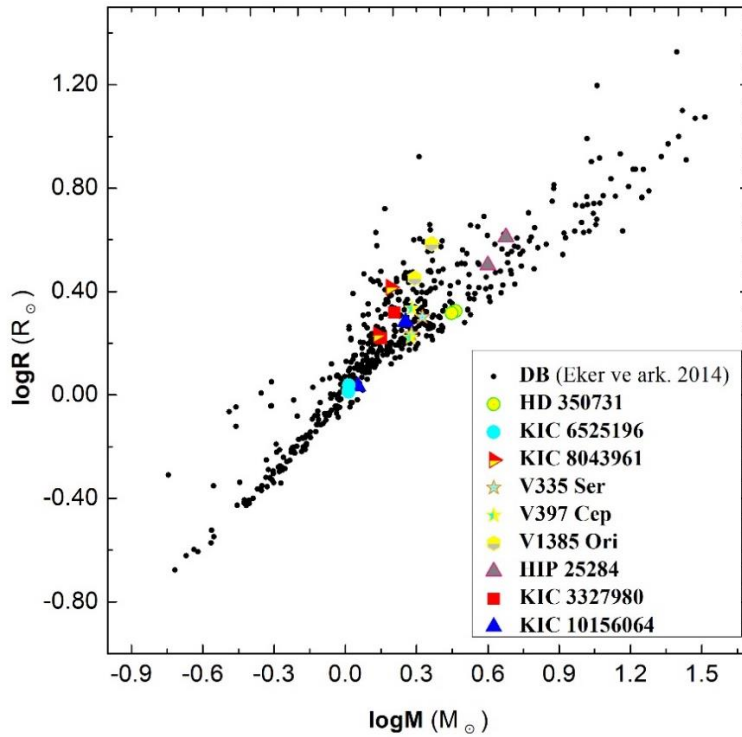
Ayrıca bu çalışmada, *Gaia* ve *Hipparcos* trigonometrik verisi bulunan temel parametreleri yüksek duyarlılıkla belirlenmiş çift yıldızların fotometrik uzaklıkları hesaplanmış ve belirtilen uzaklıklarla dağılım ve uyumları incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında analizleri yapılan çiftlerin fotometrik uzaklıkları genel olarak *Hipparcos* ve *Gaia* uzaklıklarıyla uyumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, KIC 8043961 üçlü sistemi, *Gaia* veri tabanında verilen uzaklık ile uyumsuz gözükmemektedir. Bu uyumsuzluğun en muhtemel nedeni *Gaia* analizlerinde daha önce de ortaya çıkmış olan ard alan yıldızlarıyla karışıklık olabilir. Bu durumun anlaşılması için *Gaia*'nın ileride yapacağı güncelleme takip etmek gerekmektedir. Seçilen tüm yıldızlar üzerinden ortaya çıkan sonuçları irdelersek, 120 pc'e kadar olan uzaklıklarda tüm uzaklık yöntemleri iyi bir uyum gösterirken 120 pc üzerindeki

uzaklıklarda ise özellikle sönük cisimler için, *Hipparcos* ile diğer uzaklıkların uyumu azalmaktadır. 300 pc ve üzeri uzaklık değerlerinde ise *Gaia* veya fotometrik yolla hesaplanan uzaklıkların daha güvenilir olduğu görülmüştür. Ayrıca, bu incelemenin gösterdiği diğer bir sonuç ise, iyi belirlenmiş mutlak parametreler ile üretilen fotometrik uzaklıkların oldukça duyarlı olduğu ve iyi bir denetleme mekanizması oluşturduğudur. Yıldızların gökadamadaki dağılımları ve istatistiksel çalışmalarında burada ortaya konan sonuçların dikkate alınması, üretilecek çalışmaların hassasiyetin artması açısından önemlidir. Ayrıca, *Gaia* ve fotometrik uzaklıklar arasındaki farkların önümüzdeki günlerde yeniden düzenlenecek olan *Gaia* verileri ile azalması ve kıyaslanan sistem sayısında da büyük artış olması beklenmektedir.

Bu çalışmada elde edilen mutlak parametreler ile Eker ve ark. (2014)'nin çalışmasında verilen ayrık çift yıldız bileşenleriyle kütle-ışıtma ( $M-L$ ) dağılımları kıyaslanmıştır. Çalışılan çift yıldızlar ile literatürden toplanan sistemlerin  $M-L$  ve kütle-yarıçap ( $M-R$ ) dağılımları Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmektedir. Ayrıca, Eker ve ark. (2015)'nin yapmış olduğu çalışmada  $M-L$  dağılımları anakol için çok küçük kütlelerden büyük kütlelere doğru dört farklı parçaya bölünerek incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda elde edilen  $M-L$  denklemleri bu çalışmada mutlak parametreleri elde edilen çift sistem bileşenleri için kullanılarak hesaplanan sonuçlar ve gözlemsel ışııtma değerleri ile kıyaslaması Çizelge 5.1'de verilmektedir. Sonuçlar kıyaslandığında Eker ve ark. (2015)'nin belirttikleri hata sınırları içerisinde iyi bir uyum gözlenmektedir. Ancak, KIC 6525196 sistemi için iki yolla belirlenen ışııtma arasında oldukça büyük farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Bunun nedeninin anlaşılması KIC 6525196 sisteminin, Eker ve ark. (2015)'nin vermiş olduğu  $1.05 M_{\odot}$ 'lik kütle kırılma sınırına yakın olması açısından da oldukça önemlidir. Elimizdeki veriler ışığında günümüzdeki en olası açıklamalar, bileşenlerin Güneş'e göre metalce fakir olması, bileşenlerin aktivite yapısının varlığıyla ortaya çıkan sıcaklık ve yarıçap farklılıklarıyla verilebilir. Bileşenlerin  $M-R$  deki dağılımları incelendiğinde ise genel olarak küçük ve orta kütle aralığında yer alan seçilen yıldızlar, farklı kompozisyonlarda kimyasal yapılara sahip olmalarına rağmen, tüm veri dağılımı bandı içerisinde yerini almış durumdadır. Bu durum Güneş eşleniğindeki dağılımın çok fazla sapmadığının da bir göstergesi olarak belirtilebilir. Bu dağılımdan da görüldüğü üzere seçilen bileşenler anakol civarında hemen hemen her evrim aşamasında bulunmaktadır.



Şekil 5.3. Eker ve ark. (2014)'dan alınan ayırık çift yıldız bileşenleri (DB) ile birlikte bu çalışmada seçilen ayırık çift yıldızların  $M-L$  diyagramındaki dağılımı. Kırmızı kırıklı çizgi Eker ve ark. (2015)'nin dört kütle aralığı için vermiş olduğu kuramsal temsili göstermektedir.



Şekil 5.4. Eker ve ark. (2014)'dan alınan ayırık çift yıldız bileşenleri (DB) ile birlikte bu çalışmada seçilen çift yıldızların  $M-R$  diyagramındaki dağılımı.

Çizelge 5.1. Mutlak parametreleri belirlenen ayırık çift yıldız bileşenlerinin ışıtmalarıyla Eker ve ark. (2015)'nin verdiği  $M-L$  ilişkilerinden hesaplanan ışıtmalar ve farkları.

Sistem Adı	$\log g_1$ (cgs)	$\log g_2$ (cgs)	$L_{1gözlem}$ ( $L_{\odot}$ )	$L_{2gözlem}$ ( $L_{\odot}$ )	$L_{1Eker+2015}$ ( $L_{\odot}$ )	$L_{2Eker+2015}$ ( $L_{\odot}$ )	$\Delta L_1$ ( $L_{\odot}$ )	$\Delta L_2$ ( $L_{\odot}$ )
<b>HD 350731</b>	4,25	4,25	1,92	1,88	2,01	1,93	-0,04	-0,01
<b>KIC 6525196</b>	4,38	4,43	0,25	0,16	0,04	-0,09	0,21	0,25
<b>KIC 8043961</b>	4,11	3,79	0,78	1,02	0,59	0,82	0,19	0,20
<b>V335 Ser</b>	4,16	4,24	1,39	1,15	1,40	1,20	-0,01	-0,05
<b>V397 Cep</b>	4,13	4,16	1,23	1,18	1,23	1,20	-0,00	-0,02
<b>V1385 Ori</b>	3,63	3,83	1,78	1,16	1,57	1,26	0,21	-0,10
<b>HIP 25284</b>	3,89	4,03	2,63	2,17	2,73	2,59	-0,17	-0,33
<b>KIC 3327980</b>	4,01	4,15	1,05	0,73	0,89	0,66	0,16	0,07
<b>KIC 10156064</b>	4,09	4,41	1,00	0,08	0,96	0,08	0,04	-0,01

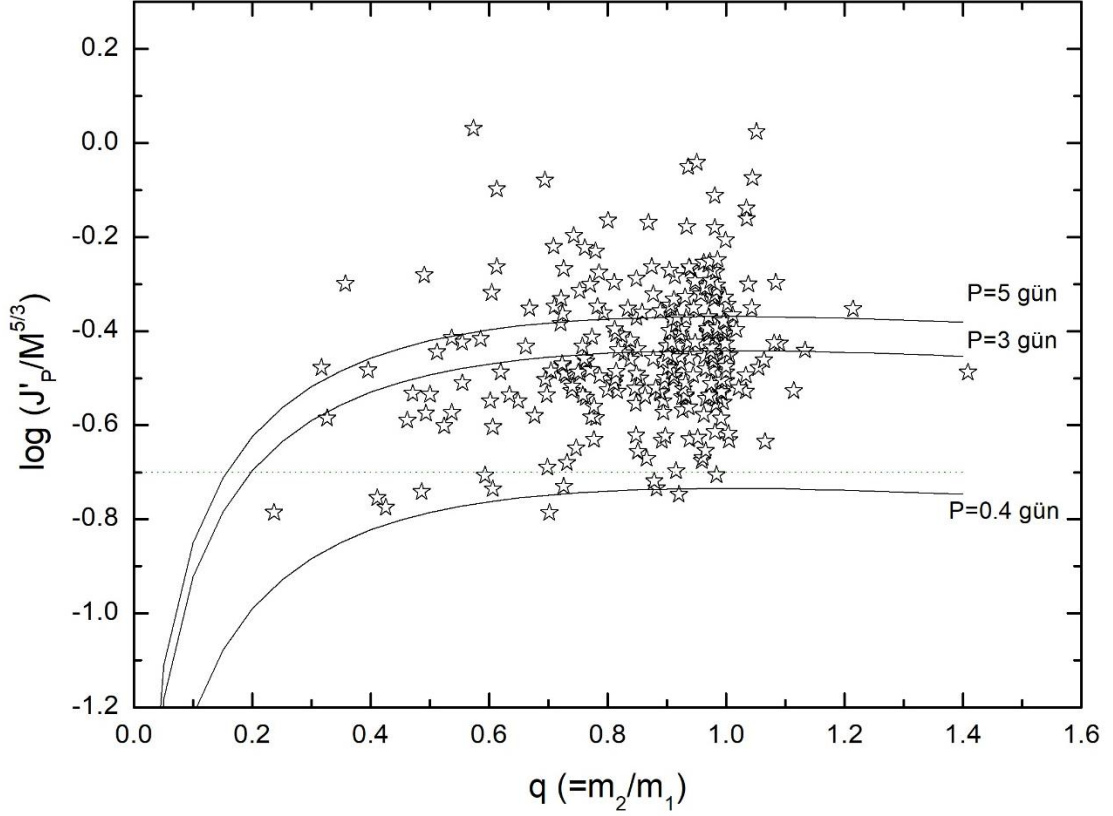
Bu çalışmada, çalışılan sistemlerin evrim durumları, literatürde son yıllarda kullanılmaya başlanılan, çift yıldız evrim modelleri üzerinden de incelenmiştir. Üretilen çift yıldız evrim modelleri göstermiştir ki çiftlik etkileri dikkate alındığı bazı durumlarda (örneğin, hızlı dönme yapısı, manyetik etkinlik ve farklı basıklık değerleri) Şekil 5.1'deki evrim yolları, tek yıldızlar için üretilenlerden farklar göstermektedir. Özellikle yaş, sıcaklık ve ışıtmalarda, tek ve çift yıldız evrim modellerinde dikkate alınması gereken ayrışmalar ortaya çıkmaktadır. Bu durum, her ne kadar bileşenler arası etkileşim az olsa da ayırık çift yıldızlarda bile çift yıldız evrim modellerinin önemini ortaya koymaktadır. Yakut ve ark. (2008)'nin rölativistik bileşenli çiftlerde ortaya koyduğu sonuçlara benzer şekilde, modeller, yörünge açısal momentum evrimi açısından incelendiğinde, özellikle geri tayf türü aktif yıldızlarda manyetik frenleme mekanizması, dönme-yörünge eşleşmesiyle birlikte en büyük katkıyı yapmaktadır. Seçilen yıldızlardan dönme hızları hesaplanan bileşenlerin modeller yardımıyla elde edilen başlangıç dönme hızları incelendiğinde genel olarak tek yıldızlara göre evrimleri daha yavaş dönme hızlarından başladığı görülmektedir. Bu durumun en olası nedeni, ortak bir anakol öncesi etkileşimli evrim geçirmelerinden kaynaklandığı yönündedir. Bu tür sistemlerin sayıları artırılarak çift yıldızların anakol öncesi evrimi için önemli bir istatistiksel kaynak oluşturulmalıdır. Ayrıca, yörünge basıklık etkisiyle daha kısa zaman sürelerinde ortaya çıkan kütle aktarımları ve basıklığın tamamen sıfırlanamayacağı başlangıç  $e$  değerlerinin varlığı son zamanlarda gözlenen olası eksen dönmesi gösteren yakın çift sistemlerin doğasının anlaşılmasında çift yıldız evrim modellerinin önemini ön plana

çıkacaktır. Çalışma kapsamında tüm ayırık çift yıldız ortalamalarından elde edilen başlangıç parametreleriyle üretilen modellerden ulaşılan bazı sonuçlar incelenecek olursa; başlangıç yörünge döneminin bir çift yıldızın ne kadar sürede etkileşen duruma geçeceğini belirleyen en önemli parametrelerden biri olduğu söylenebilir. Ayırık çift yıldız ortalama değerleri üzerinden bakıldığında başlangıç yörünge dönemi üç güne kadar olan ayırık çiftlerin büyük bir bölümü anakol evrimlerini tamamlayamadan çok kısa yörünge dönemlerine evrilerek, Roche aşırılarıyla etkileşmeye başlamakta ve evrimleri tamamen değişmektedir. Yörünge basınlığı incelendiğinde ise, dairesel yörünge başlangıcından,  $e_{baş}=0.45$  olana kadar ilk Roche taşımaları zamanında büyük bir değişiklik olmazken, yörünge dönemlerin de fazladan 0.8 günlük bir azalma meydana gelmektedir.  $e_{baş}=0.47$ ' den daha büyük değerler ise çiftin birkaç yüz milyon yıl gibi çok kısa bir sürelerde yarı-ayırık veya degen duruma gelmesine sebep olmaktadır. Dönemin yörünge evrimindeki etkisi, ortalama, zaman ölçeğinde %3-4, yörünge dönemi değişiminde ise %7 civarında olduğu hesaplanmıştır. Çift yıldızların yörünge evriminde en önemli etkilerden biri olan manyetik frenleme ise bileşen kütesine göre ilk Roche taşımaları zamanı dönemlerinde %60'a kadar değişimlere sebep olduğu gösterilmiştir. Evrim modellerinden elde edilen sonuçlar ışığında özellikle çift yıldız evrim modelleri elimizdeki gözlemsel sonuçlarla birleştirilerek kullanıldığında çok daha hassas evrim kıyaslamaları yapılacağı açıkça görülmektedir. Özellikle manyetik frenlemenin ve büyük yörünge başlangıç basınlığının, kısa dönemli degen çiftlerin oluşumunda başat bir rolü olduğu söylenebilir.

Çift yıldız evriminde önemli parametrelerden biri de yörünge açısal momentumu olup özellikle etkileşen yakın çift sistemler üzerine bu konuda önemli araştırmalar yayınlanmıştır (örneğin; Stepien 1995, Keppens ve ark. 2000, Eker ve ark. 2006). Özellikle W UMa türü çift yıldızların büyük bir çoğunluğunun yörünge açısal momentum kayıplarıyla oluştuğu düşünülmektedir (Ruciński 1982, Değirmenci ve ark. 1999, Demircan ve ark. 2006). Açısal momentum hesaplamaları degen sistemlerin oluşumundan, nötron yıldızı, karedelik gibi bileşenler içeren sıkışık çiftlerin evrimine ve oluşumuna kadar oldukça geniş bir çalışma alanına sahiptir. Bu nedenle, tez çalışmasında, ayırık çift yıldızlardaki yörünge açısal momentum dağılımları da farklı parametrelerle (toplam kütle, yörünge dönemi ve yüzey çekim ivmesi) birlikte incelenmiştir. Artan sistem sayısına rağmen, tüm dizgeler üzerinden elde edilen yörünge açısal momentumu ve toplam kütle arasındaki ilişki, İbanoğlu ve ark. (2006)'nın elde ettiği gözlemsel ilişki ile uyumlu çıkmıştır (Bu çalışmada;  $J \propto M^{1.74(2)}$ , İbanoğlu ve ark. (2006) çalışmasında;  $J \propto M^{1.73(4)}$ ). Şekil 5.5'de görüldüğü gibi farklı kütle oranına ve yörünge dönemine sahip ayırık çift yıldızların sayı ve dağılımının artmasıyla

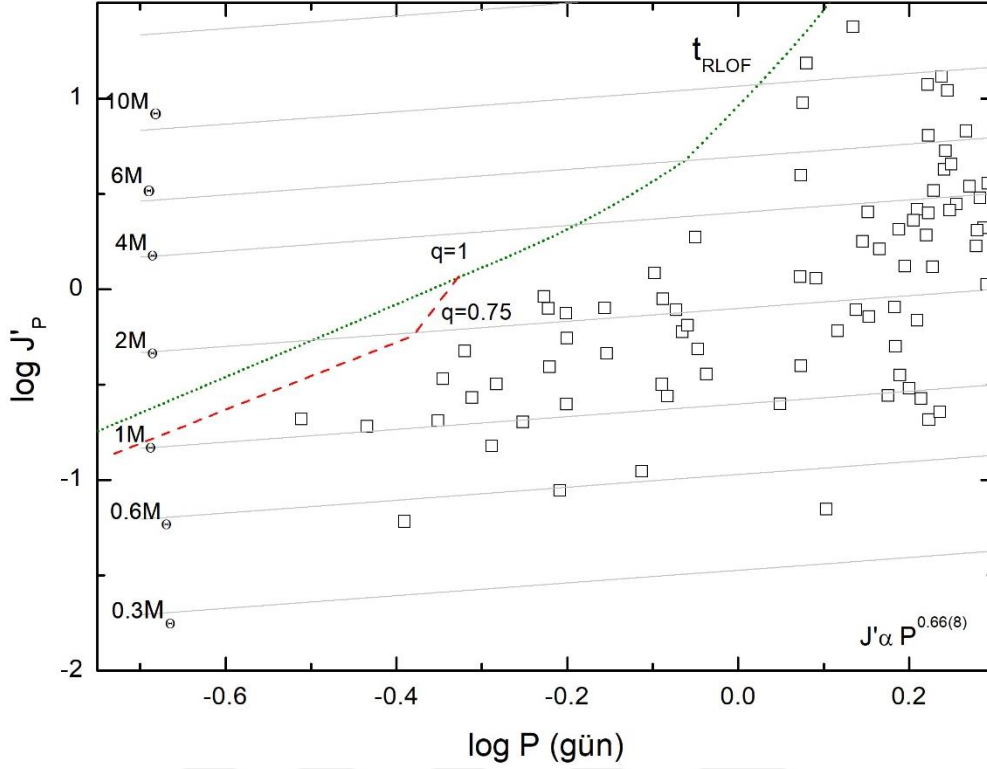
İbanoğlu ve ark. (2006)'nın farklı türden çift yıldızların, kütle oranına karşılık, kütle normalize yörünge açısal momentum değerlerinde gözlenen ayrışmalar iç içe girmeye başlamıştır. İncelemelerde, doldurma oranıyla  $J$ - $M$  ilişkisi arasında herhangi bir bağıllık bulunamazken manyetik aktivitenin etkileri, açısal momentum dağılımlarında, kendisini açıkça göstermektedir. Bu bağlamda, kuramsal olarak beklenen eğimden gözlemsel sonuçlarla elde edilen eğimin farklı olması burada daha açık bir şekilde gözlenmektedir. Sadece, bileşenleri  $1.5 M_{\odot}$ 'ten küçük kütlelere sahip ayrık aktif çift yıldızların gözlemsel ( $J\alpha M^{1.98(5)}$ ),  $J$ - $M$  dağılımıyla kuramsal olarak beklenen dağılımın eğimleri arasında %19'luk dikkate değer bir fark ortaya çıkmaktadır. Bu ayrışma manyetik aktivitenin yörünge açısal momentum dağılımında yatsınamaz bir yeri olduğunun açık bir göstergesidir. Çekim ivmesiyle yörünge açısal momentum dağılımları incelendiğinde ise, kütlesi  $1.5 M_{\odot}$ 'ten büyük bileşen içeren sistemlerde herhangi bir anlamlı dağılım gözlenmezken, kütlesi  $1.5 M_{\odot}$ 'ten küçük bileşen içeren sistemler ters orantılı bir dağılım göstermektedir. Ulaşılan bu durum manyetik aktivite-yarıçap etkileşmesinin bir göstergesi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bölgedeki hassas verilerin artmasıyla elde edilecek bağıntılar özellikle geri tür aktif bileşenli çift yıldızlarda ortaya çıkan yarıçap uyumsuzlukları gibi konulara yeni bir bakış açısı getirecektir. Ayrıca  $J$  ile  $P$  arasındaki dağılım incelendiğinde, 3.18 eşitliği ve gözlenen parametre aralıkları dikkate alındığında, beklenen dağılımdan farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durum, verinin büyük çoğunluğu için seçim etkisi ile açıklanabilirken küçülen dönemler ile oluşan sınırın (Şekil 4.74) sadece seçim etkisiyle açıklanması mümkün değildir. Önceki bölümde oluşturulan Şekil 4.74'teki sınır çizgisi yakınındaki bölümünü inceleyecek olursak (Şekil 5.6); sınır bölgesi civarı, büyük kütleli bileşen içeren sistemler için hızlı evrimleşme ve sınırdan kısa sürede ayrılma, büyük kütleli ve kısa dönem bölgelerindeki boşluğu açıklayabilir. Ancak, aktivite etkisinin kendisini gösterdiği bölgedeki sınır ve bu sınır arasındaki boşluğu, zaman ölçekleri düşünüldüğünde, sadece nükleer evrim ile açıklamak mümkün değildir. Şekil 5.6'da yeşil noktalı çizgiyle gösterilen bu sınır, olası en kısa yörünge dönemlerine ulaşılması amacıyla  $q=1$  durumu için hesaplanmıştır. Hesaplamalar kuramsal olarak üretilen evrim modellerinden elde edilmiştir. Küçük kütleli bileşenlere sahip sistemlerin yer aldığı bölgede görülen sınır yakınında sistem içermeyen alan (Şekil 5.6'da kısa dönemli ve küçük kütleli yıldızlar içeren bölge), oluşturulan evrim modelleri dikkate alınıp aktivite özellikleriyle birlikte düşünüldüğünde, manyetik frenlemeyle değişen yörünge dönemi ve beklenenden daha hızlı bir şekilde birleşenlerin Roche yüzeylerini doldurmaları ve ayrık durumdan ayrılmaları ile açıklanabilmektedir. Ayrıca şekilde bu kütle aralığındaki farklı kütle oranlarıyla da incelemeler de bulunulmuştur. Değişen kütle oranıyla

birlikte bu sınırın daha büyük zaman ölçeklerinde oluşabileceği açıkça görülmüştür. Bu durumun yörünge evriminin ilerleyen safhaları için Eker ve ark. (2006) tarafından belirlenmiş olan değme sınırının farklı bakış açısıyla kanıtlanması ve değmeye ulaşma zaman ölçeklerinin belirlenmesi açısından oldukça önemli bir yeri olacaktır. Bu durum da açısal momentum kayıplarının dikkate alınarak üretilen çift ve üçlü yıldız evrim modellerinin önemini göstermektedir.



Şekil 5.5. Ayrık çift yıldızların kütleyle göre normalize edilmiş açısal momentumlarıyla kütle oranı dağılımı. Sürekli siyah çizgiler, sabit bir yörünge dönemi boyunca normalize açısal momentumun kütle oranıyla değişimini göstermektedir. Yeşil noktalı çizgi ise değen çift sistemlerin ortalama dağılımını vermektedir.





Şekil 5.6. Bünyesinde geri tayf türünden olası aktif bileşen barındıran çift sistemlere ilişkin oluşturulan  $\log J'_P - \log P$  düzleminde, farklı kütle oranıyla (kırmızı kesikli çizgi  $q=0.75$  ve yeşil kesikli çizgi  $q=1$ ) çizdirilmiş kuramsal  $t_{RLOF}$  ölçekleri. Gri sürekli çizgiler, eş kütleleri temsil etmektedir.

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi çift ve çoklu sistemlerin duyarlı temel parametreleri, galaksi yapısı ve yıldız astrofiziği açısından anahtar rol oynamaktadır. Dolayısıyla artan duyarlı gözlem imkanlarıyla çift yıldızlara ilişkin çift ve hatta çoklu yıldız evrim modellerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir ve çift yıldız evriminin anlaşılması için iyi bir fırsat sunmaktadır. Modellerin geliştirilebilmesi açısından özellikle sistemlerdeki yıldız bileşenlerinin ayrı ayrı incelenmesi ilerleyen zamanlarda daha da önemli hale gelecektir. Bileşenlerin tayflarının daha duyarlı ayrıştırılması, daha duyarlı dönme hızları, sıcaklıklar ve ağır element bolluk bilgileri yıldızların ilk oluşum dönemlerine ilişkin çok önemli bulgulara ulaşmamızda başat bir rol oynayacaktır. Ayrıca artan gözlem imkanları ve önümüzdeki yıllarda artacak olan *Gaia* gibi hassas uydu verileri, çift yıldızların yapı ve evrimleriyle farklı çift yıldız türleri arasındaki olası evrimsel geçişler konusunda çok önemli bulguların ortaya çıkarılmasına ve yıldızlar ile Gökadamızın doğasının daha iyi anlaşılmasına hizmet edecektir.

## KAYNAKLAR

- Alvarez R., Plez B., 1998. Near-infrared Narrow-band Photometry of M-giant and Mira stars: Models Meet Observations. *Astronomy and Astrophysics*, 330, 1109-1119.
- Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B., Reipurth B., 1981. Four-Colour Photometry of Eclipsing Binaries - Part Thirteen-B - Lightcurves of Ty-Pyxidis. *Astronomy and Astrophysics Supplement* 43, 141 – 146.
- Andersen J., Clausen J. V., Nordstrom B., 1983. Possibilities and Limitations of Precise Binary Data in Discussions of Single Star Evolution. *Les Etoiles Binaires Dans le Diagramme H.R. Comptes Rendus Sur les Journees de Strasbourg, 5eme Reunion, Strasbourg, France*, 151.
- Anderson L. S., 1985. Line Blanketing without Local Thermodynamic Equilibrium. I - A Hydrostatic Stellar Atmosphere with Hydrogen, Helium, and Carbon Lines. *Astrophysical Journal*, 298, 848 – 858.
- Applegate J. H., 1992. A Mechanism for Orbital Period Modulation in Close Binaries. *Astrophysical Journal*, 385, 621 – 629.
- Auer L. H., Mihalas D., 1969. Non-LTE Model Atmospheres. *Proceedings of the 3rd Harvard-Smithsonian Conference on Stellar Atmospheres, Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology (MIT), 1969, edited by Gingerich*, 229 – 231.
- Baginska P., Dimitrov W., Kaminska M. K., Kaminski K., 2016. Modelling and Analysis of Eclipsing Binary V1385 Ori. 37th Meeting of the Polish Astronomical Society, held 7-10 September, 2015 at Adam Mickiewicz University in Poznań, Poland. *Proceedings of the Polish Astronomical Society*, 3, 51 – 54.
- Bagnuolo W. G., Gies D. R., 1991. Tomographic Separation of Composite Spectra of O-Type Stars. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 23, 1378.
- Bastian U., Born E., 1997. The Variability Type and Period of HD 143213. *Information Bulletin on Variable Stars*, 4536, 1.
- Bastian U., Born E., 1998. Precise Lightcurve Elements for HD 143213. *Information Bulletin on Variable Stars*, 4590, 1.
- Blanco C. S., Soubiran C., Heiter U., Jofre P., 2014. Determining Stellar Atmospheric

- Parameters and Chemical Abundances of FGK Stars with iSpec. *Astronomy and Astrophysics*, 569, 111.
- Bonifacio P., Caffau E., Ludwig H.-G., 2009. Effects of Granulation on Neutral Copper Resonance Lines in Metal-poor Stars. *Memorie della Società Astronomica Italiana*, 80, 739 – 743.
- Bonifacio P., Caffau E., Ludwig H.-G., Steffen M., 2012. LTE Model Atmospheres: MARCS, ATLAS and CO5BOLD. From Interacting Binaries to Exoplanets: Essential Modeling Tools, *Proceedings of the International Astronomical Union*. Edited by M. T. Richards and I. Hubeny, IAU Symposium, 282, 213 – 220.
- Borkovits T., Érdi B., Forgács-Dajka E., Kovács T., 2003. On the Detectability of Long Period Perturbations in Close Hierarchical Triple Stellar Systems. *Astronomy and Astrophysics* 398, 1091 – 1102.
- Borkovits T., Rappaport S., Hajdu T., 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, 946-993.
- Bozkurt Z., 2011. The First Spectroscopic and Photometric Solutions of the Eclipsing Binary, V335 Ser. *New Astronomy*, 16, 412.
- Bertelli G., Girardi L., Marigo P., Nasi E., 2008. Scaled solar tracks and isochrones in a large region of the Z-Y plane. I. From the ZAMS to the TP-AGB end for 0.15-2.5  $M_{\odot}$  stars. *Astronomy and Astrophysics*, 484, 815 – 830.
- Breger M., Stich J., Garrido R., Martin B., Jiang S. Y., Li Z. P., Hube D. P., Ostermann W., Paparo M., Scheck M., 1993. Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Bu-Cancri in the Praesepe Cluster. *Astronomy and Astrophysics* 271, 482 – 486.
- Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S., Nanni A., 2012. PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427, 127 – 145.
- Bulut İ., Demircan O., ve diğer 12 yazar., 2001. The First Ground-based Photometric Observations of V397 Cephei. *IBVS*, 5129.
- Bulut İ., Demircan O., Budding E., ve diğer 8 yazar., 2005, Photometric Study of the Binary

- System V397 Cephei, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 57, 335-339.
- Bulut İ., 2009. Apsidal motion elements of three eccentric eclipsing binaries: V397 Cep, V493 Car and BW Aqr., *New Astronomy*, 14, 604-606
- Carroll B. W., Ostlie D. A., 2017. *An Introduction to Modern Astrophysics* (2nd ed.). Cambridge University Press. 656-658
- Castelli F., Kurucz R. L., 2003. New Grids of ATLAS9 Model Atmospheres. *Modelling of Stellar Atmospheres, Poster Contributions. Proceedings of the 210th Symposium of the International Astronomical Union held at Uppsala University, Uppsala, Sweden.* Edited by N. Piskunov, W.W. Weiss, and D.F. Gray. Published on behalf of the IAU by the Astronomical Society of the Pacific, 20.
- Choi J., Dotter A., Conroy C., Cantiello M., Paxton B., Johnson B. D., 2016. Mesa Isochrones and Stellar Tracks (MIST). I. Solar-scaled Models. *The Astrophysical Journal*, 823, 102.
- Claret A., Gimenez A., 1992. Evolutionary stellar models using Rogers and Iglesias opacities, with particular attention to internal structure constants. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 96, 255 – 268.
- Claret A., 1997. The Apsidal Motion Test of Stellar Structure in Relativistic Systems. *Astronomy and Astrophysics*, 327, 11.
- Claret A., Hauschildt P. H., 2003. The limb-darkening for spherically symmetric NextGen model atmospheres: A-G main-sequence and sub-giant stars. *Astronomy and Astrophysics*, 412, 241 – 248.
- Conroy K. E., Prsa A., Stassun K. G., Orosz J. A., Fabrycky D. C., 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, 45.
- Cox A. N. 2000. *Allen's astrophysical quantities* (4th ed.). AIP Press; Springer. 386 – 396.
- Creevey O. L., Doğan G., Frasca A., Thygesen A. O., Basu S., Bhattacharya J., Biazzo K., Brandão I. M., Bruntt H., Mazumdar A., Niemczura E., Shrotriya T., Sousa S. G., Stello D., Subramaniam A., Campante T. L., Handberg, R., Mathur S., Bedding T. R., García R.A., Régulo C., Salabert D., Molenda-Żakowicz J., Quirion P.-O., White T.R

- ., Bonanno A., Chaplin W. J., Christensen-Dalsgaard J., Christiansen J. L., Elsworth Y., Fanelli M. N., Karoff C., Kinemuchi K., Kjeldsen H., Gai N., Monteiro M. J. P. F. G., Suárez J. C., 2012. Fundamental properties of five Kepler stars using global asteroseismic quantities and ground-based observations. *Astronomy and Astrophysics*, 537, 111 – 128.
- Debosscher J., Blomme J., Aerts C., De Ridder J., 2011. Global stellar variability study in the field-of-view of the Kepler satellite. *Astronomy and Astrophysics*, 529, 89.
- Değirmenci Ö. L., Sezer C., Demircan O., Erdem A., Özdemir S., Ak H, Albayrak B., 1999. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 134, 327-331.
- Demarque P., Woo J.-H., Kim Y.-C., Yi Sukyoung K., 2004. Y2 Isochrones with an Improved Core Overshoot Treatment. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 155, 667 – 674.
- Demircan O., Eker Z., Karataş Y., Bilir S., 2006. Mass Loss and Orbital Period Decrease in Detached Chromospherically Active Binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1511.
- Demircan O., Tüysüz M., Soyduğan F., Bilir S., 2012, Age Dependent Angular Momentum, Orbital Period and Total Mass of Detached Binaries, *IAUS*, 282, 464.
- Dotter A., 2016. MESA Isochrones and Stellar Tracks (MIST) 0: Methods for the Construction of Stellar Isochrones. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 222, 8 – 19.
- Dreizler S., Werner K., 1993. Line blanketing by iron group elements in Non-LTE model atmospheres for hot stars. *Astronomy and Astrophysics*, 278, 199 – 208.
- Eggleton P. P., 1971. The evolution of low mass stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 151, 351 – 364.
- Eggleton P. P., 1973. Composition changes during stellar evolution. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 156, 361 – 376.
- Eggleton P. P., 1992. Aspects of Mass Loss and Angular Momentum Loss in Binaries Containing Cool Components. *Evolutionary Processes in Interacting Binary Stars. Proceedings of the 151st. Symposium of the International Astronomical Union, held*

- in Cordoba, Argentina, August 5-9. Editors, Y. Kondo, R. F. Sistero, R. S. Polidan; Publisher, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, MA.
- Eggleton P. P., 2002. Envelope Ejection: An Alternative Evolutionary Process for Some Early Case B Binaries. *The Astrophysical Journal*, 575, 1037 – 1049.
- Eggleton P., 2006. Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars. *Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars*, ISBN 0521855578. Cambridge, UK.
- Eker Z., Demircan O., Karataş Y., Bilir S., 2006, Mass loss and orbital period decrease in detached chromospherically active binaries, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 366, 1511-1519.
- Eker Z., Demircan O., Bilir S., Karataş Y., 2006, Dynamical evolution of active detached binaries on the  $\log J_o$ - $\log M$  diagram and contact binary formation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373, 1483-1494
- Eker Z., Bilir S., Soyduğan F., Gökçe E. Y., Soyduğan E., Tüysüz M., Şenyüz T., Demircan O., 2014. The Catalogue of Stellar Parameters from the Detached Double-Lined Eclipsing Binaries in the Milky Way. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 31, 24 – 47.
- Eker Z., Soyduğan F., Soyduğan E., Bilir S., Yaz Gökçe E., Steer I., Tüysüz M., Şenyüz T., Demircan O., 2015. Main-Sequence Effective Temperatures from a Revised Mass-Luminosity Relation Based on Accurate Properties. *The Astronomical Journal*, 149, 131 – 147.
- Ekström S., Georgy C., Eggenberger P., Meynet G., Mowlavi N., Wyttenbach A., Granada A., Decressin T., Hirschi R., Frischknecht U. ve diğer 2 yazar, 2012. Grids of stellar models with rotation. I. Models from 0.8 to 120  $M_{\odot}$  at solar metallicity ( $Z = 0.014$ ). *Astronomy and Astrophysics*, 537, 146 – 164.
- Eldridge J. J., Tout C. A., 2004. A more detailed look at the opacities for enriched carbon and oxygen mixtures. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 348, 201 – 206.
- Erdem A., Budding E., Demircan O., Lütü Değirmenci Ö., Gülmen Ö., Sezer C., 2005. The close binary system EG Cephei. *Astronomische Nachrichten*, 326, 332-337.

- Gaulme P., McKeever J., Jackiewicz J., Rawls M. L., Corsaro E., Mosser B., Southworth J., Mahadevan S., Bender C., Deshpande R., 2016. Testing the Asteroseismic Scaling Relations for Red Giants with Eclipsing Binaries Observed by Kepler. *The Astrophysical Journal*, 832, 121 – 140.
- Ghez A. M., White R. J., Simon M., 1997. High Spatial Resolution Imaging of Pre-Main-Sequence Binary Stars: Resolving the Relationship between Disks and Close Companions. *Astrophysical Journal*, 490, 353-367.
- Gies D. R., Williams S. J., Matson R. A., Guo Z., Thomas S. M., Orosz J. A., Peters G. J., 2012. A Search for Hierarchical Triples using Kepler Eclipse Timing. *The Astronomical Journal*, 143, 137.
- Gimenez A., Garcia-Pelayo J. M., 1983. A new method for the analysis of apsidal motions in eclipsing binaries. *Astrophysics and Space Science*, 92, 203 – 222.
- Gimenez A., 1985. General-relativistic periastron advances in eclipsing binary systems. *Astrophysical Journal*, 297, 405 – 412.
- Glebbeek E., Pols O. R., Hurley J. R., 2008. Evolution of stellar collision products in open clusters. I. Blue stragglers in N-body models of M 67. *Astronomy and Astrophysics*, 488, 1007 – 1015.
- Goodricke J., 1783. A Series of Observations on, and a Discovery of, the Period of the Variation of the Light of the Bright Star in the Head of Medusa, Called Algol. In a Letter from John Goodricke, Esq. to the Rev. Anthony Shepherd, D. D. F. R. S. and Plumian Professor at Cambridge. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 73, 474 – 482.
- Gray R. O., Corbally C. J., 1994. The calibration of MK spectral classes using spectral synthesis. 1: The effective temperature calibration of dwarf stars. *Astronomical Journal*, 107, 742 – 746.
- Guggenberger E., Hekker S., Basu S., Bellinger E., 2016. Significantly improving stellar mass and radius estimates: a new reference function for the  $\Delta v$  scaling relation. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460, 4277 – 4281.
- Gustafsson B., Edvardsson B., Eriksson K., Jørgensen U. G., Nordlund Å., Plez B., 2008. A grid of MARCS model atmospheres for late-type stars. I. Methods and general

- properties. *Astronomy and Astrophysics*, 486, 951 – 970.
- Gustafsson B., Bell R. A., Eriksson K., Nordlund A., 1975. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. I. *Astronomy and Astrophysics*, 42, 407 – 432.
- Graczyk D., Smolec R., Pavlovski K., Southworth J., Pietrzyński G., Maxted P. F. L., Konorski P., Gieren W., Pilecki B., Taormina M. ve diğer 5 yazar. A solar twin in the eclipsing binary LL Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 594, 92 – 105.
- Hadrava P., 1995. Orbital elements of multiple spectroscopic stars. *Astronomy and Astrophysics*, 114, 393 – 396.
- Hadrava P., 1997. Relative line photometry of eclipsing binaries. *Astronomy and Astrophysics Supplement series*, 122, 581 – 584.
- Hauschildt P. H., Baron E., Allard F., 1997. Parallel Implementation of the PHOENIX Generalized Stellar Atmosphere Program. *The Astrophysical Journal*, 483, 390 – 398.
- Helminiak K. G., Ukita N., Kambe E., Kozłowski S. K., Sybilski P., Maehara H., Ratajczak M., Konacki M., Pawlaszek R. K., 2017. HIDES Spectroscopy of Bright Detached Eclipsing Binaries from the Kepler Field - II. Double- and Triple-Lined Objects. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 468, 1726.
- Hensberge H., Ilijic S., Torres K. B. V., 2008. On the Separation of Component Spectra in Binary and Higher-Multiplicity Stellar Systems: Bias Progression and Spurious Patterns. *Astronomy and Astrophysics*, 482, 1031 – 1051.
- Herschel W., 1803. Account of the Changes That Have Happened, during the Last Twenty-Five Years, in the Relative Situation of Double-Stars; with an Investigation of the Cause to Which They Are Owing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 93, 339 – 382.
- Heney L. G., Forbes J. E., Gould N. L., 1964. A New Method of Automatic Computation of Stellar Evolution. *Astrophysical Journal*, 139, 306.
- Herwig F., Austin Sam M., 2004. Nuclear Reaction Rates and Carbon Star Formation. *The Astrophysical Journal*, 613, 73 – 76.
- Hillier D. J., Miller D. L., 1998. A spectropolarimetric survey of northern hemisphere Wolf-Rayet star. *The Astrophysical Journal*, 496, 407 – 427.



- Hillier D. J., 2012. Hot Stars with Winds: The CMFGEN Code. From Interacting Binaries to Exoplanets: Essential Modeling Tools, Proceedings of the International Astronomical Union. Edited by M. T. Richards and I. Hubeny, IAU Symposium, 282, 229 – 234.
- Hong K., Kim S L., Jae W., Lee C., Yushchenko A. V., Kang Y. W., 2015. Apsidal Motions of 27 Binary Systems in the Small Magellanic Cloud. *The Astronomical Journal*, 150, 1.
- Hubeny I., 1988. A computer program for calculating non-LTE model stellar atmospheres. *Computer Physics Communications*, 52, 103 – 132.
- Hubeny I., Lanz T., 1995. Non-LTE line-blanketed model atmospheres of hot stars. 1: Hybrid complete linearization/accelerated lambda iteration method. *The Astrophysical Journal*, 439, 875 – 904.
- Hubeny V., 2016. Gravitational lessons from Holographic Entanglement Entropy. APS April Meeting.
- Hubscher J., 2016. BAV-Results of observations - Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, 6157, 1.
- İbanoğlu C., Soyduğan F., Soyduğan E., Dervişoğlu A., 2006. Angular momentum evolution of Algol binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373, 435 - 448
- Iben I. Jr., 1965. Stellar Evolution. II. The Evolution of a  $3 M_{\odot}$  Star from the Main Sequence Through Core Helium Burning. *The Astrophysical Journal*, 142, 1447
- Iben I. Jr., 1967 (a). Stellar Evolution Within and off the Main Sequence. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 5, 571.
- Iben I. Jr., 1967 (b). Stellar Evolution. VI. Evolution from the Main Sequence to the Red-Giant Branch for Stars of Mass  $1 M_{\odot}$ ,  $1.25 M_{\odot}$ , and  $1.5 M_{\odot}$ . *The Astrophysical Journal*, 147, 624.
- Iben I. Jr., 1967 (c). Stellar Evolution. VII. The Evolution of a  $2.25 M_{\odot}$  Star from the Main Sequence to the Helium-Burning Phase. *The Astrophysical Journal*, 147, 650.
- Iben I. Jr., 1967 (d). Stellar Evolution: Comparison of Theory with Observation. *Science*, 155, 785.

- Iben I. Jr., 1991. Single and Binary Star Evolution. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 76: 55-114.
- Ilijic S., Hensberge H., Pavlovski K., Freyhammer L. M., 2004. Obtaining normalised component spectra with FDBinary. In *Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of the Close Binary Stars*, Proceedings of the Workshop held 20-24 October 2003 in Dubrovnik, Croatia. Edited by R. W. Hilditch, H. Hensberge and K. Pavlovski. *ASP Conference Series*, 318, 111 – 113.
- Irwin J. B., 1959. Standard Light-Time Curves. *Astronomical Journal*, 64, 149.
- Kallinger T., Mosser B., Hekker S., Huber D., Stello D., Mathur S., Basu S., Bedding T. R., Chaplin W. J., De Ridder J., Elsworth Y. P., Frandsen S., García R. A., Gruberbauer M., Matthews J. M., Borucki W. J., Bruntt H., Christensen-Dalsgaard J., Gilliland R. L., Kjeldsen H., Koch D. G., 2010. Asteroseismology of red giants from the first four months of Kepler data: Fundamental stellar parameters. *Astronomy and Astrophysics*, 522, 1 – 15.
- Keppens R., Solanki S.K., Charbonnel C., 2000. Spin and orbital angular momentum exchange in binary star systems. II. Ascending the giant branch: a new path to FK Comae stars. *Astronomy and Astrophysics*, 359, 552 – 562.
- Khaliullin Kh. F., Khaliullina A. I., 2011. Orbital circularization of close binary stars on the pre-main sequence. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411, 2804 - 2816.
- Kjeldsen H., Bedding T. R., 1995. Amplitudes of stellar oscillations: the implications for asteroseismology. *Astronomy and Astrophysics*, 293, 87 – 106.
- Kleidis S., Robertson C. W., Wils P., 2008. BVR\_CI\_C Photometry of the Eccentric Eclipsing Binary HD 350731. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5860, 1.
- Kolbas V., Derişoğlu A., Pavlovski K., Southworth J., 2014. Tracing CNO exposed layers in the Algol-type binary system u Her. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444, 3118 – 3129.
- Kolbas V., Pavlovski K., Southworth J., Lee C.-U., Lee D.-J., Lee J.W., Kim S.-L., Kim H.-I., Smalley B., Tkachenko A., 2015. Spectroscopically resolving the Algol triple system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 451, 4150 – 4161.

- Kostov V. B., McCullough P. R., Hinse T. C., Tsvetanov Z.I., Hébrard G., Díaz R. F., Deleuil M., Valenti J. A., 2013. A Gas Giant Circumbinary Planet Transiting the F Star Primary of the Eclipsing Binary Star KIC 4862625 and the Independent Discovery and Characterization of the Two Transiting Planets in the Kepler-47 System. *The Astrophysical Journal*, 770, 52 – 71.
- Kostov Veselin B., Orosz Jerome A., Welsh William F., Doyle Laurance R., Fabrycky Daniel C., Haghhighipour N., Quarles B., Short Donald R., Cochran William D., Endl M. ve diğer 21 yazar, 2016a. Kepler-1647b: The Largest and Longest-period Kepler Transiting Circumbinary Planet. *The Astrophysical Journal*, 827, 86 – 112.
- Kostov Veselin B., Moore K., Tamayo D., Jayawardhana R., Rinehart Stephen A., 2016b. Tatooine's Future: The Eccentric Response of Kepler's Circumbinary Planets to Common-envelope Evolution of Their Host Stars. *The Astrophysical Journal*, 832, 183 – 213.
- Kreiner J. M., 2004. Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries. *Acta Astronomica*, 54, 207– 210.
- Kupka F., Piskunov N., Ryabchikova T. A., Stempels H. C., Weiss W. W., 1999. VALD-2: Progress of the Vienna Atomic Line Data Base. *Astronomy and Astrophysics Supplement* 138, 119 – 133.
- Kurucz R. L., 1970. Atlas: a Computer Program for Calculating Model Stellar Atmospheres. SAO Special Report 309.
- Kurucz R., 1993. ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory.
- Lacy C. H. S., Torres G., Claret A., Vaz Luiz P. R., 2005. Absolute Properties of the Eclipsing Binary Star RW Lacertae. *The Astronomical Journal*, 130, 2838 – 2846.
- Lacy C. H. S., Fekel F., Claret A., 2012. Absolute Properties of the Eclipsing Binary Star V335 Serpentis, *The Astronomical Journal*, 144, 63
- Lehmann H., Southworth J., Tkachenko A., Pavlovski K., Maceroni C., Ak H., 2013. Spectroscopic analysis of eclipsing SB2 stars: a case study. *EAS Publications Series* 64, 219 – 227.

- Lefever K., Puls J., Aerts C., 2007. A Grid of FASTWIND NLTE Model Atmospheres of Massive Stars. The Future of Photometric, Spectrophotometric and Polarimetric Standardization, ASP Conference Series, Vol. 364, Proceedings of a conference held 8-11 May, 2006 in Blankenberge, Belgium. Edited by C. Sterken. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 545 – 552.
- Lenz P., Breger M., 2005. Communications in Asteroseismology, 146, 53 – 136.
- Lucy L. B., 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. Zeitschrift für Astrophysik, 65, 89.
- Maeder A., Meynet G., 2000. Stellar evolution with rotation. VI. The Eddington and Omega-limits, the rotational mass loss for OB and LBV stars. Astronomy and Astrophysics, 361, 159 – 166.
- Maeder A., Meynet G., 2012. Rotating massive stars: From first stars to gamma ray bursts. Reviews of Modern Physics, 84, 25 – 63.
- Massey P., Neugent Kathryn F., Hillier D. J., Puls J., 2013. A Bake-off between CMFGEN and FASTWIND: Modeling the Physical Properties of SMC and LMC O-type Stars. The Astrophysical Journal, 768, 44 – 50.
- Mathur S., Metcalfe T. S., Woitaszek M., et al., 2012. A Uniform Asteroseismic Analysis of 22 Solar-type Stars Observed by Kepler. Astrophysical Journal, 749, 152.
- Matson R. A., Gies Douglas R., Guo Z., Orosz Jerome A., 2016. Fundamental Parameters of Kepler Eclipsing Binaries. I. KIC 5738698. The Astronomical Journal 151, 139 – 154.
- Mayor M., Udry S., Halbwachs J.-L., Arenou F., 2001. Binaries at the Bottom of the Main Sequence and below. The Formation of Binary Stars, Proceedings of IAU Symp. 200, held 10-15 April 2000, in Potsdam, Germany, 45 – 55.
- McDonald I., Zijlstra A. A., Boyer M. L., 2012. Fundamental Parameters and Infrared Excesses of Hipparcos Stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427, 343.
- Mihalas D., Heasley J. N., Auer L. H., 1975. A non-LTE model stellar atmosphere computer program, 7530128.

- Mjaseth K., Batalha N., Borucki W., Caldwell D., Latham D., Martin K. R., Rabbette M., Witteborn F., 2007. Vulcan Identification of Eclipsing Binaries in the Kepler Field of View, *American Astronomical Society*, 210, 0307.
- Mosser B., Dziembowski W. A., Belkacem K., Goupil M. J., Michel E., Samadi R., Soszyński I., Vrad M., Elsworth Y., Hekker S., Mathur S., 2013. Period-luminosity relations in evolved red giants explained by solar-like oscillations. *Astronomy and Astrophysics*, 559, 137 – 150.
- Paczynski B., 1997. Gravitational Waves and the Evolution of Close Binaries. *Acta Astronomica*, 17, 287.
- Pavlovski K., 2004. Abundances for the components of the close binary stars from disentangled spectra. In *Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of the Close Binary Stars, Proceedings of the Workshop, Dubrovnik, Croatia*. Edited by R. W. Hilditch, H. Hensberge and K. Pavlovski. *ASP Conference Series*, 318, 206 – 214.
- Pavlovski K., Hensberge H., 2005. Abundances from disentangled component spectra: the eclipsing binary V578 Mon. *Astronomy and Astrophysics*, 439, 309 – 315.
- Paxton B., Bildsten L., Dotter A., Herwig F., Lesaffre P., Timmes F., 2011. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA). *The Astrophysical Journal Supplement*, 192, 3 – 38.
- Paxton B., Cantiello M., Arras P., Bildsten L., Brown Edward F., Dotter A., Mankovich C., Montgomery M. H., Stello D., Timmes F. X., Townsend R., 2013. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars. *The Astrophysical Journal Supplement*, 208, 4 – 46.
- Paxton B., Marchant P., Schwab J., Bauer Evan B., Bildsten L., Cantiello M., Dessart L., Farmer R., Hu H., Langer N. ve diğer 3 yazar, 2015. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Binaries, Pulsations, and Explosions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 220, 15 – 59.
- Pigulski A., Pojmanski G., Pilecki B., Szczygiel D. M., 2009. The All Sky Automated Survey. The Catalog of Variable Stars in the Kepler Field of View. *Acta Astronomica*, 59, 33.

- Piskunov N.E., Kupka F., Ryabchikova T. A., Weiss W. W., Jeffery C. S., 1995. VALD: The Vienna Atomic Line Data Base. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 112, 525 - 535.
- Plez B., 2011. Cool star model atmospheres for Gaia : ATLAS, MARCS, and PHOENIX. *Journal of Physics*, 328.
- Plez B., 2012. Turbospectrum: Code for spectral synthesis. *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1205.004.
- Pojmanski G., 1997. The All Sky Automated Survey. *Acta Astronomica*, 47, 467 – 481.
- Pojmanski G., 2000. The All Sky Automated Survey. Catalog of about 3800 Variable Stars. *Acta Astronomica*, 50, 177 – 190.
- Pols O. R., Tout Christopher A., Eggleton Peter P., Han Z., 1995. Approximate input physics for stellar modelling. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 274, 964 – 974.
- Prsa A., Batalha N., Slawson R. W., ve diğ er 12 yazar. 2011. Kepler Eclipsing Binary Stars. I. Catalog and Principal Characterization of 1879 Eclipsing Binaries in the First Data Release. *The Astronomical Journal*, 141, 83.
- Puls J., Urbaneja M. A., Venero R., Repolust T., Springmann U., Jokuthy A., Mokie m M. R., 2005. Atmospheric NLTE-models for the spectroscopic analysis of blue stars with winds. II. Line-blanketed models. *Astronomy and Astrophysics*, 435, 669 – 698.
- Otero S. A., Wils P., Dubovsky P. A., 2004. New Eclipsing Binaries Found in the NSVS Database I. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5570, 1.
- Rappaport S., Verbunt F., Joss P. C., 1983. A new technique for calculations of binary stellar evolution, with application to magnetic braking. *Astrophysical Journal*, 275, 713 – 731.
- Rappaport S., Deck K., Levine A., Borkovits T., Carter J., El Mellah I., Sanchis O. R., Kalomeni B., 2013. Triple-star Candidates among the Kepler Binaries. *The Astrophysical Journal*, 768, 33.
- Reegen P., 2011. SigSpec User's Manual. *Communications in Asteroseismology*, 163, 3 – 99.

- Repolust T., Puls J., Herrero A., 2004. Stellar and wind parameters of Galactic O-stars. The influence of line-blocking/blanketing. *Astronomy and Astrophysics*, 415, 349 – 376.
- Ruciński S. M., 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. *Acta Astronomica*, 19, 245.
- Ruciński S. M., 1982. Contact Binaries - Angular Momentum Loss In and Out of Contact. *Astronomy and Astrophysics*, 112, 273-276.
- Sablowski D. P., Weber M., 2017. Spectral disentangling with Spectangular. *Astronomy and Astrophysics*, 597, 125.
- Santolaya-Rey A. E., Puls J., Herrero A., 1997. Atmospheric NLTE-models for the spectroscopic analysis of luminous blue stars with winds. *Astronomy and Astrophysics*, 323, 488 – 512.
- Schaller G., Schaerer D., Meynet G., Maeder A., 1992. New grids of stellar models from 0.8 to 120 solar masses at  $Z = 0.020$  and  $Z = 0.001$ . *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 96, 269 – 331.
- Schlafly E. F., Finkbeiner D. P., 2011. Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Survey Stellar Spectra and Recalibrating SFD. *The Astrophysical Journal*, 737, 103.
- Shu F. H., Lubow S. H., 1981. Mass, Angular Momentum, and Energy Transfer in Close Binary Stars *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 19, 277
- Shulyak D., Tsybal V., Ryabchikova T., Stütz Ch., Weiss W. W., 2004. Line-by-line opacity stellar model atmospheres. *Astronomy and Astrophysics*, 428, 993 – 1000.
- Simon K. P., Sturm E., 1994. Disentangling of composite spectra, *Astronomy and Astrophysics*, 281, 286 – 291.
- Sing D. K., 2010. Stellar limb-darkening coefficients for CoRot and Kepler. *Astronomy and Astrophysics*, 510, 21.
- Sistero R. F., Marton S., 1983. The Angular Momentum of Eclipsing Binaries. *Astrophysics and Space Science*, 94, 165-170.
- Slawson R. W., Prsa A., Welsh W. F., ve diğer 21 yazar. 2011. Kepler Eclipsing Binary

- Stars. II. 2165 Eclipsing Binaries in the Second Data Release. *The Astronomical Journal*, 142, 160.
- Snedden C., Bean J., Ivans I., Lucatello S., Sobeck J., 2012. MOOG: LTE line analysis and spectrum synthesis. *Astrophysics Source Code Library*, record ascl:1202.009.
- Stancliffe R. J., Glebbeek E., Izzard R. G., Pols O. R., 2007. Carbon-enhanced Metal-poor Stars and Thermohaline Mixing. *Astronomy and Astrophysics*, 464, 57.
- Stebbins J., 1911. A new variable star, beta Aurigae. *The Astrophysical Journal*, 34, 112 – 130.
- Stepien K., 1995, Loss of angular momentum of cool close binaries and formation of contact systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 274, 1019.
- Southworth J., Smalley B., Maxted P. F. L., Etzel P. B., 2004. Accurate fundamental parameters of eclipsing binary stars. *The A-Star Puzzle*, held in Poprad, Slovakia, July 8-13, 2004. Edited by J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, and W.W. Weiss, IAU Symposium, No. 224. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 548 – 561.
- Southworth J., Smalley B., Maxted P. F. L., Claret A., Etzel P. B., 2005. Absolute dimensions of detached eclipsing binaries - I. The metallic-lined system WW Aurigae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 363, 529 – 542.
- Southworth J., Pavlovski K., Tamajo E., Smalley B., West R. G., Anderson D. R., 2011. Absolute dimensions of detached eclipsing binaries - II. The metallic-lined system XY Ceti. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 414, 3740 – 3750.
- Southworth J., 2013. The solar-type eclipsing binary system LL Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 557, 119 – 127.
- Soydugan F., Aliçavuş F., Bilir S., Soydugan E., Püsküllü Ç., Şenyüz T., 2015. Toward Understanding the Nature of the Young Detached Binary System HD 350731. *The Astronomical Journal* 150, 55 – 63.
- Tkachenko A., Matthews J. M., Aerts C., Pavlovski K., Pápics P. I., Zwintz K., Cameron C., Walker G. A. H., Kuschnig R., Degroote P. ve diğer 9 yazar. Stellar modelling of Spica, a high-mass spectroscopic binary with a  $\beta$  Cep variable primary component. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 458, 1964 – 1976.



- Tokovinin A., 2014. From Binaries to Multiples. I. Data on F and G Dwarfs within 67 pc of the Sun. *The Astronomical Journal* 147, 86 – 100.
- Toonen S., Hamers A., Portegies Z. S., 2016. The Evolution of Hierarchical Triple Star-Systems. *Computational Astrophysics and Cosmology*, 3, 6.
- Torres G., Stefanik R. P., Andersen J., Nordstrom B., Latham D. W., Clausen J. V., 1997. The Absolute Dimensions of Eclipsing Binaries. XXII. The Unevolved F-Type System HS Hydrae. *Astronomical Journal*, 114, 2764 – 2778.
- Torres G., 2010. On the Use of Empirical Bolometric Corrections for Stars. *Astronomical Journal*, 140, 1158.
- Torres G., Vaz L. P. R., Lacy S. C. H., Claret, A., 2014. Absolute Properties of the Eclipsing Binary System AQ Serpentis: A Stringent Test of Convective Core Overshooting in Stellar Evolution Models. *Astronomical Journal*, 147, 36
- Torres G., Sandberg Lacy Claud H., Pavlovski K., Feiden Gregory A., Sabby Jeffrey A., Bruntt H., Viggo Clausen J., 2014. The G+M Eclipsing Binary V530 Orionis: A Stringent Test of Magnetic Stellar Evolution Models for Low-mass Stars. *The Astrophysical Journal*, 797, 31 – 47.
- Torres G., Sandberg L., Claud H., Pavlovski K., Fekel F. C., Muterspaugh M. W., 2015. Absolute Dimensions of the Metallic-line Eclipsing Binary V501 Monocerotis. *The Astronomical Journal*, 150, 154 – 165.
- Tout C. A., Hall D. S., 1991. Wind Driven Mass Transfer in Interacting Binary Systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 523, 9.
- Trimble V., 1984. Angular Momentum Versus Mass, re-examined. *Comments on Modern Physics*, Part C - Comments on Astrophysics, 10, 127-135
- Usenko I. A., Bychkov V. D., Bychkova L. V., Plachinda S. N., 2010. Magnetic Field of Polaris. *Odessa Astronomical Publications*, 23, 140 – 142.
- Uytterhoeven K., Moya A., Grigahcene A., ve diğer 38 yazar. 2011. The Kepler characterization of the variability among A- and F-type stars. I. General overview. *Astronomy and Astrophysics*, 534, 125.
- Valenti J. A., Piskunov N., 1996. Spectroscopy made easy: A new tool for fitting

- observations with synthetic spectra. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 118, 595 – 603.
- van Hamme W., 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. *Astronomical Journal*, 106, 2096-2117.
- van Hamme W., Wilson R. E., 2003. Stellar atmospheres in eclipsing binary models. *GAIA Spectroscopy: Science and Technology*, ASP Conference Proceedings, 298, ISBN: 1-58381-145-1, 323.
- Vogel H. C., 1890. Spectrographische Beobachtungen an Algol. *Astronomische Nachrichten*, 123, 289 – 308.
- Weiss A., Schlattl H., 2008. GARSTEC—the Garching Stellar Evolution Code. The direct descendant of the legendary Kippenhahn code. *Astrophysics and Space Science*, 316, 99 – 106.
- Werner K., Deetjen J. L., Dreizler S., Nagel T., Rauch T., Schuh S. L., 2003. Model Photospheres with Accelerated Lambda Iteration. *Stellar Atmosphere Modeling*, ASP Conference Proceedings, 288, 31 – 50.
- White T. R., Benomar O., Silva A. V., Ball E. H., Bedding T. R., Chaplin W. J., Dalsgaard C. J., Garcia R. A. ve ark., 2017. Kepler observations of the asteroseismic binary HD 176465. *Astronomy and Astrophysics*, 601, 82.
- Wilson R. E., Devinney E. J., 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, 166, 605 – 619.
- Yakut K., Kalomeni B., Tout C. A., 2008. Angular Momentum Loss by Magnetic Braking and Gravitational Radiation in Relativistic Binary Stars. 2008arXiv0811.0455Y.
- Yi S., Demarque P., Kim Y.-C., Lee Y.-W., Ree Chang H., Lejeune T., Barnes S., 2001. Toward Better Age Estimates for Stellar Populations: The Y2 Isochrones for Solar Mixture. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 136, 417 – 437.
- Zasche P., 2009. The data mining: An analysis of 20 eclipsing binary light-curves observed by the INTEGRAL/OMC. *New Astronomy*, 14, 129 – 132.

Zasche P., 2015. Period Changes for Extragalactic Eclipsing Binaries. Living Together: Planets, Host Stars and Binaries, Proceedings of a conference held 8-12 September 2014 in Litomyšl, Czech Republic. Edited by Slavek M. Rucinski, Guillermo Torres, and Miloslav Zejda. ASP Conference Series, 496, 278.

Zucker S., Mazeh T., 1994. Study of spectroscopic binaries with TODCOR. 1: A new two-dimensional correlation algorithm to derive the radial velocities of the two components. The Astrophysical Journal, 420, 806 – 810.





**EKLERİ**

EK. 1. Frekans analizi çözüm sonuçları.

Çizelge 1. KIC 6525196 ve KIC 8043961 sistemlerinin, özellikle modülasyonlar için kullanılan, frekans analizi sonuçları.

<b>KIC 6525169</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>	<b>KIC 8043961</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>
<b>F1</b>	0.29128	0.00088	0.06884	<b>F1</b>	0.63955	0.00085	0.37784
<b>F2</b>	0.29597	0.00075	0.88736	<b>F2</b>	0.91827	0.00051	0.16699
<b>F3</b>	0.29343	0.00059	0.73257	<b>F3</b>	2.57117	0.00047	0.25962
<b>F4</b>	0.30002	0.00054	0.81619	<b>F4</b>	0.04321	0.00046	0.70141
<b>F5</b>	0.59504	0.00051	0.55669	<b>F5</b>	0.95284	0.00113	0.91600
<b>F6</b>	0.26929	0.00050	0.66982	<b>F6</b>	0.94420	0.00138	0.20112
<b>F7</b>	0.28956	0.00049	0.23388	<b>F7</b>	1.27046	0.00027	0.22114
<b>F8</b>	0.29773	0.00048	0.21126	<b>F8</b>	1.92081	0.00024	0.72943
<b>F9</b>	0.58174	0.00043	0.29398	<b>F9</b>	1.87976	0.00020	0.14145
<b>F10</b>	0.29489	0.00039	0.01115	<b>F10</b>	6.40848	0.00019	0.23498
<b>F11</b>	0.58768	0.00051	0.83323	<b>F11</b>	0.34786	0.00016	0.01976
<b>F12</b>	0.30083	0.00039	0.17720	<b>F12</b>	5.11641	0.00016	0.01548
<b>F13</b>	0.59749	0.00042	0.83256	<b>F13</b>	3.86540	0.00016	0.50380
<b>F14</b>	0.58617	0.00034	0.32140	<b>F14</b>	0.60282	0.00013	0.96912
<b>F15</b>	0.29898	0.00037	0.37462	<b>F15</b>	1.00470	0.00016	0.93034
<b>F16</b>	0.59409	0.00036	0.44493	<b>F16</b>	0.09507	0.00013	0.71367
<b>F17</b>	0.28779	0.00032	0.32821	<b>F17</b>	14.10902	0.00013	0.90031
<b>F18</b>	0.57985	0.00033	0.14415	<b>F18</b>	5.77757	0.00013	0.01957
<b>F19</b>	0.28353	0.00026	0.47568	<b>F19</b>	7.05667	0.00012	0.87601
<b>F20</b>	0.59637	0.00026	0.82173	<b>F20</b>	2.29677	0.00010	0.77010
<b>F21</b>	0.58910	0.00038	0.98904	<b>F21</b>	30.14534	0.00010	0.54711
<b>F22</b>	0.29223	0.00029	0.46695	<b>F22</b>	4.49414	0.00010	0.99537
<b>F23</b>	0.30225	0.00028	0.66686	<b>F23</b>	8.33577	0.00004	0.80805
<b>F24</b>	0.31060	0.00027	0.93304	<b>F24</b>	8.33577	0.00007	0.65905
<b>F25</b>	0.26571	0.00023	0.22325	<b>F25</b>	7.69622	0.00010	0.29337
<b>F26</b>	0.28564	0.00030	0.30206	<b>F26</b>	0.28953	0.00011	0.88883
<b>F27</b>	0.29037	0.00023	0.51526	<b>F27</b>	3.20856	0.00009	0.82434
<b>F28</b>	0.30578	0.00021	0.97878	<b>F28</b>	0.85994	0.00009	0.90924
<b>F29</b>	0.30780	0.00026	0.13939	<b>F29</b>	28.85975	0.00009	0.51163
<b>F30</b>	0.26864	0.00022	0.24357	<b>F30</b>	0.67628	0.00009	0.62446
<b>F31</b>	0.59271	0.00029	0.69900	<b>F31</b>	15.39244	0.00008	0.82941
<b>F32</b>	0.59134	0.00030	0.27771	<b>F32</b>	1.65938	0.00009	0.99988
<b>F33</b>	0.27269	0.00019	0.87077	<b>F33</b>	12.82560	0.00008	0.95286

<b>KIC 6525169</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>	<b>KIC 8043961</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>
<b>F34</b>	0.27695	0.00019	0.78216	<b>F34</b>	21.16569	0.00008	0.51759
<b>F35</b>	0.27759	0.00022	0.58868	<b>F35</b>	1.32232	0.00033	0.57804
<b>F36</b>	0.60429	0.00016	0.16384	<b>F36</b>	1.32232	0.00033	0.07447
<b>F37</b>	0.31482	0.00015	0.85267	<b>F37</b>	48.74418	0.00008	0.43229
<b>F38</b>	0.60623	0.00017	0.87394	<b>F38</b>	34.63084	0.00008	0.14171
<b>F39</b>	0.56930	0.00020	0.30095	<b>F39</b>	1.97915	0.00008	0.82390
<b>F40</b>	0.30359	0.00019	0.18787	<b>F40</b>	0.23551	0.00008	0.27555
<b>F41</b>	0.57313	0.00016	0.89631	<b>F41</b>	22.44911	0.00007	0.48286
<b>F42</b>	0.30931	0.00016	0.54807	<b>F42</b>	1.05223	0.00008	0.97638
<b>F43</b>	0.25982	0.00018	0.05032	<b>F43</b>	0.42133	0.00007	0.93670
<b>F44</b>	0.25982	0.00016	0.00000	<b>F44</b>	3.58235	0.00006	0.79912
<b>F45</b>	0.60709	0.00016	0.29430	<b>F45</b>	19.88227	0.00006	0.54134
<b>F46</b>	0.27183	0.00019	0.03536				
<b>F47</b>	0.31581	0.00015	0.09440				
<b>F48</b>	0.27006	0.00016	0.89724				
<b>F49</b>	0.33828	0.00014	0.27473				
<b>F50</b>	0.59857	0.00016	0.12646				
<b>F51</b>	0.88322	0.00013	0.20548				
<b>F52</b>	0.58419	0.00015	0.13586				
<b>F53</b>	0.25724	0.00017	0.67492				
<b>F54</b>	0.26292	0.00016	0.97585				
<b>F55</b>	0.27863	0.00012	0.88413				
<b>F56</b>	0.61380	0.00013	0.72441				
<b>F57</b>	0.30703	0.00016	0.33252				
<b>F58</b>	0.32016	0.00014	0.34564				
<b>F59</b>	0.59198	0.00016	0.07397				
<b>F60</b>	0.56715	0.00014	0.81461				
<b>F61</b>	0.28172	0.00016	0.05890				
<b>F62</b>	0.89385	0.00014	0.33285				
<b>F63</b>	0.55510	0.00005	0.35508				
<b>F64</b>	0.55510	0.00008	0.20432				
<b>F65</b>	0.31336	0.00017	0.67060				
<b>F66</b>	0.54141	0.00013	0.29087				
<b>F67</b>	0.89277	0.00013	0.98060				
<b>F68</b>	0.59043	0.00012	0.88926				
<b>F69</b>	0.61174	0.00012	0.29144				
<b>F70</b>	0.57524	0.00011	0.05267				
<b>F71</b>	0.28680	0.00013	0.74595				

<b>KIC 6525169</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>				
<b>F72</b>	0.27501	0.00013	0.17877				
<b>F73</b>	0.57731	0.00011	0.06587				
<b>F74</b>	0.56177	0.00011	0.24214				
<b>F75</b>	0.24592	0.00012	0.38495				
<b>F76</b>	0.60903	0.00010	0.07752				
<b>F77</b>	0.54017	0.00011	0.49356				
<b>F78</b>	0.27092	0.00012	0.39099				
<b>F79</b>	0.61079	0.00010	0.13404				
<b>F80</b>	0.88490	0.00009	0.74971				
<b>F81</b>	0.25401	0.00011	0.22988				
<b>F82</b>	0.31215	0.00012	0.59275				
<b>F83</b>	0.60300	0.00010	0.49288				
<b>F84</b>	0.57038	0.00011	0.64982				
<b>F85</b>	0.88675	0.00011	0.29221				
<b>F86</b>	0.27359	0.00010	0.04682				
<b>F87</b>	0.29834	0.00014	0.50245				
<b>F88</b>	0.53909	0.00010	0.05770				
<b>F89</b>	0.58058	0.00046	0.04290				
<b>F90</b>	0.58053	0.00052	0.96252				
<b>F91</b>	0.86923	0.00009	0.44206				
<b>F92</b>	0.60037	0.00011	0.08085				
<b>F93</b>	0.33143	0.00008	0.24502				
<b>F94</b>	0.28091	0.00010	0.71982				
<b>F95</b>	0.05948	0.00008	0.50116				
<b>F96</b>	0.25848	0.00010	0.44233				
<b>F97</b>	0.56379	0.00008	0.90378				
<b>F98</b>	0.53831	0.00009	0.74982				
<b>F99</b>	0.33315	0.00008	0.80687				
<b>F100</b>	0.34529	0.00009	0.21307				
<b>F101</b>	0.61798	0.00008	0.03362				
<b>F102</b>	0.22702	0.00008	0.37920				
<b>F103</b>	0.24463	0.00010	0.14558				
<b>F104</b>	0.87538	0.00010	0.87932				
<b>F105</b>	0.87762	0.00010	0.07098				
<b>F106</b>	0.23653	0.00008	0.67752				
<b>F107</b>	15.20200	0.00009	0.51995				
<b>F108</b>	0.56569	0.00009	0.12641				
<b>F109</b>	0.20697	0.00008	0.55240				

<b>KIC 6525169</b>	<b>Frekans</b>	<b>Genlik</b>	<b>Evre</b>				
<b>F110</b>	0.87392	0.00008	0.09347				
<b>F111</b>	0.54348	0.00008	0.84151				
<b>F112</b>	0.07428	0.00007	0.91938				
<b>F113</b>	0.07213	0.00008	0.10738				
<b>F114</b>	0.31861	0.00010	0.46290				
<b>F115</b>	0.31710	0.00010	0.00770				
<b>F116</b>	0.31138	0.00008	0.31719				
<b>F117</b>	0.24781	0.00008	0.38112				
<b>F118</b>	0.89751	0.00009	0.44573				
<b>F119</b>	0.88791	0.00008	0.72252				
<b>F120</b>	0.23029	0.00007	0.54342				
<b>F121</b>	0.55243	0.00007	0.18062				
<b>F122</b>	0.89075	0.00007	0.74719				
<b>F123</b>	0.08268	0.00007	0.42173				
<b>F124</b>	0.29416	0.00009	0.56016				
<b>F125</b>	0.53190	0.00008	0.22958				
<b>F126</b>	0.34916	0.00004	0.57446				
<b>F127</b>	0.34916	0.00004	0.72942				
<b>F128</b>	0.58531	0.00008	0.08100				
<b>F129</b>	0.05156	0.00007	0.71165				
<b>F130</b>	0.53457	0.00007	0.95401				
<b>F131</b>	0.13419	0.00007	0.92380				
<b>F132</b>	0.09059	0.00007	0.81609				
<b>F133</b>	0.86054	0.00007	0.91687				
<b>F134</b>	0.89626	0.00007	0.84282				
<b>F135</b>	0.59926	0.00008	0.15222				
<b>F136</b>	0.57219	0.00007	0.24688				
<b>F137</b>	12.27852	0.00005	0.60857				
<b>F138</b>	13.44794	0.00004	0.98216				
<b>F139</b>	9.93973	0.00003	0.47166				
<b>F140</b>	11.10915	0.00002	0.83867				
<b>F141</b>	8.77035	0.00000	0.86434				
<b>F142</b>	8.77035	0.00001	0.68174				
<b>F143</b>	14.61736	0.00002	0.35505				
<b>F144</b>	7.01631	0.00001	0.35030				
<b>F145</b>	5.84694	0.00001	0.59271				
<b>F146</b>	0.34228	0.00006	0.38466				



Çizelge 2. KIC 6525196'nın kısa süreli (SC) *Kepler* verisi frekans analizi sonuçları.

No	Frekans	Genlik	S/G	No	Frekans	Genlik	S/G
1	0.29558	0.0022692	2562	50	0.46718	0.0001443	119
2	0.58022	0.0013264	3317	51	10.23172	0.0000494	121
3	0.55730	0.0010112	1844	52	0.12007	0.0001309	121
4	0.30667	0.0019293	2163	53	6.72179	0.0000321	113
5	0.25309	0.0003579	764	54	14.33144	0.0000328	110
6	0.50952	0.0003667	651	55	5.85299	0.0002028	104
7	0.89178	0.0002415	602	56	15.20744	0.0000450	105
8	0.09348	0.0001738	606	57	9.64705	0.0000450	106
9	0.36719	0.0002943	553	58	4.10039	0.0002281	106
10	2.32689	0.0003469	477	59	4.68470	0.0002359	104
11	1.75214	0.0002467	445	60	5.26884	0.0002411	105
12	3.50724	0.0003498	472	61	14.61367	0.0000474	97
13	2.92078	0.0003807	453	62	11.69005	0.0000405	98
14	4.67641	0.0003717	465	63	7.31126	0.0000376	95
15	4.09177	0.0003644	489	64	9.06176	0.0000391	92
16	5.26091	0.0003726	486	65	14.91322	0.0000359	92
17	1.17642	0.0003152	514	66	2.62191	0.0000723	90
18	5.84432	0.0003194	449	67	3.51665	0.0001953	90
19	0.19068	0.0002206	447	68	6.43608	0.0002236	91
20	0.86117	0.0002020	474	69	1.19480	0.0002499	88
21	6.42858	0.0003504	500	70	1.76802	0.0000785	83
22	1.44946	0.0001429	510	71	0.48337	0.0001985	79
23	0.64862	0.0001674	523	72	15.77988	0.0000326	78
24	2.63691	0.0001213	470	73	8.47976	0.0000345	75
25	2.04414	0.0001268	483	74	7.02338	0.0001434	73
26	7.01334	0.0002401	474	75	15.49507	0.0000334	74
27	0.73976	0.0001449	469	76	3.23985	0.0000370	74
28	3.21507	0.0001234	469	77	7.89551	0.0000314	74
29	7.59895	0.0002313	486	78	1.22303	0.0001388	68
30	3.79677	0.0001065	497	79	1.53656	0.0000741	69
31	0.06108	0.0001459	422	80	22.21496	0.0000307	69
32	4.39302	0.0000711	383	81	7.60818	0.0001390	66
33	8.18357	0.0001588	315	82	21.62903	0.0000295	64
34	8.76998	0.0001826	301	83	24.84988	0.0000282	60
35	4.96458	0.0000541	303	84	16.08244	0.0000240	60
36	5.56707	0.0000380	239	85	23.68096	0.0000283	60
37	0.93246	0.0000973	232	86	8.19502	0.0000989	60
38	6.13642	0.0000465	157	87	2.92869	0.0002045	60
39	12.57626	0.0000399	137	88	25.43443	0.0000278	61
40	9.35382	0.0001120	134	89	13.43801	0.0000280	60
41	11.40358	0.0000502	136	90	2.06569	0.0000520	59
42	11.98094	0.0000416	135	91	26.01850	0.0000271	58
43	1.06290	0.0000542	130	92	24.26646	0.0000271	59
44	12.85723	0.0000537	131	93	20.45744	0.0000269	57
45	13.15605	0.0000494	131	94	16.36504	0.0000264	55
46	10.81010	0.0000435	130	95	2.11730	0.0000252	55
47	9.93875	0.0000899	131	96	23.09440	0.0000258	55
48	14.02593	0.0000508	130	97	22.51101	0.0000246	50
49	13.74502	0.0000377	121	98	0.79279	0.0000299	49
99	16.66628	0.0000213	47	149	58.46960	0.0000153	24
100	3.81414	0.0000477	47	150	163.42081	0.0000155	24

No	Frekans	Genlik	S/G	No	Frekans	Genlik	S/G
101	26.60282	0.0000233	47	151	49.40617	0.0000157	24
102	22.80036	0.0000239	47	152	46.77385	0.0000150	24
103	21.04388	0.0000234	48	153	47.65111	0.0000156	24
104	23.38524	0.0000231	45	154	174.53266	0.0000152	23
105	27.18821	0.0000227	45	155	24.55884	0.0000152	23
106	23.97128	0.0000229	44	156	40.92753	0.0000146	23
107	1.52896	0.0000782	42	157	46.48310	0.0000146	22
108	40.34418	0.0000218	42	158	38.29470	0.0000147	22
109	27.77152	0.0000214	41	159	166.34329	0.0000147	22
110	21.92790	0.0000216	40	160	164.00825	0.0000147	22
111	39.17011	0.0000205	38	161	50.28646	0.0000143	22
112	1.68255	0.0000252	37	162	0.66802	0.0000357	22
113	1.11486	0.0000275	38	163	165.75974	0.0000146	22
114	39.75953	0.0000197	36	164	34.78970	0.0000143	22
115	36.54465	0.0000197	36	165	122.49147	0.0000144	22
116	2.31821	0.0001617	35	166	48.82049	0.0000148	22
117	47.35822	0.0000196	35	167	109.33491	0.0000142	21
118	21.34179	0.0000199	35	168	9.36235	0.0000719	21
119	10.53827	0.0000200	35	169	33.61960	0.0000144	21
120	1.02495	0.0000505	34	170	5.55165	0.0000575	21
121	38.00149	0.0000192	34	171	162.83619	0.0000140	21
122	35.95834	0.0000189	34	172	17.53946	0.0000138	21
123	4.37750	0.0000563	34	173	123.07806	0.0000140	21
124	16.95158	0.0000192	33	174	164.59153	0.0000139	21
125	19.87226	0.0000191	33	175	140.91260	0.0000139	21
126	37.71080	0.0000187	33	176	46.18933	0.0000140	21
127	47.94535	0.0000180	32	177	39.46623	0.0000141	20
128	20.75707	0.0000184	31	178	107.58298	0.0000140	21
129	48.53054	0.0000177	31	179	111.09078	0.0000137	21
130	38.58619	0.0000175	30	180	48.23537	0.0000139	20
131	37.12667	0.0000172	30	181	34.20604	0.0000137	20
132	28.35647	0.0000172	29	182	161.66853	0.0000137	20
133	1.24272	0.0000635	28	183	110.50706	0.0000136	20
134	8.77799	0.0001160	28	184	139.15849	0.0000136	20
135	38.88386	0.0000173	28	185	165.17506	0.0000135	20
136	25.14488	0.0000174	28	186	59.92974	0.0000129	19
137	49.11533	0.0000164	28	187	176.28208	0.0000133	19
138	37.41627	0.0000172	27	188	175.70016	0.0000133	19
139	108.75231	0.0000167	27	189	47.06718	0.0000133	19
140	35.37305	0.0000160	26	190	50.87120	0.0000129	19
141	4.97698	0.0000579	26	191	28.94198	0.0000132	19
142	109.92339	0.0000161	25	192	17.23532	0.0000107	19
143	1.30334	0.0000232	24	193	176.87007	0.0000132	19
144	1.40620	0.0000224	26	194	45.60093	0.0000129	19
145	108.16862	0.0000157	24	195	175.11490	0.0000129	19
146	49.70075	0.0000153	24	196	59.05551	0.0000127	18
147	20.17407	0.0000157	24	197	139.74016	0.0000127	18
148	19.28989	0.0000161	24	198	162.25440	0.0000124	18
199	29.52628	0.0000125	18	249	51.45713	0.0000102	13
200	138.57315	0.0000126	18	250	2.38692	0.0000100	13
201	140.32704	0.0000126	18	251	111.67773	0.0000102	13
202	124.24554	0.0000126	18	252	118.69673	0.0000105	13
203	60.51580	0.0000122	17	253	161.08269	0.0000103	13

No	Frekans	Genlik	S/G	No	Frekans	Genlik	S/G
204	36.83096	0.0000127	17	254	40.64063	0.0000104	13
205	77.76226	0.0000124	17	255	97.93930	0.0000105	13
206	61.39260	0.0000121	17	256	40.05035	0.0000103	13
207	1.83564	0.0000157	17	257	57.59280	0.0000098	13
208	78.93144	0.0000122	17	258	61.10266	0.0000102	13
209	121.32468	0.0000121	17	259	79.51906	0.0000102	13
210	41.51148	0.0000121	17	260	62.85829	0.0000099	13
211	1.08011	0.0000596	17	261	61.97541	0.0000101	13
212	177.45395	0.0000121	17	262	45.89850	0.0000103	13
213	129.80110	0.0000119	16	263	78.34897	0.0000101	13
214	106.99862	0.0000119	16	264	119.27786	0.0000100	12
215	26.31806	0.0000121	16	265	80.68941	0.0000100	12
216	3.33739	0.0000129	16	266	178.03745	0.0000100	12
217	120.74213	0.0000115	16	267	9.94845	0.0000489	12
218	60.22225	0.0000116	15	268	17.82046	0.0000110	12
219	124.83030	0.0000114	15	269	59.64179	0.0000100	12
220	62.26767	0.0000110	15	270	173.36118	0.0000099	12
221	137.98783	0.0000116	15	271	57.30065	0.0000098	12
222	1.61142	0.0000146	15	272	136.82049	0.0000097	12
223	106.41314	0.0000112	15	273	45.31550	0.0000098	12
224	25.73203	0.0000114	14	274	58.76366	0.0000099	12
225	60.80782	0.0000110	14	275	28.06557	0.0000098	12
226	95.01121	0.0000110	14	276	35.66306	0.0000099	12
227	97.34899	0.0000110	14	277	44.72372	0.0000095	12
228	95.59741	0.0000110	14	278	6.73861	0.0000249	12
229	141.49454	0.0000107	14	279	77.17774	0.0000096	12
230	2.16835	0.0000131	14	280	132.43388	0.0000097	12
231	58.17819	0.0000107	14	281	1.94492	0.0000129	12
232	29.23768	0.0000109	14	282	1.88939	0.0000121	12
233	12.30455	0.0000098	14	283	120.15110	0.0000093	12
234	26.89897	0.0000109	14	284	57.88666	0.0000097	11
235	6.15495	0.0000270	14	285	127.46425	0.0000094	11
236	123.66344	0.0000107	14	286	36.24697	0.0000096	11
237	56.72081	0.0000104	13	287	50.57528	0.0000096	11
238	112.26166	0.0000105	13	288	45.01678	0.0000094	11
239	173.94607	0.0000106	13	289	15.47429	0.0000119	11
240	125.41555	0.0000106	13	290	51.15898	0.0000095	11
241	80.10445	0.0000107	13	291	167.51693	0.0000094	11
242	121.90570	0.0000103	13	292	133.60333	0.0000094	11
243	59.34855	0.0000104	13	293	4.15214	0.0000107	11
244	166.92952	0.0000106	13	294	128.63282	0.0000093	11
245	105.82762	0.0000105	13	295	13.13198	0.0000126	11
246	49.99018	0.0000107	13	296	13.46755	0.0000103	11
247	70.74370	0.0000105	13	297	130.38396	0.0000092	11
248	137.40355	0.0000108	13	298	41.21901	0.0000093	11
299	129.21855	0.0000091	11	349	51.74557	0.0000082	9
300	4.73735	0.0000100	11	350	172.77686	0.0000082	9
301	133.01683	0.0000092	11	351	126.00253	0.0000085	9
302	131.26255	0.0000090	11	352	142.07946	0.0000082	9
303	99.68869	0.0000094	11	353	99.10470	0.0000083	9
304	18.12127	0.0000098	11	354	98.52077	0.0000083	9
305	134.18433	0.0000092	11	355	3.64964	0.0000084	9
306	96.76474	0.0000091	11	356	57.00769	0.0000082	9

No	Frekans	Genlik	S/G	No	Frekans	Genlik	S/G
307	18.70379	0.0000092	11	357	93.84118	0.0000079	9
308	96.18205	0.0000091	11	358	134.76831	0.0000080	9
309	128.04571	0.0000090	11	359	6.48197	0.0000083	9
310	56.13800	0.0000089	11	360	168.09667	0.0000078	8
311	33.03592	0.0000090	11	361	100.27560	0.0000080	8
312	68.99397	0.0000090	11	362	30.11197	0.0000078	8
313	35.08556	0.0000091	11	363	72.50275	0.0000078	8
314	13.72631	0.0000229	10	364	3.03092	0.0000090	8
315	14.31251	0.0000213	10	365	11.38027	0.0000127	8
316	1.34202	0.0000111	10	366	10.83213	0.0000193	8
317	135.94173	0.0000092	10	367	6.78418	0.0000086	8
318	76.59310	0.0000088	10	368	160.20120	0.0000075	8
319	42.10307	0.0000086	10	369	81.27442	0.0000076	8
320	18.38231	0.0000094	10	370	52.32909	0.0000077	8
321	61.68124	0.0000087	10	371	5.67072	0.0000085	8
322	70.15702	0.0000086	10	372	17.25874	0.0000117	8
323	159.91035	0.0000086	10	373	21.30715	0.0000076	8
324	94.42803	0.0000087	10	374	159.61933	0.0000074	8
325	178.62840	0.0000087	10	375	160.50089	0.0000075	8
326	2.89871	0.0000297	10	376	307.25957	0.0000075	8
327	2.57376	0.0000130	10	377	5.02588	0.0000096	8
328	71.33346	0.0000087	10	378	121.03123	0.0000075	8
329	136.23574	0.0000088	10	379	119.86635	0.0000073	8
330	179.20322	0.0000086	10	380	10.50994	0.0000085	8
331	99.98068	0.0000087	10	381	3.17973	0.0000140	8
332	142.66632	0.0000088	10	382	317.77971	0.0000073	8
333	118.10870	0.0000087	10	383	7.33213	0.0000107	8
334	69.57727	0.0000084	10	384	2.44032	0.0000086	8
335	42.69066	0.0000086	10	385	149.08988	0.0000073	8
336	19.58544	0.0000084	9	386	170.73257	0.0000073	8
337	63.14211	0.0000085	9	387	162.54291	0.0000073	8
338	5.32347	0.0000090	9	388	4.57845	0.0000076	8
339	116.94145	0.0000085	9	389	273.05338	0.0000073	8
340	112.84292	0.0000083	9	390	11.99335	0.0000230	7
341	3.44332	0.0000247	9	391	119.57224	0.0000073	7
342	172.19542	0.0000083	9	392	3.45162	0.0000250	7
343	14.88604	0.0000139	9	393	67.82486	0.0000072	7
344	171.60893	0.0000083	9	394	17.84042	0.0000091	7
345	16.06528	0.0000142	9	395	306.08683	0.0000072	7
346	16.64208	0.0000110	9	396	27.48901	0.0000072	7
347	63.72766	0.0000079	9	397	55.84204	0.0000071	7
348	2.74845	0.0000096	9	398	168.68695	0.0000071	7
399	130.97433	0.0000070	7	449	4.26078	0.0000067	6
400	68.40568	0.0000071	7	450	5.80262	0.0000088	6
401	14.63222	0.0000154	7	451	63.43860	0.0000062	6
402	121.61791	0.0000070	7	452	88.87253	0.0000061	5
403	55.54612	0.0000070	7	453	305.50173	0.0000061	5
404	62.55806	0.0000070	7	454	112.55330	0.0000061	5
405	12.55682	0.0000248	7	455	126.87881	0.0000061	5
406	75.42748	0.0000068	7	456	308.42516	0.0000061	5
407	92.66981	0.0000068	7	457	130.68224	0.0000061	5
408	135.35676	0.0000069	7	458	137.69150	0.0000061	5
409	3.91662	0.0000076	7	459	161.95582	0.0000061	5

No	Frekans	Genlik	S/G	No	Frekans	Genlik	S/G
410	6.39941	0.0000164	7	460	12.24481	0.0000067	5
411	141.78424	0.0000067	7	461	113.42597	0.0000061	5
412	18.97762	0.0000068	6	462	71.91954	0.0000061	5
413	136.52584	0.0000067	6	463	105.23972	0.0000060	5
414	126.29142	0.0000068	6	464	306.67609	0.0000060	5
415	2.80174	0.0000078	6	465	86.24168	0.0000060	5
416	99.40088	0.0000067	6	466	109.63269	0.0000060	5
417	159.33055	0.0000066	6	467	304.33474	0.0000060	5
418	5.89897	0.0000080	6	468	2.24305	0.0000075	5
419	30.69570	0.0000066	6	469	65.18856	0.0000060	5
420	131.85182	0.0000065	6	470	7.65913	0.0000064	5
421	179.79342	0.0000066	6	471	8.52930	0.0000063	5
422	320.11476	0.0000065	6	472	441.73374	0.0000059	5
423	111.38019	0.0000065	6	473	187.69120	0.0000059	5
424	76.00465	0.0000065	6	474	41.80818	0.0000059	5
425	14.05525	0.0000071	6	475	125.70981	0.0000059	5
426	307.84033	0.0000065	6	476	100.55906	0.0000058	5
427	328.30304	0.0000065	6	477	0.40418	0.0000078	5
428	56.42722	0.0000065	6	478	98.23042	0.0000058	5
429	126.58570	0.0000065	6	479	150.26870	0.0000058	5
430	135.64931	0.0000065	6	480	89.45755	0.0000058	5
431	157.86277	0.0000064	6	481	91.20867	0.0000058	5
432	117.52427	0.0000064	6	482	6.85361	0.0000066	5
433	309.01122	0.0000064	6	483	291.18169	0.0000058	5
434	4.44641	0.0000074	6	484	148.51106	0.0000058	5
435	270.70851	0.0000064	6	485	131.55901	0.0000058	5
436	111.96626	0.0000064	6	486	122.20151	0.0000058	5
437	143.25047	0.0000064	6				
438	93.25272	0.0000064	6				
439	9.09343	0.0000086	6				
440	82.44262	0.0000063	6				
441	101.14586	0.0000063	6				
442	325.96908	0.0000063	6				
443	159.03059	0.0000063	6				
444	120.44838	0.0000063	6				
445	18.45605	0.0000069	6				
446	44.42811	0.0000063	6				
447	114.31100	0.0000062	6				
448	20.72104	0.0000063	6				

EK 2. O-C analizinde kullanılan minimum zamanları.

Çizelge 3. O-C analizlerinde kullanılan minimum zamanları ve minimum türleri.

HD 350731		V335 Ser		V397 Cep	
HJD +2400000	Min I/II	HJD +2400000	Min I/II	HJD +2400000	Min I/II
54299.9065	I	50304.3500	I	48176.8450	II
54340.7838	I	50604.5000	I	48500.3320	II
54345.6896	I	50606.3700	II	48501.1800	II
54628.5684	I	50637.3900	II	48558.7490	II
54642.5482	II	50649.3500	I	49014.5360	I
54651.4605	I	51708.4494	II	51727.4294	I
54665.4390	II	53885.3284	II	51747.4065	II
56175.4058	I	53911.3399	I	51752.4710	I
56176.2986	II	53942.3883	I	51800.4655	I
56180.3108	I	54287.3757	I	51843.4053	II
53612.4138	II	54292.4146	II	51845.4822	II
53653.2919	II	54599.4533	II	51850.5486	I
54002.3133	I	54599.4539	II	53765.3542	II
53594.4279	II	54599.4548	II	53765.3542	II
56892.4851	II	54616.7032	II	53765.3549	II
57210.4492	I	54670.3163	I	53765.3563	II
		54675.3525	II	54008.3366	I
		54982.3969	I	54078.3748	II
		54982.3980	I	54078.3755	II
		54982.3983	I	54078.3804	II
		55013.4394	I	54176.4542	II
		55013.4413	I	54176.4543	II
		55013.4456	I	54176.4554	II
		55299.7795	I	54202.4106	I
		55337.7290	I	54202.4110	I
		55368.7776	I	54202.4115	I
		55384.4378	II	54204.4989	I
		55396.3787	I	54204.4993	I
		55401.6790	II	54204.5001	I
		55451.5751	I	54250.4088	I
		55630.9697	I	54252.4971	I
		55694.9212	II	54298.4063	I
				54318.3584	II
				54368.4416	II
				54776.2928	I
				54922.3708	I
				56870.5284	II
				56916.4322	II
				56965.3777	I
				57158.4980	II
				57206.5051	II
				57207.4529	I
				57278.4015	I
				57396.4000	II

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Fahri ALIÇAVUŞ

Doğum Yeri : Kırcaali

Doğum Tarihi : 09.08.1984

### EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### BİLİMSEL FAALİYETLERİ

#### a) Yayınlar -SCI –Diğer

1. Valtonen M., Zola S, Stanislaw J., ve ark. Polarization and Spectral Energy Distribution in OJ 287 during the 2016/17 Outbursts. 2017, Galaxies, 5, 83.
2. Soydugan, F., Aliçavuş F., Şenyüz T., Kahraman Aliçavuş F., Püsküllü Ç., Kanvermez C., Soydugan E., 2017. New CCD Minima Times for Selected Eclipsing Binaries. 2017, IBVS, 6225
3. Liu X., Yang P.P., Liu J., Liu B.R., Hu S.M., Kurtanidze O.M., ve ark., "Radio and optical intra-day variability observations of five blazars", 2017, MNRAS, 469.2457-2463.
4. Soydugan E., Soydugan F., Aliçavuş F., Erdem A., "Oscillating classical Algol-type binary XZ Aql", 2016, NewA, 46, 40-46.
5. Valtonen M.J., Zola S., Ciprini S., Gopakumar A., Matsumoto K., Sadakane K., ve ark., "Primary Black Hole Spi in OJ 287 as Determined by The General Relativity Centenary Flare", 2016, ApJL, 819, 2016
6. Soydugan F., Aliçavuş F., Bilir S., Soydugan E., Püsküllü C., Şenyüz T., Towards Understanding The Nature of The Young Detached Binary System HD 350731” ,

2015, AJ, 150

7. Erdem A., Aliçavuş F., Soyduğan F., Doğru S.S., Soyduğan E., Çiçek C., Demircan O., 2011. The detached eclipsing binary TX Her revisited. *NewA*, 16, 498.
8. Soyduğan F., Erdem A., Doğru S.S., Aliçavuş F., Soyduğan E., Çiçek C., Demircan O., 2011. Period studies of classical Algol-type binaries II: UX Leo, RW Mon, EQ Ori, XZ Uma and AX Vul. *NewA*, 16, 253.
9. Doğru S.S., Erdem A., Aliçavuş F., Akın T., Kanvermez C., 2011. CCD Times of Minima of Some Eclipsing Variables. *IBVS*, 5988.
10. Erkan N., Erdem A., Akın T., Aliçavuş F., Soyduğan F., 2010. CCD Times of Minima of Some Eclipsing Binary Stars. *IBVS*, 5924

b) Bildiriler -Uluslararası –Ulusal

1. Aliçavuş F., Soyduğan F., “Comparison of Single and Binary Star Evolution Models for Selected Detached Binaries”. 2017, *The Impact of Binaries on Stellar Evolution*, Münih
2. Aliçavuş F., Soyduğan F. Photometric Distances From Well-Detached Eclipsing Binaries and Comparison Them with Hipparcos and Gaia Parallaxes. 2017. *TPS*, 33. International Physics Congress, Bodrum.
3. Pigulski A., Kamiska MK., Kamiski KA., Paunzen E., ve ark.  $\tau$  Ori and  $\tau$  Lib: two new massive heartbeat systems. 2017. the 3rd BRITE Science Conference, Kanada.
4. Aliçavuş F., Soyduğan F. Absolute Parameters and Evolutionary Model Comparison of Detached Eclipsing Binary KIC 8552540. 2017. *TPS*, 33. International Physics Congress. Bodrum
5. Aliçavuş F., Soyduğan F., Precise analysis of two Kepler detached eclipsing binary stars KIC 3327980 and KIC 10156064. 2016. *TPS*, 32. International Physics Congress, Bodrum.
6. Aliçavuş F., Soyduğan F., Photometric analysis of Kepler contact binaries with large fill-out factors: KIC 3221207 and KIC 6677225. 2016, *TPS*, 32. International Physics Congress, Bodrum.



7. Aliçavuş F., O-C Analaysis, Spectroscopic Analaysis of pulsating stars. 2015, The 5th International Workshop on Occultation and Eclipse. İran.
8. Aliçavuş, F., Soyduğan, F., Bilir, S., Soyduğan, E., Püsküllü, Ç., Şenyüz, T., Genç Ayırık Çift Yıldız HD 350731'in Doğası, 2015, 19. Ulusal Astronomi Kongresi, Ankara.
9. Aliçavuş, F., Kahraman, F., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Değen çiftlerde son durum: EL Aqr ve V407 Peg'in mutlak parametreleri., 2012, 18. Ulusal Astronomi Kongresi, Malatya.
10. Kahraman, F., Soyduğan F., Şenyüz, T., Aliçavuş, F., ve Soyduğan, E., Absolute Parameters and Photometric Properties of V1073 Cyg and V357 Peg. 2012, Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi, Bodrum.
11. Ogloza, W.; Kreiner, J. M.; Stachowski, G.; Winiarski, M.; Zakrzewski, B.; Doğru, S.; Aliçavuş, F.; Demircan, O.; Erdem, A., O-C Analysis of Selected 3-Body Systems., 2012, IAUS, 282, 85.
12. Kahraman F., Demircan, O., Aliçavuş, F., A way go to red novas from close binaries., 2012, Türk Fizik Derneği 29. Uluslararası Fizik Kongresi, Bodrum.
13. Aliçavuş F., Soyduğan F., Erdem A., Doğru S.S., Çiçek C., Soyduğan E., ve Demircan O., "Bazı Klasik Algollerin Yörünge Dönemi Değişimlerine ilk Yaklaşımlar"., 31 Ağustos-4 Eylül 2010, Çukurova Üniversitesi, Adana., 2010
14. Değen çift yıldızlardan kırmızı novalara giden ince yol: Kırmızı Novaların Sırrı." Kahraman, F., Demircan, O., Aliçavuş, F., 2012, 18. Ulusal Astronomi Kongresi, Malatya.
15. Aliçavuş F., Erdem A., 2010. Kromosferik Aktif Çift yıldız SV Cam'ın Yörünge Dönemi Analizi. Güneş Ve Güneş Benzeri Yıldızlar Sempozyumu, İstanbul, Sempozyum K., s.207, ISBN 978-975-404-886-5.

c) Katıldığı Projeler

**Proje Adı** : Klasik Algollerde Yörünge Dönemi Değişimlerinin Çok Yönlü İncelenmesi

**Proje Final Raporu Künyesi** : 108T714

**Destekleyen Kuruluş** : TÜBİTAK - 1001

**Yıl Aralığı**: 2009- 2011

**Proje Adı** : Çift Yıldızlarda Açışal Momentum ve Yörünge Evrimi

**Proje Final Raporu Künyesi** : 111T224

**Destekleyen Kuruluş** : TÜBİTAK - 1001

**Yıl Aralığı**: 2012- 2014

**Proje Adı** : Yakın Uzaydaki İki Çizgili Tayfsal Ve Tutulmalı Ayrık Çift Yıldız Verileri İle Güncellenmiş Kütle-Parlaklık Bağıntısını Kullanıp Anakol Etkin Sıcaklıklarının İyileştirilmesi, Bolometrik Düzeltme Katsayılarının Hesaplanması

**Proje Künyesi** : 114R072

**Destekleyen Kuruluş** : TÜBİTAK - 1001

**Yıl Aralığı**: 2015 - ....

**Proje Adı** : Monitoring optical variability of giant radiogalaxies cores

**Proje Künyesi** : 10CT60-76

**Destekleyen Kuruluş** : TUG

**Yıl Aralığı**: 2010 - 2016

**Proje Adı** : Uzun Dönemli RC CVn'lerde Işıkkürenin Aktivitesi

**Proje Künyesi** : 14CT60-682

**Destekleyen Kuruluş** : TUG

**Yıl Aralığı**: 2014 – 2016

**Proje Adı** : BRITE Uyduları ile Gözlenen Parlak Yıldızların Tayfsal Çalışması

**Proje Künyesi** : 17ARTT150-1139

**Destekleyen Kuruluş** : TUG

**Yıl Aralığı**: 2017 – 2017

**Proje Adı** : Değmeye Yakın ve Erken Değme Evresindeki Yakın Çift Yıldızları İncelenmesi

**Proje Künyesi** : 17BT100-1197

**Destekleyen Kuruluş** : TUG

**Yıl Aralığı**: 2017 – Devam ediyor

**Proje Adı** : NGC 6819 AÇIK YILDIZ KÜMESİNDEKİ BAZI ÇİFT YILDIZLARIN İNCELENMESİ

**Proje Künyesi** : FBA-2016-858

**Destekleyen Kuruluş** : ÇOMÜ-BAP

**Yıl Aralığı**: 2016 – 2016

**Proje Adı** : Angular Momentum and Orbital Period Evolution of Binary Stars  
**Proje Künyesi** : C2-C3-C4-C10-D9  
**Destekleyen Kuruluş** : NRC-Canada  
**Yıl Aralığı**: 2012 – 2013

## **İŞ DENEYİMİ**

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi,  
Fizik Bölümü, 2011- ...

## **İLETİŞİM**

E-posta Adresi :fahrilcvs@gmail.com

