

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



ÖRTEN İKİZ ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Gökhan YÜCEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



ÖRTEN İKİZ ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Gökhan YÜCEL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

HAZİRAN 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÖRTEN İKİZ ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Gökhan YÜCEL

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

Bu tez 27/06/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Volkan BAKIŞ (Danışman)

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Kutluay YÜCE

Prof. Dr. Zeki EKER

ÖZET

ÖRTEN İKİZ ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Gökhan YÜCEL

Doktora Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

Haziran 2022; 141 sayfa

Galaksimizi ve sonrasında büyük ölçekte evreni anlamaya başlamak için en temelden başlayarak, galaksilerin bir nevi yapıtaşını oluşturan yıldızları anlamamız gerekir. Örten çift yıldız sistemleri, yıldızlar hakkında sundukları ayrıntılı bilgiler ile modern astrofiziğin gelişmesinde büyük rol oynarlar. Bir çift yıldız sistemindeki bileşenlerin kütlelerinin birbirine olan oranı 0.95'den büyük ise, bu sisteme ikiz çift yıldız sistemi; eğer bu sistemde bir tutulma gerçekleşiyorsa da bu sisteme örten ikiz çift yıldız sistemi denir. Bu tez çalışmasında *Kepler* uzay teleskobunun verileri ile oluşturulan Kepler Eclipsing Binary Catalog (KEBC)'nin incelenmesi sonucu seçilen 88 çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemi adayları arasından, 43 çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemi belirlendi. Belirlenen sistemlerin fotometrik gözlemleri yapıldı ve sistemlerin renk indisleri elde edildi. Elde edilen renkler, renk-renk diyagramlarında kullanılarak belirlenen ikizlerin tayf türleri tespit edildi. Bu sistemlerin tayf türlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla belirlenen fotometrik uzaklıklar hesaplandı ve *Gaia* uzaklığı ile karşılaştırıldı. Sonuç olarak; 43 çember yörüngeli ikiz adayları sistemden 34 tanesinin tayf türü, *Gaia* uzaklıkları ile uyumlu olduğu görüldü. KEBC'deki basık yörüngeli örten ikiz çift sistemler ise Kjurkchieva vd. (2017)'nin belirlediği listeden 47 basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistem adayları seçildi ve analiz edilerek 15 tanesinin basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemi olduğu tespit edildi. Toplamda tayf türü belirlenen 49 örten ikiz çift yıldız sisteminin tayf türü dağılımları incelendi ve literatürdeki diğer örten ikiz çift yıldız sistemi dağılımları ile kıyaslandı. Mutlak parametrelerinin belirlenmesi için SB9'dan üç sistem (AN Cam, RS Ari, V455 Aur) seçildi ve bu sistemlerin mutlak parametreleri ile metal bollukları belirlendi. MESA evrim kodu kullanılarak bu sistemlerin başlangıç yörünge parametreleri hesaplandı ve hesaplanan parametreler ile sistemlerin detaylı evrim analizi gerçekleştirildi. Eker vd. (2018) kataloğundan seçilen mutlak parametreleri iyi belirlenmiş 34 örten ikiz çift yıldız sisteminin çift yıldız evrim analizi hesaplanarak sistemlerin başlangıç yörünge parametreleri hesaplandı ve yıldız oluşum senaryoları tartışıldı.

ANAHTAR KELİMELE: Örten çift yıldızlar, Kepler misyonu, fotometri, tayf, yıldız evrimi.

JÜRİ: Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Kutluay YÜCE

Prof. Dr. Zeki EKER



ABSTRACT

ANALYSIS OF ECLIPSING TWIN BINARY SYSTEMS

Gökhan YÜCEL

PhD Thesis in Space Science and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

June 2022; 141 pages

We need to understand stars, which are the cornerstones of the galaxies, to understand our galaxy and, therefore, the universe. Eclipsing binary systems have been playing the biggest role in advancement in modern astrophysics while providing detailed information about stars. If the mass ratio between components of a binary system is bigger than 0.95, that system is called a twin binary system, and if an eclipsing occurs in that system, called an eclipsing twin binary system. In this thesis, by analyzing Kepler Eclipsing Binary Catalog, we have selected 88 eclipsing twin binary candidate systems with circular orbits according to our criteria. After analysis, 43 of them were determined as twin binary systems. Photometric observations of these systems have been made, and colours of these systems obtained. After that, we have determined their spectral type from colour-colour diagrams. To test our spectral type results, we have calculated photometric distances of each system with the determined spectral type and compared the results with *Gaia* distances. As a result, spectral types of 34 eclipsing twin binary systems with circular orbits out of 43 have been obtained in harmony with *Gaia* distances. To determine eclipsing twin binary systems with an eccentric orbit, 47 systems have been selected from Kjurkchieva et al. (2017) as candidates. After analysis, 15 eccentric systems out of 47 have been determined as eclipsing twin binary systems with eccentric orbits. As a result, the spectral type distribution of 49 eclipsing twin binary systems has been analyzed with previous studies in the literature. Three systems, AN Cam, RS Ari, and V455 Aur, have been selected from SB9 for determining absolute parameters and metallicity. Initial orbital parameters of these three systems have been calculated, and detailed evolution calculations have been made via using calculated initial orbital parameters via using MESA evolution code. Also, we have selected well-studied 34 eclipsing twin binary systems from Eker et al. (2018) for determining initial orbital parameters via evolutionary analysis and discussed formation scenarios of twins.

KEYWORDS: Eclipsing binaries, Kepler mission, photometry, spectroscopy, stellar evolution.

COMMITTEE: Prof. Dr. Volkan BAKIŞ

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

Prof. Dr. Kutluay YÜCE

Prof. Dr. Zeki EKER



ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen başta danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Volkan BAKIŞ olmak üzere, bölümümüz hocalarına verdikleri her türlü destek ve emekten dolayı teşekkür ederim.

Doktora tez çalışmam boyunca Tez İzleme Komitesi'nde yer alan, yorumları ve tavsiyeleriyle doktora tezimin tamamlanmasında emeği geçen Prof. Dr. Zeki EKER ve Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN hocalarıma ayrıca teşekkür ederim.

Doktora çalışmam boyunca gözlemlerin elde edilmesinde emeği geçen, gözlemlerde destek sağlayan TUG gözlem sorumluları Oğuzhan OKUYAN, Doğan Tekay KÖSEOĞLU, Orhan ERECE, Yücel KILIÇ, Kadir ULUÇ, Sıla ERYILMAZ KILIÇ, Süleyman KAYNAR'a ve TUG Bakırlıtepe yerleşkesinde görev yapan teknik destek personeline teşekkür ederim.

Hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Örten İkiz Çift Yıldız Sistemleri	16
3.1.1. Örten ikiz çift sistemlerin ışık eğrisi analizi ile belirlenmesi	16
3.1.2. Örten ikiz çift sistemlerin tayf türlerinin renk indisleri ile belirlenmesi	18
3.2. Fotometrik Veriler	18
3.2.1. <i>Kepler</i> verisi ve ikiz aday sistemlerin seçimi	18
3.2.2. T100 ve UBT60 fotometrik verileri	20
3.2.3. TESS verisi	21
3.3. Dikine Hız Verileri	22
3.4. Tayf Verileri	23
3.5. Literatürde Bulunan Parametreleri Belirlenmiş Örten İkiz Çift Sistemler	23
3.6. Fotometrik Verilerin Analizi	25
3.6.1. <i>Kepler</i> verisinin analizi	25
3.6.2. T100 ve UBT60 verilerinin analizi ve özgün renklerin belirlenmesi	26
3.6.3. Çember yörüngeli örten ikiz çift sistemlerin tayf türlerinin belirlenmesi	27
3.7. Dikine Hız Verilerinin Analizi	29
3.8. Tayf Verilerinin Analizi	31
3.8.1. Atmosferik parametrelerin belirlenmesi	31
3.8.2. Dikine hız ölçümlerinin elde edilmesi	32
3.9. Evrim Analizi	33
4. BULGULAR	35
4.1. Belirlenen Örten İkiz Çift Yıldız Sistemleri	35
4.1.1. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemleri	35

4.1.2. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemleri	39
4.2. Dikine Hız Eğrileri ve Işık Eğrisi Çözümleri	40
4.2.1. EPIC 202072991 (V396 Gemini)	40
4.2.2. AN Camelopardalis	43
4.2.3. RS Arietis	48
4.2.4. V455 Aurigea	51
4.3. Atmosferik Parametrelerin Hesabı	55
4.3.1. EPIC 202072991 (V396 Gemini)	57
4.3.2. AN Camelopardalis	59
4.3.3. RS Arietis	62
4.3.4. V455 Aurigea	64
4.4. Mutlak Parametreler	67
4.5. Tek Yıldız Evrim Hesapları	72
4.5.1. V396 Gemini	72
4.5.2. AN Camelopardalis	75
4.5.3. RS Arietis	77
4.5.4. V455 Aurigea	79
4.6. Çift Yıldız Evrimi Hesapları	81
4.6.1. AN Camelopardalis	82
4.6.2. RS Arietis	85
4.6.3. V455 Aurigea	88
4.6.4. Başlangıç parametreleri belirlenecek sistemlerin evrim analizi	92
5. TARTIŞMA	93
6. SONUÇLAR	101
7. KAYNAKLAR	104
8. EKLER	116
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum "Örten İkiz Çift Yıldız Sistemlerinin Analizi" adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

27/06/2022

Gökhan YÜCEL



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Yarı-büyük eksen uzunluğu
A_V	: Johnson V bandındaki sönmeme katsayısı
$\text{\AA}$	: Angstrom
$(B - V)$	: Renk indisi
$(B - V)_0$	: Kızılaştırılmadan arındırılmış renk indisi
$^\circ$	: Derece
d	: Uzaklık
d_{Gaia}	: <i>Gaia</i> uydusunun belirlediği uzaklık
dex	: Desimal exponensiyeli
e	: Yörünge basıklığı
γ	: Kütle merkezi dikine hızı
Γ	: Leke açısal çapı
H	: Hidrojen
He	: Helyum
H_β	: Hidrojen Beta, Balmer serisinin ikinci çizgisi
i	: Yörünge eğimi
K	: Kelvin, sıcaklık birimi
$K_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerin dikine hız genlikleri
km	: Kilometre
L_1	: Birinci Lagrange noktası
$L_\odot$	: Güneş'in ışıyım gücü
$L_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerin ışıyım güçleri
$\log g_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerin yüzey çekim ivmelerinin logaritması
$M_\odot$	: Güneş kütlesi
$M_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerin kütleleri
$[M/H]$	: Metal bolluğu
ν	: Gerçek anomali
P	: Yörünge dönemi
pc	: Parsek
ψ	: Leke boylamı
q	: Kütle oranı
r	: Görelî yarıçap
$R_\odot$	: Güneş'in yarıçapı
$R_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerin yarıçapları
s	: Saniye
σ	: Stefan-Boltzmann Sabiti

σ_w	: Ağırlıklı ortalamanın hatası
Sp	: Tayf türü
T_{eff}	: Etkin sıcaklık
T_0	: Referans minimum zamanı
T_*	: Leke sıcaklığının fotosfer sıcaklığına oranı
θ	: Leke eş-enlemi
$v \sin i$	: Ekvatorial dönme hızı
$v \sin i_{1,2}$	: Çift yıldız bileşenlerinin ekvatorial dönme hızları
v_{turb}	: Mikrotürbülans hızı
w	: Emberinin boyları



Kısaltmalar

AGB	: Asymptotic Giant Branch
ALMA	: Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
Ari	: Arietis
ASAS	: The All Sky Automated Survey (Otomatik Tüm Gökyüzü Taraması)
AU	: Astronomik Birim
Aur	: Aurigea
Cam	: Camelopardalis
GA	: Güçlü Argüman
DC	: Differential Correction (Diferansiyel düzeltme)
DTÇYK	: Dokuzuncu Tayfsal Çift Yıldızlar Kataloğu
Gem	: Gemini
GUI	: Graphical User Interface (Kullanıcı arayüzü)
H-R	: Hertzsprung - Russell Diyagramı
IRAF	: Image Reduction and Analysis Facility
IY	: Işık yılı
JD	: Jülyen günü
KEBC	: Kepler Eclipsing Binary Catalog
KMB	: Küçük Macellan Bulutu
LTE	: Local Thermodynamic Equilibrium
MESA	: Modules for Experiments in Stellar Astrophysics
PHOEBE	: PHysics Of Eclipsing BinariEs
SB1	: Tek çizgili tayfsal çift yıldız sistemi
SB2	: Çift çizgili tayfsal çift yıldız sistemi
SBS	: Spectroscopic Binary Solver
TAMS	: Terminal Age Main Sequence
ThAr	: Toryum-Argon
TUG	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
UMa	: Ursa Majoris
WD	: Wilson-Devinney
WR	: Wolf-Rayet
ZA	: Zayıf Argüman
ZAMS	: Zero Age Main Sequence

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Lucy ve Ricco (1979)'un elde ettiği kütle oranları düzeltilmiş tayfsal çift yıldızların kütle oranı dağılımı	5
Şekil 2.2. Hogeveen (1992)'nin elde ettiği hatalar arındırılmış kütle oranı dağılım grafiği	6
Şekil 2.3. Farklı başlagıç kütle oranına sahip anakol öncesi çift yıldızların, oluştuğu buluttan topladığı kütleye göre kütle oranındaki değişim. (a) eşit yoğunluklu bulut; (b) yoğunluğun yarıçap ile değiştiği bulut (Bate 1998)	7
Şekil 2.4. Anakol öncesi çift yıldızların, oluştuğu buluttan topladığı kütleye göre oluşturdukları yapının görüntüsü (Bate 2000)	7
Şekil 2.5. Tokovinin (2000)'in elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği	8
Şekil 2.6. Halbwachs vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği	9
Şekil 2.7. Mazeh vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği	10
Şekil 2.8. Simon ve Obbie (2009)'un elde ettiği kütle oranına bağlı olarak tayf türü dağılımı grafiği	12
Şekil 2.9. Tobin vd. (2016)'nın keşfettiği üçlü sistemin ALMA teleskobu ile alınan görüntüsü	13
Şekil 2.10. Çok bileşenli ikiz çift sistem senaryoları (Tokovinin 2018)	14
Şekil 2.11. SB2lerden elde edilen normalize edilmiş kütle oranı dağılım grafiği (Kounkel vd. 2019)	15
Şekil 2.12. Bakış vd. (2020)'nin elde ettiği, örten ayrık çift yıldız sistemlerinin baş bileşenlerinin tayf türü dağılımı ile örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımının karşılaştırılması	15
Şekil 3.1. <i>Kepler</i> teleskobundaki CCD'lerin dalgaboyuna göre duyarlılık eğrileri (Koch vd. 2010)	19
Şekil 3.2. TESS ve diğer filtre sistemlerinin duyarlılık fonksiyonu (Ricker vd. 2015)	22
Şekil 3.3. Kjurkchieva vd. (2017) çalışmasında a) KIC 8316505, b) KIC 5731312, c) KIC 11858541 için elde ettiği ışık eğrisi modelleri	26
Şekil 3.4. Tayf türü belirlemek için kullanılan örnek bir renk-renk diyagramı ve kızıllaşma eğrisi	28
Şekil 4.1. Bu tez çalışmasında tayf türü belirlenen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerin fotometrik uzaklıklarının, <i>Gaia</i> trigonometrik paralaks ölçümlerinden hesaplanmış uzaklıkları ile karşılaştırılması	38
Şekil 4.2. V396 Gem'in dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir	43

Şekil 4.3. V396 Gem'in fotometrik verilerine yapılan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi de ışık eğrisi modelini temsil etmektedir	43
Şekil 4.4. AN Cam'ın dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir	47
Şekil 4.5. AN Cam'ın fotometrik verilerine yapılan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir	47
Şekil 4.6. RS Ari sisteminin dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir	50
Şekil 4.7. RS Ari sisteminin fotometrik verilerine uygulanan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir	50
Şekil 4.8. V455 Aur sisteminin dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir	54
Şekil 4.9. V455 Aur sisteminin fotometrik verilerine uygulanan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir	54
Şekil 4.10. V396 Gem tayfının 0.29 evrede H_{β} bölgesinin 7000 K sıcaklıklı, $[M/H]=+0.1$ metal bolluğuna sahip atmosfer modelinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfı ifade etmektedir	57
Şekil 4.11. V396 Gem'in (a) 5. eşel basamağa ve (b) 9. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	58
Şekil 4.12. V396 Gem'in (a) 10. eşel basamağa ve (b) 11. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	59
Şekil 4.13. AN Cam tayfının 0.129 evrede H_{β} bölgesinin 5900 K ve 6050 K sıcaklıklı, $[M/H]=-0.07$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfı ifade etmektedir	60
Şekil 4.14. AN Cam'ın (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	61
Şekil 4.15. AN Cam'ın (a) 12. eşel basamağa;(b) 13. eşel basamağa ve (b) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	61

Şekil 4.16. RS Ari tayfının 0.733 evrede H_{β} bölgesinin 5000 K ve 6000 K sıcaklıklı, $[M/H]=+0.17$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfi ifade etmektedir	62
Şekil 4.17. RS Ari'nin (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	63
Şekil 4.18. RS Ari'nin (a) 12. eşel basamağa; (b) 13. eşel basamağa ve (b) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	64
Şekil 4.19. V455 Aur tayfının 0.903 evrede H_{β} bölgesinin 6500 K ve 6424 K sıcaklıklı, $[M/H]=-0.07$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfi betimlemektedir	65
Şekil 4.20. V455 Aur'un (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	66
Şekil 4.21. V455 Aur'un (a) 12. eşel basamağa; (b) 13. eşel basamağa ve (b) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu	66
Şekil 4.22. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	73
Şekil 4.23. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	73
Şekil 4.24. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	74
Şekil 4.25. V396 Gem bileşenlerinin $Y_{\text{aş}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	74
Şekil 4.26. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	75
Şekil 4.27. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	76
Şekil 4.28. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	76
Şekil 4.29. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	77
Şekil 4.30. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	78
Şekil 4.31. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	78
Şekil 4.32. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	79

Şekil 4.33. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	80
Şekil 4.34. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları	80
Şekil 4.35. AN Cam'ın çift yıldız evrimi için yapılan farklı başlangıç basıklığı için en küçük χ^2 'yi veren başlangıç yörünge dönemleri	82
Şekil 4.36. AN Cam'ın yörünge parametrelerinin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi	83
Şekil 4.37. AN Cam sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi	84
Şekil 4.38. AN Cam sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları	84
Şekil 4.39. RS Ari'nin başlangıç döneminin belirlenmesi için yapılan χ^2 fiti	85
Şekil 4.40. RS Ari'nin yörünge döneminin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi	87
Şekil 4.41. RS Ari sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi	87
Şekil 4.42. RS Ari sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları	88
Şekil 4.43. V455 Aur'un çift yıldız evrimi için yapılan farklı başlangıç basıklık değerleri için en küçük χ^2 değerini veren başlangıç yörünge dönemleri	89
Şekil 4.44. V455 Aur'un basıklık ve yörünge döneminin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi	90
Şekil 4.45. V455 Aur sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi	91
Şekil 4.46. V455 Aur sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları	91
Şekil 5.1. Bu çalışmada belirlenen örten ikiz çift yıldız sistemlerin tayf türü dağılımının KEBC'de bulunan ayrık çift yıldızların sistemlerin tayf türü dağılımı ile karşılaştırılması	93
Şekil 5.2. Eker vd. (2018)'deki O-B tayf türü çıkarılmış ve dahil edilmiş iki ayrı örnek ile KEBC'deki ayrık sistemlerin tayf türü dağılımı	94
Şekil 5.3. Literatürde bilinen örten ikiz çift yıldız sistemlerin tayf türü dağılımı	95
Şekil 5.4. Literatürde bilinen örten ayrık çift yıldız sistemlerin normalize edilmiş tayf türü dağılımı ile örten ikiz çift yıldız sistemlerin normalize edilmiş tayf türü dağılımının karşılaştırılması (Bakış vd. 2020)	95
Şekil 5.5. Literatürde bilinen örten ikiz çift yıldız sistemlerin Galaktik düzlemden dik uzaklıkları	96

Şekil 5.6. Eker vd. (2018)'den seçilen örten ikiz çift yıldız sistemlerinin başlangıç yörünge parametreleri	100
Şekil 8.1. (a) EPIC 201810513 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 2012065543 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 202072991 çift sisteminin ışık eğrisi modeli	122
Şekil 8.2. (a) EPIC 202094234 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 205463986 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 210744182 çift sisteminin ışık eğrisi modeli	123
Şekil 8.3. (a) EPIC 211623903 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 211732801 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 211936444 çift sisteminin ışık eğrisi modeli	124
Şekil 8.4. (a) EPIC 211995966 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 211997641 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 211999656 çift sisteminin ışık eğrisi modeli	125
Şekil 8.5. (a) KIC 3248019 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 3654950 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4157488 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	126
Şekil 8.6. (a) KIC 4365461 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 4826439 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4912589 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	127
Şekil 8.7. (a) KIC 4912991 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5090690 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 5263802 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	128
Şekil 8.8. (a) KIC 5285607 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5384802 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 5738698 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	129
Şekil 8.9. (a) KIC 6543674 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 6629332 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 7970629 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	130
Şekil 8.10. (a) KIC 7971389 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 8075618 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 8243263 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	131
Şekil 8.11. (a) KIC 8330575 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 8445775 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 8939650 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	132
Şekil 8.12. (a) KIC 9652632 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 9786017 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 9881258 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	133
Şekil 8.13. (a) KIC 9906590 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 10191056 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 10275074 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	134
Şekil 8.14. (a) KIC 10480952 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 10491031 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 10547685 çift sisteminin ışık eğrisi modeli .	135
Şekil 8.15. KIC 11704044 çift sisteminin ışık eğrisi modeli	136
Şekil 8.16. (a) KIC 3865298 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 4375101 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4937143 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	137
Şekil 8.17. (a) KIC 5021732 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5347784 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 6147573 çift sisteminin ışık eğrisi modeli . . .	138

Şekil 8.18. (a) KIC 6301030 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (b) KIC 6431670 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (c) KIC 6610219 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli . . . 139

Şekil 8.19. (a) KIC 6949550 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (b) KIC 8700506 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (c) KIC 8984706 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli . . . 140

Şekil 8.20. (a) KIC 9344623 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (b) KIC 9658118 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli; (c) KIC 9837544 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli . . . 141



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Evrim yollarının hesaplanması için seçilen ikiz çift sistemler (Eker vd. 2018)	24
Çizelge 3.2. MESA <i>binary</i> modu tercih edilen parametreler	34
Çizelge 4.1. KEBC’de tespit edilen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerin parametreleri	35
Çizelge 4.2. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin gözlemleri ve elde edilen standarda dönüştürülmüş renkleri ile hataları	37
Çizelge 4.3. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin özellikleri	39
Çizelge 4.4. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin astrofizik ve yörünge parametreleri	40
Çizelge 4.5. V396 Gem sistemindeki bileşenler için hesaplanan dikine hızları ve hataları	41
Çizelge 4.6. V396 Gem’in tayfsal yörünge parametreleri.	41
Çizelge 4.7. V396 Gem’in dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden belirlenen temel parametreleri	42
Çizelge 4.8. AN Cam bileşenlerinin dikine hızları (Imbert 1987)	44
Çizelge 4.9. AN Cam’ın tayfsal yörünge parametreleri	45
Çizelge 4.10. AN Cam’ın dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden belirlenen temel parametreleri	46
Çizelge 4.11. RS Ari bileşenlerinin dikine hızları (Imbert 2002)	48
Çizelge 4.12. RS Ari’nin tayfsal yörünge parametreleri	49
Çizelge 4.13. RS Ari sisteminin dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden elde edilen temel parametreleri	51
Çizelge 4.14. V455 Aur’un baş ve yoldaş bileşenlerinin dikine hızları (Griffin 2001; 2013)	52
Çizelge 4.15. V455 Aur sisteminin tayfsal yörünge parametreleri	53
Çizelge 4.16. V455 Aur sisteminin dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden elde edilen temel parametreleri	55
Çizelge 4.17. V396 Gem’in metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri	58
Çizelge 4.18. AN Cam’ın metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri	60
Çizelge 4.19. RS Ari’nin metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri	63
Çizelge 4.20. V455 Aur sisteminin metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri	65

Çizelge 4.21. Bu tez çalışmasında V396 Gem'in hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları	68
Çizelge 4.22. Bu tez çalışmasında AN Cam'ın hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları	69
Çizelge 4.23. Bu tez çalışmasında RS Ari'nin hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları	70
Çizelge 4.24. Bu tez çalışmasında V455 Aur'un hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları	71
Çizelge 4.25. AN Cam'ın her bir evrim aşamasını zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi	83
Çizelge 4.26. RS Ari'nin her bir evrim aşamasını zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi	86
Çizelge 4.27. V455 Aur'un her bir evrim basamağının zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi	89
Çizelge 4.28. Başlangıç yörünge parametreleri çift yıldız evrimi ile elde edilecek sistemler ve sonuçları	92
Çizelge 5.1. Bu tez çalışmasında hesaplanan AN Cam'ın mutlak parametreleri ile Southworth (2021a)'nın hesapladığı mutlak parametrelerin karşılaştırılması	98
Çizelge 5.2. Bu tez çalışmasında hesaplanan V455 Aur'un mutlak parametreleri ile Southworth (2021b)'nin hesapladığı mutlak parametrelerin karşılaştırılması	99

1. GİRİŞ

Bilimsel anlayış içerisinde bir kavramı anlayabilmenin yollarından birisi, o kavramı oluşturan en temel yapının anlaşılmasıdır. Bu bağlamda, içinde yaşadığımız galaksimizi ve sonrasında evreni anlayabilmek için galaksilerin en önemli yapıtaşı olan yıldızları anlamak gerekir. Yıldızlar canlılar gibi doğar, büyür ve ölür. Yıldızların temel fiziksel parametreleri ömrü boyunca nasıl değiştiğini anlamak için yıldız iç yapısı ve evrimi teorisinin anlaşılması gerekir. Sadece gözlem ve teoriyi anlamak yetmez.

Galaksimizdeki yıldız dağılımı üzerine yapılan çalışmalar, birçok yıldızın aslında çoklu bir sistemin parçası olduğunu göstermiştir (Duchêne ve Kraus 2013; Lee vd. 2020). Sadece iki yıldız ortak bir kütle merkezi etrafında hareket ediyorsa bu sistemlere çift yıldız sistemleri denir.

Çift yıldız sistemleri; görsel, astrometrik, tayfsal ve örten çift yıldız sistemleri olmak üzere dört ana gruba ayrılır. Görsel çift yıldız sistemleri, iki bileşeni de birbirinden görsel olarak ayırt edilebilen yıldız sistemleridir. Astrometrik çift sistemler, görsel olarak bileşenleri birbirinden ayırt edilemeyen ancak gökyüzündeki hareketinden dolayı çift yıldız oldukları belirlenen sistemlerdir. Bu tür sistemlerin çift yıldız sistemi oldukları yörünge hareketlerinin astrometrik ölçümleri ve bu ölçümlerin analizi ile belirlenir. Eğer bir yıldızın tayfında iki farklı yıldıza ait atomik ve/veya moleküler çizgiler görülüyorsa ve bu çizgiler Doppler etkisi ile periyodik olarak kırmızıya ve maviye kaymalar gösteriyorsa bu sistemlere çift çizgili tayfsal çift yıldız sistemler (SB2), sadece tek bir bileşene ait çizgiler görünüyorsa ise bu sistemlere de tek çizgili tayfsal çift yıldız sistemler (SB1) denir (De Loore ve Doom, 1992). Bir çift yıldız sisteminde yörünge eğimi ile gözlemcinin bakış doğrultusu arasındaki açı 90 derece veya örtmeye yetecek kadar ise, bileşenlerden biri, diğerini dönemsel olarak örteceğinden bu sistemin parlaklığında periyodik olarak bir değişim meydana gelir. Bu tür çift yıldız sistemlerine örten çift yıldız sistemleri denir. Örten çift yıldız sistemleri aynı zamanda tayfsal SB1 veya SB2 sistemleri olabilir.

Örten çift yıldızların parlaklığı, örtülmeler sebebiyle zamanla değişir. Bu değişimin, yörünge dönemine (evreye) göre veya zamana göre değişimine ışık eğrisi denir. Örten çift yıldız sistemleri ışık eğrilerine göre ayırık, yarı ayırık ve değen örten çift yıldızlar olmak üzere üç gruba ayrılır. Ayırık örten çift yıldız sistemlerinde bileşen yıldızlar, Roche yüzeylerini henüz doldurmamışlardır ve herhangi bir kütle aktarımı gerçekleşmemiştir. Yarı ayırık örten çift yıldız sistemlerde bileşenlerden biri, Roche yüzeyini doldurmuş ve henüz Roche yüzeyini doldurmamış diğer bileşene L_1 olarak belirtilen birinci Lagrange noktasından kütle aktarımı yapmaktadır. Son olarak, değen örten çift yıldız sistemlerde bileşenlerin ikisi de Roche yüzeyini doldurmuş ve ortak bir zarf içerisinde bulunmaktadır.

Yıldızların evrimi; kütlelerine ve içeriğindeki kimyasal bileşime bağlıdır (Heney vd. 1959; Iben 1965a, 1965b, 1966a, 1966b, 1966c, 1967a, 1967b, 1967c; Maeder ve Meynet 1989; Hurley vd. 2000). Çift yıldız sistemleri, kendisini oluşturan bileşen yıldızların mutlak parametrelerinin çok duyarlı bir şekilde hesaplanmasına olanak verir. Çift yıldızların analizi sayesinde yıldızlara ait kütle, yarıçap gibi fiziksel parametreler %1, hatta ölçümlerin duyarlılığına göre daha küçük hata paylarıyla hesaplanabilmektedir (Torres vd. 2010; Serenelli vd. 2021). Bundan dolayı da çift yıldız sistemleri, astrofizik çalışmalarının ön safhalarında yer almıştır. Özellikle ayrık çift çizgili örten çift yıldızların analizi sonucu elde edilen hassas mutlak parametreler (kütle, yarıçap vb.) yıldızların kütle-yarıçap (M-R), kütle-ışınım gücü (M-L), kütle-sıcaklık (M-T) ilişkilerini inceleyen çalışmalara imkan sağlamıştır (Demircan ve Kahraman 1991; Malkov 2007; Xia vd. 2008; Benedict vd. 2016; Moya vd. 2018; Eker vd. 2018).

Gelişen teknoloji ile beraber özellikle yıldızlardaki parlaklık değişimlerini inceleyen ve sürekli olarak gökyüzünü gözleyen yer tabanlı teleskoplar, Dünya atmosferinin bozucu etkilerine maruz kalmaları nedeniyle yavaş yavaş yerini uzay teleskoplarına bıraktı. 1989 yılında uzaya konumlandırılan ve 1989-1993 yılları arasında görev yapan Hipparcos teleskobu (European Space Agency 1997), her ne kadar galaksimizdeki cisimlerin konum, paralaks ve öz hareket tespiti amacıyla görevine başlasa da, gözlediği her cismi çok sayıda tekrar tekrar gözlediği için birçok çift yıldız sisteminin de keşfedilmesine imkan sağlamıştır (Lindegren vd. 1997). 2009 yılında uzaya konumlandırılan, 2009-2018 arasında görev yapan ve ötegezegen keşfetmek amacıyla görevlendirilen *Kepler* uzay teleskobu, ötegezegen keşfi için yıldızlardaki ışık değişimini çok hassas bir şekilde ölçebilmekteydi (Borucki vd. 2008). Bundan dolayı aynı uygulama yeni örten çift yıldızların keşfinde de kullanıldı ve birçok çift yıldızın ışık eğrileri elde edildi (Prša vd. 2011).

Örten ikiz çift yıldız sistemleri, kendisini oluşturan bileşen yıldızlarının kütle oranı(q) 0.95 ile 1 arasında olan, ışık eğrisinde tutulma gösteren ve henüz bir bileşenden diğerine kütle aktarmamış çift yıldız sistemleridir. Çift yıldız sistemleri aynı yıldızlar arası maddeden oluştukları için bileşenlerin kimyasal bileşimi de aynı olması beklenir. Birbirlerine kütlece yakın ve aynı kimyasal bileşime sahip olan ikiz çift yıldız sistemleri benzer bir evrim çizgisindedir.

Bu tez çalışmasında *Kepler* gökyüzü taramasının sonuçları kullanılarak kütle oranları (q) ≈ 1 'e yakın olan, tutulum gösteren ikiz çift yıldız sistemlerin tespiti ve özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Seçilen sistemler farklı fotometrik bantlarda gözlenerek tayf türleri belirlenerek, belirlenen tayf türlerinin doğruluğunu tespit etmek amacıyla sistemlerin hesaplanan fotometrik uzaklıkları ile *Gaia* (Gaia collaboration vd. 2016) uydusunun belirlemiş olduğu uzaklıklar karşılaştırılmıştır. Literatürde kütle oranları belirlenmiş ancak mutlak parametreleri henüz tespit edilmemiş

sistemlerin de diğer gökyüzü taramaları ASAS (Pojmanski 1997), TESS (Ricker vd. 2015) ile elde edilmiş verileri kullanılarak sistemlerin mutlak parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca literatürde daha önce mutlak parametreleri iyi belirlenmiş olan ikiz çift yıldız sistemlerinin evrimlerini anlamak amacıyla başlangıç yörünge dönemi ve varsa basıklık değerlerini hesaplanmıştır.

Tezin ikinci bölümünde bugüne kadar yapılmış olan ikiz çift yıldız sistemlerine özgü çalışmalar ve elde edilen sonuçlar ele alınmıştır. Üçüncü bölümde tez çalışmasına yönelik elde edilen veriler ve bu veriler vasıtasıyla hangi yöntemler kullanılarak hangi sonuçların elde edileceği verilmiştir. Dördüncü bölümde gökyüzü taramasıyla belirlenen ikiz çift sistemleri ve belirlenen tayf türleri, dört örten ikiz çift yıldız sisteminin belirlenen mutlak parametreleri, literatürde daha önce mutlak parametreleri iyi belirlenmiş olan 34 sistemin başlangıç yörünge dönemi ve varsa başlangıç basıklık değerleri ile evrimleri incelenmiştir. Beşinci bölümde elde edilen sonuçların, literatür ile karşılaştırılması verilmektedir. Altıncı bölümde elde edilen sonuçlar ve geleceğe yönelik çalışma önerileri verilmektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

Tarihteki ilk tayfsal çift yıldız sisteminin keşfi, ζ Ursa Majoris (UMa), Pickering (1889) tarafından yapıldı. Bunu takip eden aylarda Harvard Üniversitesi Gözlemevi'nde A. C. Maury tarafından yapılan gözlemlerde ζ UMa'nın çift çizgili yapısının bazen ortadan kaybolduğu ve sadece tek bir bileşenin çizgilerinin olduğu görüldü ve böylece ζ UMa'nın bir örten çift yıldız olduğu anlaşıldı. Aynı zamanlarda yapılan gözlemlerde β Auriga (Aur)'nın da benzer bir dönemsellik gösterdiği belirtildi (Pickering 1890).

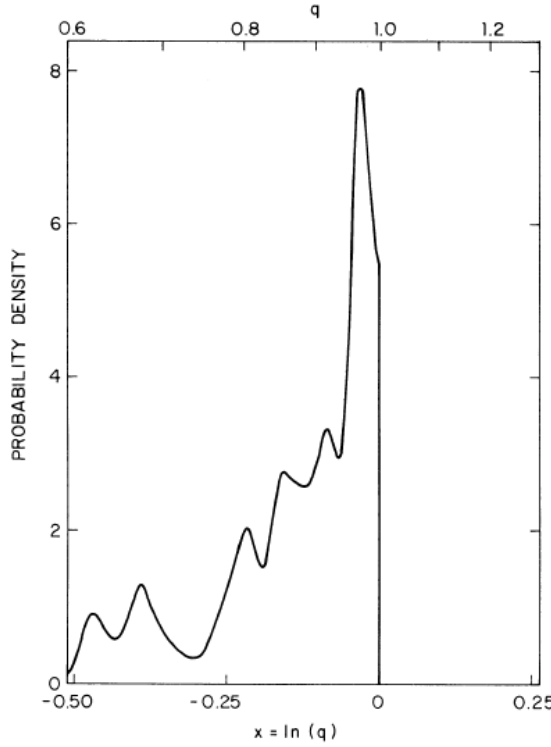
Rambaut (1891), Pickering (1890)'in gözlem verilerini kullanarak β Aur'un yörünge dönemini 3.968 gün, yörünge basıklığını (e) 0.156, bileşenler arası mesafenin 12000000 km ($17.143 R_{\odot}$) ve bileşenlerin kütlelerinin birbirine çok yakın olduğunu tespit etti.

Bunu takip eden yıllarda tayfsal çift yıldızların keşfinin oldukça hız kazanmasıyla beraber Campbell ve Curtis (1905) tarafından "First Catalogue of Spectroscopic Binaries" yayımlandı. Bu katalog 140 adet tayfsal çift yıldız sistemi içeriyordu. Bu katalogta sadece isimler değil, belirlenen sistemlerin belli bazı özellikleri (bileşenlerin tayf türleri, sistemin uzaklaşma hızı, vb.) de bulunuyordu.

Baker (1910), 20 yıllık β Aur gözlemlerini analiz ederek sistemin mutlak parametrelerini elde etti. Analizine göre sistemi oluşturan bileşenlerin kütle oranını 0.982 olarak hesapladı. Bu da β Aur'un literatürde keşfedilen ilk örten ikiz çift yıldız sistemi olduğunu göstermektedir.

Geçen yıllarla beraber bilinen tayfsal çift yıldız sistemlerin sayısının artması ile yeni kataloglar da oluşturuldu. Campbell (1910), "İkinci Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Moore (1924), "Üçüncü Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Moore (1936), "Dördüncü Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Moore ve Neubauer (1948), "Beşinci Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Batten (1967), "Altıncı Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Batten vd. (1978), "Yedinci Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"; Batten vd. (1989), "Sekizinci Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu" ve en güncel olarak Pourbaix vd. (2004), "Dokuzuncu Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu"nu yayımladı.

Lucy ve Ricco (1979), Altıncı Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu'ndaki kütle oranı belirlenmiş sistemleri kullanarak yaptığı istatistiksel çalışmada, çift çizgili tayfsal çift yıldız sistemlerin $q \cong 0.97$ civarında oldukça fazla sayıda olduğunu belirlemiştir. Bu durumun evrimsel veya seçim etkisi ile ilgisi açıklanamayacağını; orta ve küçük kütleli ve yörünge dönemi 25 günden küçük olan yakın çift sistemlerin benzer kütleli (ikiz) çift sistemleri oluşturacak bir mekanizmanın etkili olabileceğine işaret etmiştir. Şekil 2.1'de elde ettikleri kütle oranı dağılımı grafiği verilmiştir.

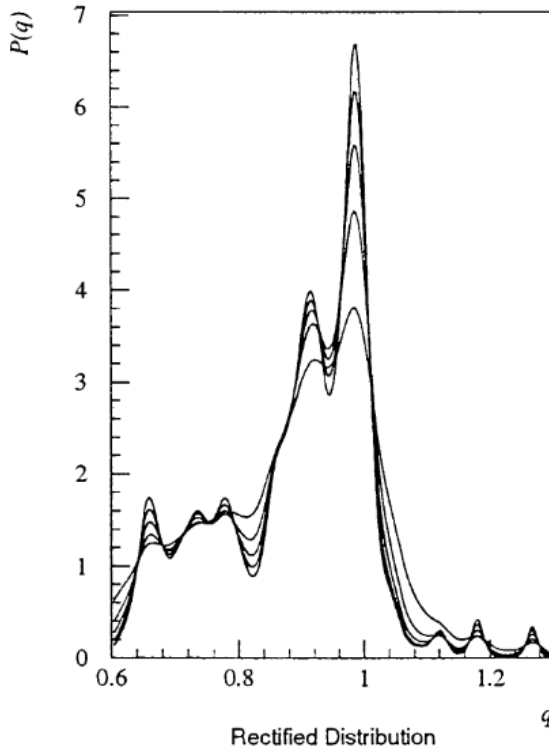


Şekil 2.1. Lucy ve Ricco (1979)'un elde ettiği kütle oranları düzeltilmiş tayfsal çift yıldızların kütle oranı dağılımı

Fofi vd. (1983), Kraitcheva vd. (1978) verilerini kullanarak yaptığı çalışmada Lucy ve Ricco (1979)'nun çift çizgili tayfsal çift yıldızların kütle oranı dağılımının $q \cong 1$ civarındaki tepe yaptığını doğrulamışlardır.

Halbwachs (1983) çift yıldızların istatistiksel özelliklerini belirlemek amacıyla Parlak Yıldız Kataloğu v4'de listelenen anakoldaki çift yıldızları (Hoffleit ve Jaschek, 1982) incelemiştir. Çift yıldızların daha önceki çalışmalarda olduğu gibi kütle oranı 0.8 civarında bir tepe yaptığını ve benzer şekilde küçük kütle oranlarında aynı tepenin görüldüğünü ve bu tepelerin yarı büyük eksen uzunluğuna bağlı olduğunu gösterdi. Bunun da daha önceki çalışmalarda ortaya konan yarı-büyük eksen uzunluğu büyük, uzun yörünge dönemli çift yıldızların bölünme sonucu oluştuğu ile yarı-büyük eksen uzunluğu küçük, kısa yörünge dönemli çift yıldızların ayrılma sonucu oluştuğu teorilerinin doğru olabileceğini söyledi. Ancak bu ayrılmanın, yıldızların anakola girme aşamasının son safhasında gerçekleşebileceğini çünkü yarı-büyük eksen uzunluğun yüzlerce Astronomik Birim (AU) olan çift yıldızlarda bu ayrılmanın pek mümkün olmadığını belirtti.

Hogeveen (1991) doktora çalışmasında, çeşitli çift yıldız kataloglarını birleştirerek çift yıldızların kütle dağılımının çift yıldızların türlerine göre nasıl değiştiğini araştırdı. Çift çizgili tayfsal çift yıldızların kütle dağılımını seçim etkilerinden oldukça etkilendiğini

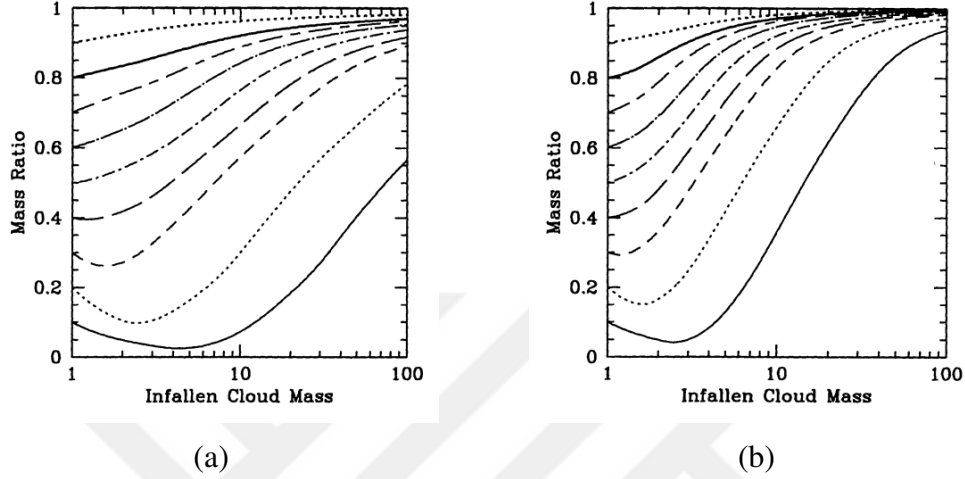


Şekil 2.2. Hogeveen (1992)'nin elde ettiği hatalar arındırılmış kütle oranı dağılım grafiği

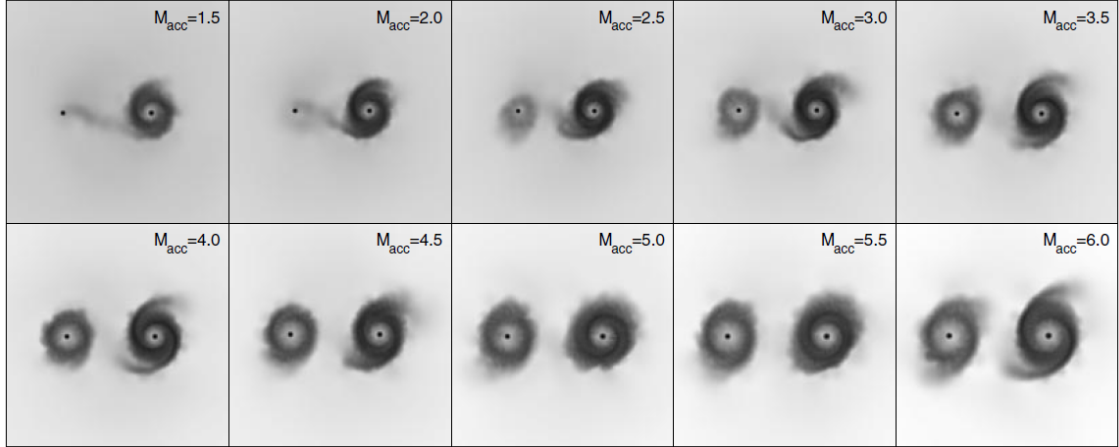
belirtti. Gözlemsel hataları ve seçim etkilerini en aza indirmek için bir formül geliştirdi ve bu formülü uyguladığında çift çizgili tayfsal çift yıldızların kütle oranlarına bakıldığında Lucy ve Ricco (1979) çalışmasındaki $q \approx 1$ civarındaki tepenin yine var olmasına rağmen çok keskin olmadığını belirtti. Farklı iterasyon sayıları ile elde ettiği kütle oranı dağılımı Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde $q \approx 1$ civarında en az olasılığı birinci iterasyon, en çok olasılığı ise beşinci iterasyon değeri temsil etmektedir.

Çift yıldız sistemlerin oluşumunu anlamak amacıyla Bate (1998), çöken bir moleküler bulut çekirdeğinin bölünme (fragmentation) yoluyla oluşturduğu anakol öncesi çift (protobinary) yıldız sisteminin, gaz ve tozdan oluşan zarftan madde toplayarak son kütesine evrimleştiği bir model tasarladı. Bu modele göre yakın çift sistemlerin (ayrıklık < 10 AU) toplam kütesi, bu gaz ve toz zarfindan topladıkları kütleyle bağlı olduğunu, gaz yoğunluğunun eşit veya yarıçap ile orantılı olarak dağılmasından bağımsız olarak ($\rho \propto r^{-1}$) kütle toplama evresinin süresi arttıkça çift yıldız sistemlerin kütle oranının 1'e yaklaştığını belirtti. Şekil 2.3'te Bate (1998)'in elde ettiği, farklı başlangıç kütle oranına sahip anakol öncesi çift yıldızların, oluştukları buluttan topladığı kütleyle göre kütle oranındaki değişimi verilmiştir. Şekildeki yatay eksenindeki topladığı kütle, sistemin başlangıçtaki "çekirdek" (seed) kütleyle göre orantılı olarak topladığı kütleyle belirtmektedir. Şekil 2.4'te buluttan toplanan farklı miktardaki kütleler için Bate (2000)'in yaptığı hesaplamalardaki anakol öncesi çift yıldız sistemlerin

görüntüleri verilmiştir. Ayrıca, aynı ayırlıklığa sahip büyük kütleli çift yıldızların, küçük kütleli çift yıldızlara göre kütle oranının 1'e daha yakın olduğu Bate (2000) tarafından iddia edilmiştir. Ancak bu teori sadece büyük kütleli çift yıldızların oluşumunu açıkladığından; B, A ve F tayf türlerini içeren kütle oranı dağılımı araştırmalarının gerekliliği Bate (2000) tarafından belirtilmiştir.

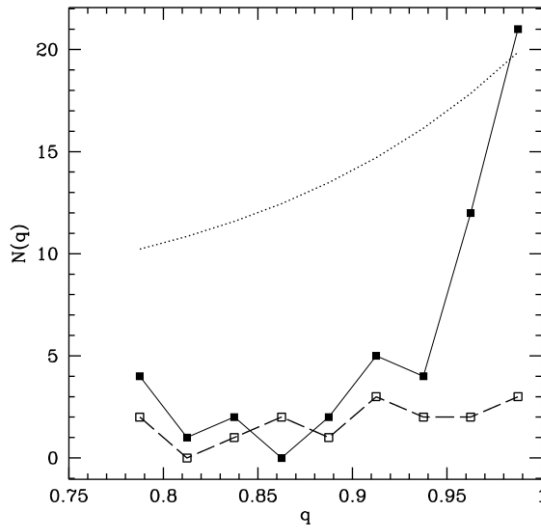


Şekil 2.3. Farklı başlangıç kütle oranına sahip anakol öncesi çift yıldızların, oluştuğu buluttan topladığı kütleye göre kütle oranındaki değişim. (a) eşit yoğunluklu bulut; (b) yoğunluğun yarıçap ile değiştiği bulut (Bate 1998)



Şekil 2.4. Anakol öncesi çift yıldızların, oluştuğu buluttan topladığı kütleye göre oluşturdukları yapının görüntüsü (Bate 2000)

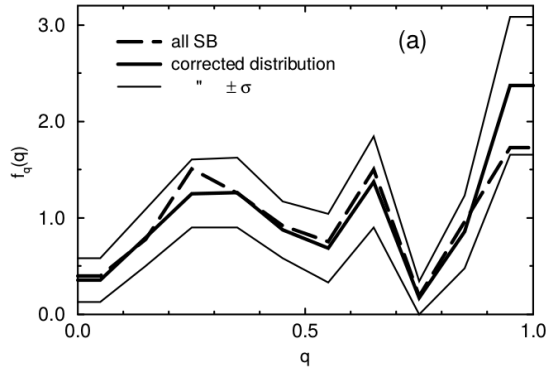
Tokovinin (2000), Sekizinci Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu'ndan (Batten vd. 1989) ve aradaki 11 yıllık süre zarfında keşfedilen, kütleleri 0.8 ve 1.3 Güneş kütleli ($M_{\odot}$) arasında değişen ve baş bileşeni F5V ile K0V tayf türleri arasında olan Güneş benzeri tayfsal çift yıldızları analiz etti. Analiz sonucu Lucy ve Ricco (1979)'nun kütle oranı



Şekil 2.5. Tokovinin (2000)'in elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği

0.95 ile 1 arasında değişen cüce çift yıldız sistemlerin, kütle oranı 0.95'ten küçük diğer çift sistemlere göre daha fazla olduğunu doğruladı. Ayrıca 40 günden daha küçük yörünge dönemine sahip çift yıldız sistemler arasında ikiz çift yıldız sistemlerin ($q > 0.95$) bir tepe yaptığını, yörünge dönemi 2 ile 30 gün arasında değişen çift yıldız sistemlerin arasında ikiz çift yıldız sistemlerin oranının %10 ile %20 arasında olduğunu, yörünge dönemi uzun periyotlu sistemlerde ise herhangi bir $q \approx 1$ tepesi görülmediğini belirtti. Şekil 2.5'te, Tokovinin elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği verilmiştir. Şekil 2.5'te içi dolu kareler, yörünge dönemi 2-30 gün arasındaki çift yıldız sistemlerini; içi boş kareler, yörünge dönemi 50-10000 gün arasında değişen sistemleri; noktalı çizgi olası muhtemelen yanlışlığı belirtmiştir. Çeşitli oluşum senaryolarına da değinen Tokovinin, Bate (2000)'in de belirttiği gibi ikiz çift yıldız sistemlerin ortak bir zarf içerisinde, kütle toplayarak oluşmuş olabileceğini belirtti. Ayrıca, çoğu ikiz çift yıldız sistemin, üçüncü bir bileşeni olduğunu belirterek, oluşum senaryolarında buna da dikkat edilmesi gerektiğini söyledi.

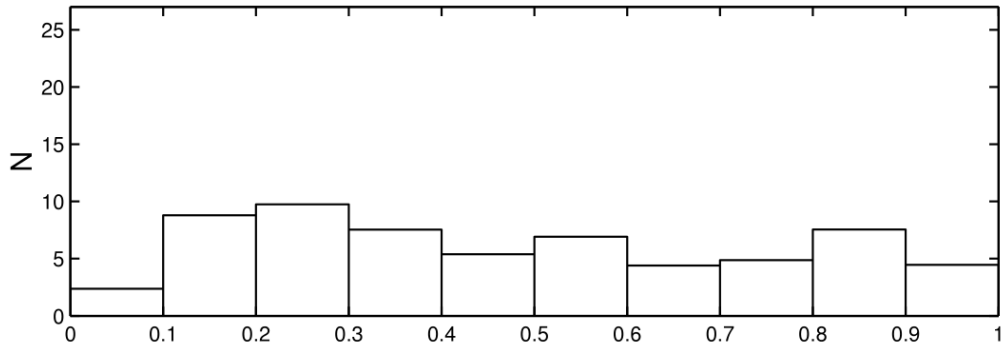
Halbwachs vd. (2003) tayf türleri F7 ile K arasında, yörünge dönemleri 10 yıla kadar olan anakol çift yıldızların istatistiksel özelliklerini belirlemek amacıyla iki adet CORAVEL dikine hız taramasının sonuçlarını inceledi. Analizlerine göre tayfsal çift yıldızların kütle oranları, $q \approx 0.2$ ve $q \approx 0.7$ civarında geniş bir tepe yaptığını, $q > 0.8$ ise keskin bir zirve yaptığını belirttiler. Bu zirvedeki çift sistemlerin tayf türleri incelendiğinde hem ön tayf türünden, hem de geç tayf türünden sistemlerin var olduğunu, bundan dolayı oluşum sürecinin birbirinden bağımsız olduğuna işaret ettiğini belirttiler. Yörünge dönemi uzun sistemler için ise bu keskin zirvenin gittikçe azaldığını keşfettiler. Yörünge dönemleri ayırt edilmeksizin, ikiz çift yıldızların yörüngelerindeki basıklık değerinin, diğer sistemlere göre oldukça belirgin bir şekilde daha az olduğunu,



Şekil 2.6. Halbwachs vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği

bunun da ikiz çift yıldızların oluşum mekanizmasının diğer sistemlerden farklı olduğunu ve ikiz çift yıldız sistemlerinin ortak bir gaz ve tozdan oluşan zarftan madde toplayarak oluşmuş olabileceğini söylediler. Şekil 2.6'da Halbwachs vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği verilmektedir.

İstatiksel araçlar kullanmadan doğrudan gözlemler sonucu elde edilecek olan verilerle belirlenecek olan çift yıldızlardaki kütle dağılımının ihtiyacına dikkat çeken Mazeh vd. (2003), bu açığı giderebilmek ve tespit edilen çift çizgili çift yıldızların sayısını artırmak amacıyla çift yıldız oldukları belirlenmiş ancak tayflarında sadece tek bir bileşenin tayfı görülen tek çizgili çift yıldızların yüksek çözünürlüklü kırmızı-öte tayf gözlemlerini yaparak, görsel bölgede tespit edilemeyen ve ikinci bileşeni soğuk olan tek çizgili çift yıldızların (SB1), soğuk bileşenini tespit etmeye çalıştılar. Böylece 51 adet SB1'in 32 tanesinin ikinci bileşenini tespit ettiler. Toplamda da baş bileşenlerinin kütleleri $0.65 - 0.85 M_{\odot}$ arasında ve tayf türleri de K2 ile F8 arasında değişen 43 tanesi çift çizgili çift yıldız sistemi olmak üzere 62 adet çift yıldız sistemin kütle oranı dağılımını elde ettiler ve bu sistemler içerisindeki kütle oranı dağılımının, önceki çalışmalardan farklı olarak kütle oranının yatay bir dağılım içerisinde olduğunu gösterdiler. Şekil 2.7'te Mazeh vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği verilmektedir.



Şekil 2.7. Mazeh vd. (2003)'ün elde ettiği kütle oranı dağılım grafiği

Bilinen en büyük kütleli örten ikiz çift yıldız sistemini, WR 20a, bileşenleri Wolf-Rayet (WR) tipi yıldızlardan oluşan çift yıldızları incelemek amacıyla tayfsal taramalar yapan Rauw vd. (2004) keşfetti. Tayfsal analizleri sonucu WR 20a sisteminin tayfsal yörüngesini elde etti. Sistemin kütle oranını $q = 1.03 \pm 0.03$ ve bileşen kütlelerini de $M_{1,2} \sin^3 i$ ($M_{\odot}$) = 70.7 ± 4.0 ve 68.8 ± 3.8 olarak belirledi. Bunun üzerine, Bonanos vd. (2004) Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE) projesinin bir alt projesi olarak WR 20a'nın *I*-bant ışık eğrisini elde etti. Analizi sonucunda WR 20a'nın yörünge eğimini $i = 74.5 \pm 2.0$ olarak, bileşenlerin kütlelerini de $M_{1,2}$ ($M_{\odot}$) = 83.0 ± 5.0 ve 82.0 ± 5.0 olarak belirledi.

Çift yıldızlardaki kütle dağılımı çalışmalarını inceleyen Lucy (2006), Tokovinin (2000)'in belirlediği $q \gtrsim 0.95$ civarındaki ikiz çift yıldız fazlalığını "Güçlü Argüman (GA)" ile Halbwachs vd. (2003)'nin belirlediği $q \gtrsim 0.8$ civarındaki fazlalığını "Zayıf Argüman (ZA)" olarak betimleyerek gerçekte hangi argümanın geçerli olduğunu inceledi. GA ve ZA'nın birbirinden tamamen ayrı veya ikisinden birinin tamamen doğru veya tamamen yanlış olarak betimlenemeyeceğini belirten Lucy (2006), Dokuzuncu Tayfsal Çift Yıldız Kataloğu'nu (DTÇYK) kullanarak yaptığı çalışmasında gerçek ikiz fazlalığının, Tokovinin (2000) çalışmasını onaylayarak $q \gtrsim 0.95$ civarında olduğunu belirledi. Ancak çalışmanın analizi yapılmış sistemler üzerinden yapıldığına da dikkat çeken Lucy (2006), ZA'nın tamamen yok sayılamayacağını çünkü daha kapsamlı bir araştırma için örnek çift yıldız sayısının çok daha fazla olması gerektiğini belirtti.

Hilditch vd. (2005)'in OGLE ile keşfedilen ve Küçük Macellan Bulutu'nda (KMB) yer alan, OB tayf türüne sahip 50 adet çift sistemin tayfsal yörüngelerini belirlediği çalışmayı baz alan Pinsonneault ve Stanek (2006), bu sistemler içerisindeki ayırık sistemlerin %55'inin ikiz ($q > 0.95$) çift sistem olduğunu belirtmiştir. KMB'de yer alan yarı-ayırık ve ayırık sistemlerin farklı kütle oranlarına sahip olduğunu da belirten Pinsonneault ve Stanek (2006), bundan dolayı herhangi bir seçim etkisinden bahsedilemeyeceğini belirtmiştir. Ayrıca çalışmada, nötron yıldızı çiftleri, nötron

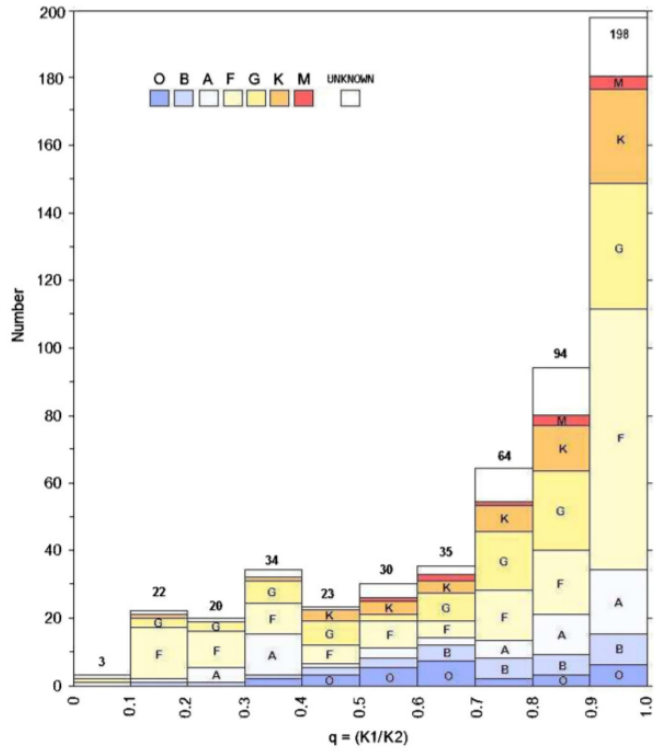
yıldızı – kara delik ve kara delik çiftlerinin oluşumunda ikiz çift yıldızların etkisine değinilmiştir.

Çok büyük kütleli yakın ikiz çift yıldız sistemlerin oluşumunu araştıran Krumholz ve Thompson (2007), ikiz olma sebebinin bileşen yıldızların, anakola girmeden önce kabuklarında döteryum yaktığı sırada oluşan ve iki bileşeni de içine alan ortak zarftan bileşenlerin kütle toplaması olduğunu gösterdiler ve bu durumun, ayrıklığın onlarca AU'ya ulaştığı yıldız oluşum bölgelerinde de kütle toplama oranlarına bağlı olarak aynı sürecin işlediğini gösterdiler. Bundan dolayı çok büyük kütleli çift yıldızlarda ikiz oluşumunu doğal bir süreç olarak belirttiler.

Mazeh vd. (2003)'ün çalışmasında elde ettiği kütle dağılımı ile Tokovinin (2000) ve Lucy (2006)'nın çalışmalarında elde ettiği kütle dağılımının farklılığına dikkat çeken Simon ve Obbie (2009) bunun nedenini araştırmak amacıyla DTÇYK'de bulunan sistemleri tayf türlerini de dahil ederek analiz ettiler. Analizleri sonucu, Lucy (2006)'nın elde ettiği kütle dağılımını doğruladılar; kütle oranı dağılımının $0.84 \leq q < 0.98$ arası neredeyse sabit olduğunu; Mazeh vd. (2003) çalışmasındaki ikiz çift sistem sayısının az olmasının çalışmadaki örnek sayısının az olmasından kaynaklandığını ve ikiz çift sistemlerin sayısının bileşen kütlelerin $1.6 M_{\odot}$ 'den büyük olan sistemlerde daha çok olduğunu belirttiler. Şekil 2.8'da Simon ve Obbie (2009)'un elde ettiği kütle oranına bağlı olarak tayf türünün dağılımı grafiği verilmektedir.

Çift yıldız sistemlerinin mutlak parametrelerini belirlemeye yönelik çalışmalar her ne kadar astrofiziğin temelinde yer alsa da örten ikiz çift yıldız sistemlerinin mutlak parametrelerini belirlemeye özgü çalışmalar son 20 yılda hız kazanmıştır (Torres ve Ribas (2002); Lacy vd. (2004), Marrese vd. (2004), Bakış vd. (2007, 2013, 2018), Koo vd. (2017), Bulut vd. (2021) vb.). Ayrıca son yıllarda uzak kırmızı öte bölgede yüksek çözünürlüklü tayfların alınabilmesi ile beraber (Prato, 2007) anakola henüz girmemiş anakol öncesi çok küçük kütleli ikiz çift sistemlerin keşfi de hızlanmıştır (Rosero vd. (2011), Kraus vd. (2015)).

Tobin vd. (2016), Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) teleskobunu kullanarak bir moleküler bulutun merkezinde oluşan iki tane önyıldızın ve bunlara 61 AU uzaklıkta bulunan üçüncü bir önyıldızın olduğu çoklu sistemin keşfini yaptılar. Şekil 2.9'da bu üçlü sistemin ALMA teleskobu ile alınan görüntüsü verilmiştir. Şekil 2.9'da yatay eksen, sağ açıklığı; dikey eksen, dik açıklığı (sol) ve akı yoğunluğunu (sağ) belirtmektedir. Çoklu yıldız sistemlerin oluşum senaryolarını araştıran Tokovinin (2018), Tobin vd. (2016) keşfini referans göstererek dış yörüngedeki üçüncü yıldızın ortak buluttan kütle toplayarak, iç yörüngedeki çift sistemin toplam kütlelerine eşit olabileceği ve böylece üç yıldızdan oluşan, çoklu bir ikiz çift sistemin olabileceğine işaret etti. Çoklu sistemlerdeki ikiz sistemlerin farklı oluşum senaryolarına dikkat çeken

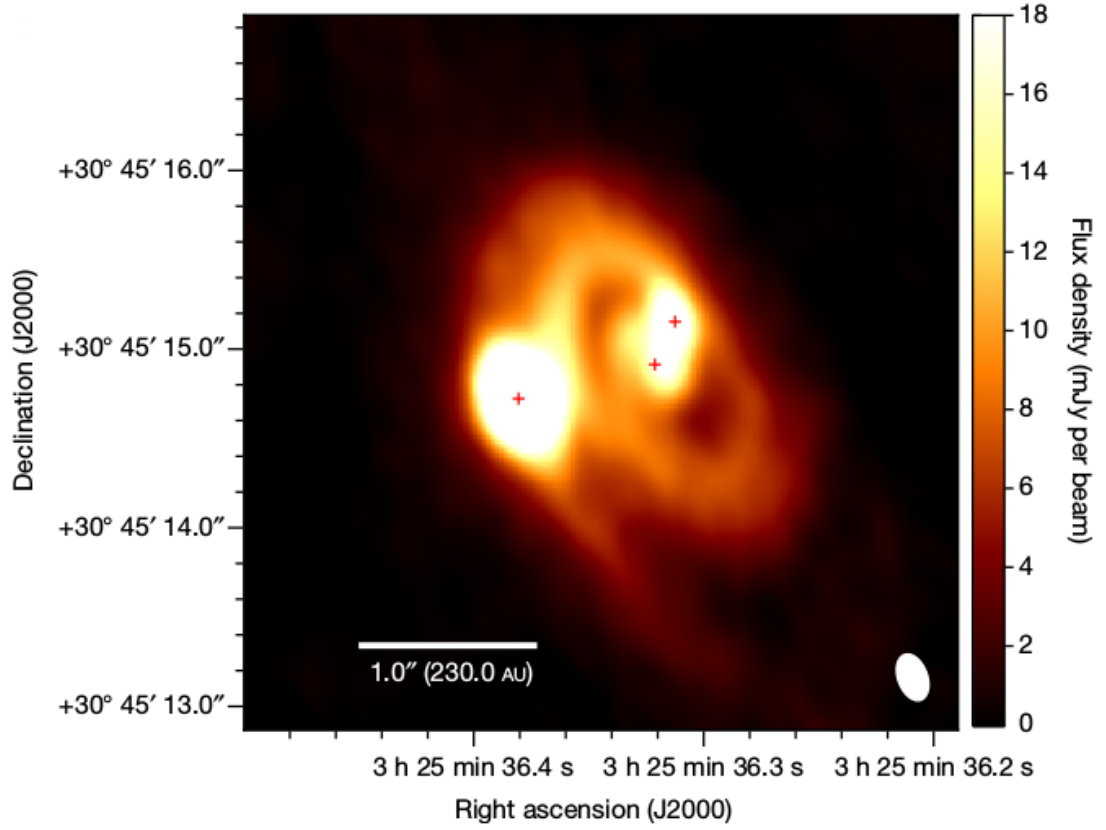


Şekil 2.8. Simon ve Obbie (2009)'un elde ettiği kütle oranına bağlı olarak tayf türü dağılımı grafiği

Tokovinin (2018) iki senaryo üzerinde yoğunlaştı. Birinci senaryoda, moleküler bulutun ardı ardına ayrılarak her bir parçadan bir yıldız oluşarak oluşacak olan çok bileşenli bir ikiz çift sistem olabileceğini belirtti. İkinci senaryo da ise moleküler bulutun kendi içerisinde ayrılmasıyla oluşacak olan iki küçük buluttan oluşabilecek ayrı bir ikiz çift sistem olabileceğini belirtti (Tokovinin 2018). Bu oluşum senaryolarını içeren gösterim Şekil 2.10'da verilmiştir.

Örten ikiz çift sistemlerinin gökyüzü taramaları kullanılarak tespitine yönelik literatürdeki ilk çalışma Zhang vd. (2017) tarafından yapıldı. *Kepler* uzay teleskobunun ürettiği verilerle oluşturulan Kepler Eclipsing Binary Catalog'u (KEBC) tarayarak, minimum noktalarındaki derinlik ve genişlik oranı %2'den küçük olan 26 sistemi belirlediler. 26 adet sistemden 2 tanesinin (KIC 4826439 ve KIC 6045264) kütle oranını q -yöntemi ile belirleyek sistemlerin mutlak parametrelerini elde ettiler.

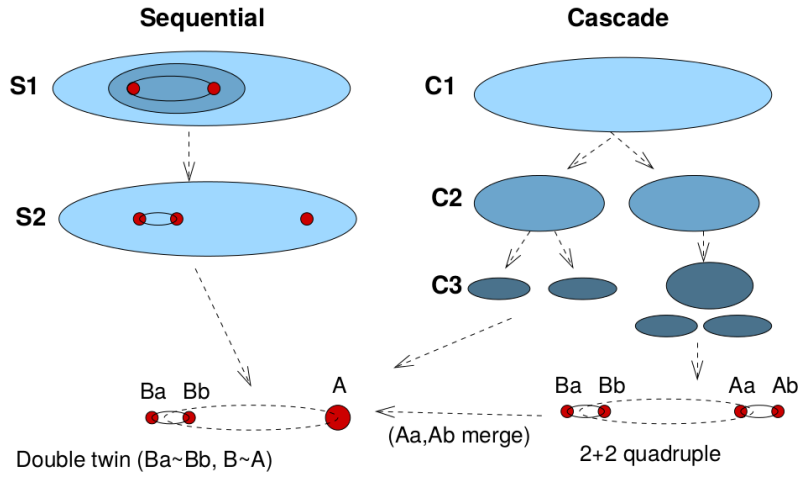
El-Badry vd. (2019), baş bileşeni 0.1 ile 2.5 Güneş kütlesi, kütle oranı 0.1 ile 1, ayrıklığı 50 ile 50000 AU arasında değişen, *Gaia* uydusu tarafından tespit edilmiş, bileşenleri anakolda bulunan 42000 adet büyük yörüngeli çift sistemi, kütle oranı dağılımını ($p(q)$) belirlemek için analiz ettiler. Analiz sonucu, literatürdeki daha önceki örten çift yıldız çalışmalarında da belirtildiği gibi $q > 0.95$ civarındaki fazlalığını doğruladılar. İkiz fazlalığının, bileşenler arası ayrıklığın artmasıyla azaldığını ancak



Şekil 2.9. Tobin vd. (2016)'nın keşfettiği üçlü sistemin ALMA teleskobu ile alınan görüntüsü

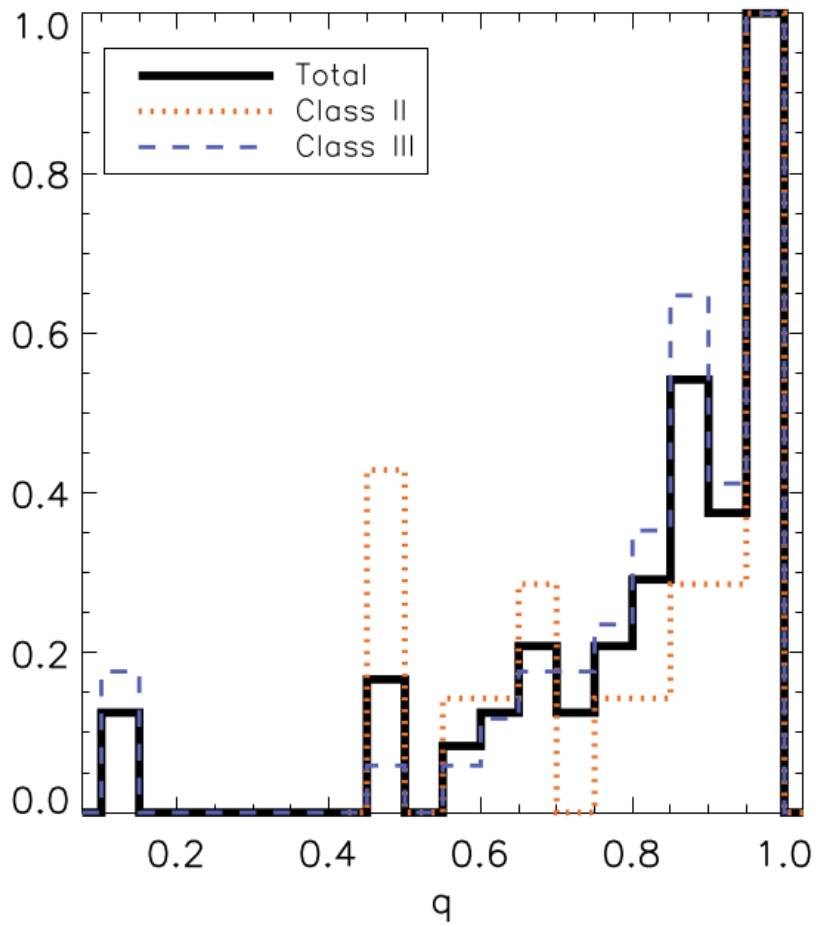
ayrıklığın 0.1 ile 10000 AU arasında neredeyse sabit olduğunu belirttiler. Büyük yörüngeli çift sistemlerin hepsinin yıldız bulutunun bölünmesi (core-fragmentation) ile oluştuğu kabul edilirse, büyük yörüngeli ikiz çift sistem sayısının bu oluşum senaryosu ile ifade edilemeyeceğini belirten El-Badry vd. (2019); büyük yörüngeli ikiz çiftlerin, daha küçük ayrıklık değerlerinde (<100 AU) ortak zarftan kütle olarak oluştuğu ve daha sonra oluştuğu ortamın dinamik etkileşimlerinden dolayı daha büyük yörüngeye sahip olmalarının daha olası olduğunu belirttiler.

Çoklu yıldız sistemlerinin oluşumlarını incelemek amacıyla yakın yıldız oluşum bölgelerindeki anakol öncesi yıldızların tayfsal incelemesini yapan Kounkel vd. (2019) anakol öncesi yıldızların, çift sistemler olma oranının ayrıklığın <10 AU olduğu sistemler için alan yıldızlarından farklı olmadığını; genç ve küçük yörüngeli çift sistemlerin kütle oranı dağılımının, büyük ölçüde galaksideki diğer çift sistemlerin kütle dağılımı ile örtüştüğünü ve $q > 0.95$ civarında bir artıklık olduğunu belirttiler. Şekil 2.11'de Kounkel vd. (2019)'un elde ettiği, çift çizgili genç çift sistemlerin kütle oranı dağılımı verilmektedir. Şekilde, "Class II", yakın ve orta kızılötesi bölgede ışıma yapan sistemleri; "Class III", neredeyse anakola girmiş ancak hala az miktarda yakın kızılötesi bölgesinde ışıma yapan sistemleri belirtmektedir.

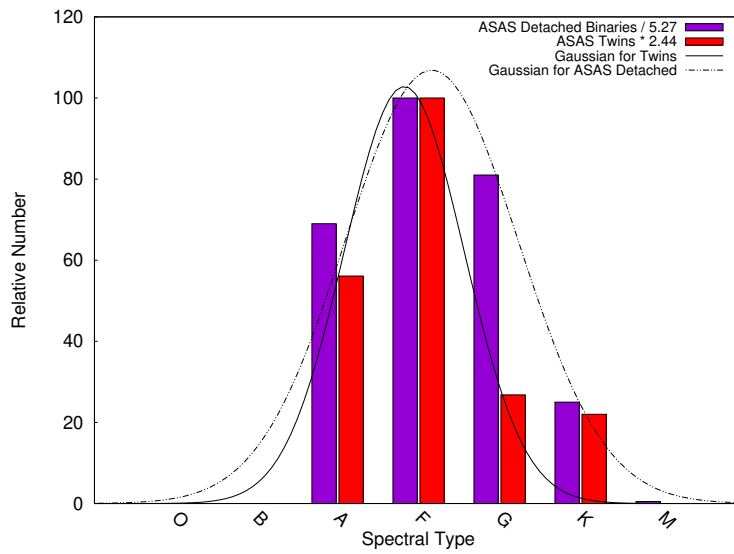


Şekil 2.10. Çok bileşenli ikiz çift sistem senaryoları (Tokovinin 2018)

Örten ikiz çift yıldızların tespitine ve analizine dayalı en güncel çalışma Bakış vd. (2020) tarafından yapılmıştır. The All Sky Automated Survey veritabanını kullanarak literatürde olmayan 68 adet örten ikiz çift yıldız sisteminin tayfsal ve fotometrik yöntemler ile analizini yaparak, bu sistemlerin renklerini, tayf türlerini, sıcaklıklarını, kütle oranlarını ve bileşenler arasındaki yarıçap oranlarını belirlediler. İkiz çift sistemlerin oluşum senaryolarına da değinen Bakış vd. (2020), literatürdeki bilinen örten çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımları ile yeni belirledikleri ikiz çift sistemlerin tayfsal dağılımını kıyasladılar ve benzer bir Gaussian dağılım gösterdiklerini belirttiler. Bundan dolayı da ikiz çift sistemlerin oluşumunun, diğer çift sistemlerden farklı olmadığını belirttiler. Şekil 2.12’de, Bakış vd. (2020)’nin elde ettiği normalize edilmiş tayf türü dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 2.11. SB2lerden elde edilen normalize edilmiş kütle oranı dağılım grafiği (Kounkel vd. 2019)



Şekil 2.12. Bakış vd. (2020)'nin elde ettiği, örten ayırık çift yıldız sistemlerinin baş bileşenlerinin tayf türü dağılımı ile örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımının karşılaştırılması

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Örten İkiz Çift Yıldız Sistemleri

Bir kütle merkezi etrafında çekimsel merkezci kuvvet ile hareket eden iki adet yıldızın oluşturduğu sisteme çift yıldız denir. Bir çift yıldız sistemdeki bileşen yıldızlar, gözlemcinin bakış doğrultusunda birbirinin önünden geçiyor ise sistemden gözlemciye gelen ışıktaki bir azalma olur. Bu türden çift sistemlere örten çift yıldız denir. Tutulma koşulu, denklem 3.1 ile verilmiştir.

$$|a \cos i| < (R_1 + R_2) \quad (3.1)$$

Denklemde a , yarı-büyük eksen uzunluğunu; i , yörünge eğim açısını; R_1 , birinci yıldızın yarıçapını; R_2 , ikinci yıldızın yarıçapını temsil etmektedir. 3.1 denkleminde de anlaşılacağı gibi a ne kadar küçük ve i de ne kadar büyük olursa tutulma olasılığı da o kadar büyük olur. Örten ikiz çift yıldız sistemlerinde eğer sistemi oluşturan yıldızların kütleleri arasındaki oran (q), 0.95'den büyük ise bu tür sistemlere örten ikiz çift yıldız sistemleri denir (Tokovinin 2000). Buradaki en önemli kriterlerden diğeri ise sistemi oluşturan bileşenler arasında herhangi bir kütle aktarımının başlamamış olmasıdır.

3.1.1. Örten ikiz çift sistemlerin ışık eğrisi analizi ile belirlenmesi

Bir çift yıldız sisteminin kütle oranını belirlemede kullanılan en iyi ve en etkili yöntem, sistemi oluşturan yıldızların dikine hız eğrilerinin elde edilmesi ve sistemin tayfsal yörünge elemanlarının belirlenmesidir. Bu tez çalışmasında örten ikiz çift sistemler, gökyüzü taramaları ile oluşturulan ışık eğrisi kataloglarındaki verilerin analizi ile belirlenmiştir.

Bir örten çift yıldız sisteminin, belirli bir dönem boyunca gözlenerek elde edilen ışık değişimlerinin çift yıldız sisteminin dolanma dönemine göre çizilmesi ile oluşturulan grafiğe ışık eğrisi denir. Bir çift yıldız sisteminin ışık eğrisi sistem hakkında oldukça faydalı bilgiler içermektedir. Bir sistemin ışık eğrisi analiz edildiğinde, sistemin yörünge eğimi (i), sistemi oluşturan yıldızların sıcaklık oranları ile her bileşenin göreceli yarıçapları ($r = R/a$), her bir bileşenin ışık katkı oranı, çift yıldız sisteminin yapısal (morphologic) açıdan ayırık, yarı-ayırık veya değen bir sistem olduğu gibi bilgiler elde edilir.

Bir yıldızın evrimini ve ömrünü belirleyen iki önemli kriter vardır. Bunlar, yıldızın kütlesi ve yıldızın metal bolluğudur. Çift sistemler aynı yıldızlararası maddeden oluştuklarından metal bolluklarının da aynı olması beklenir. Örten ikiz çift sistemlerin kütleleri birbirine çok yakın oldukları için ikiz çift sistemi oluşturan yıldızların;

sıcaklıkları ve yarıçaplarının da birbirine çok yakın olmalıdır.

Bir yıldızın tüm yüzeyinden birim zamanda yaydığı toplam enerjiye ışıınım gücü denir ve denklem 3.2’de verilen formül ile hesaplanır.

$$L = 4 \pi R^2 \sigma T_{\text{eff}}^4 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de, L , ışıınım gücünü; R , yıldızın yarıçapını; σ , Stefan-Boltzmann sabitini; T_{eff} de yıldızın etkin sıcaklığını belirtmektedir. Anakol yıldızlarının kütle-ışıınım bağıntısı ile ilgili en güncel çalışmalardan olan Eker vd. (2018) çalışmasına göre yıldızların ışıınım güçleri ile kütleleri arasında

$$L = M^\alpha \quad (3.3)$$

şeklinde bir ilişki vardır. Denklem 3.3’te, L , ışıınım gücünü; M de kütleyi temsil etmektedir. Buradaki α değeri farklı kütlelerdeki yıldızlar için 2.028 ile 5.743 arasında değerlerde değişmektedir (Eker vd. 2018). Denklem 3.3’i kullanarak, örten bir ikiz çift sistemin ışıık eğrisinden elde edilecek olan bileşenlerin ışıık katkı oranları, ikiz çift sistemin bileşenleri arasındaki kütle oranı hakkında da bilgi verecektir. Denklem 3.4’te bu durum açıkça görülmektedir.

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{R_2^2 T_2^4}{R_1^2 T_1^4} = \left(\frac{M_2}{M_1} \right)^\alpha = q^\alpha \quad (3.4)$$

Bu tez çalışması için seçilen sistemlerin kütle oranları bilinmediğinden α değeri olarak ortalama değer olan 3.89 alınmıştır. Bileşenlerin yarıçap oranları ile sıcaklık oranları birbirine çok yakın olan ikiz çift sistemler için bu alınan keyfi değer, sistemin kütle oranının 1’e yakın olduğu gerçeğini değiştirmeyecektir. Şöyle ki; ışıık katkı oranları $L_2/L_1 = 0.98$ olan bir örten ikiz çift sistemi için α değeri 2.02 alındığında kütle oranı, $q = 0.990$, α değeri 5.7 alındığında ise $q = 0.996$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi alınabilecek en küçük ve en büyük α değeri ile hesaplanan kütle oranı sonuçları arasındaki fark ancak 0.006 olarak değişmektedir. Bu anlamda, α değerinin keyfi alınması örten ikiz çift sistemler için kütle oranı sonucunu dolayısıyla da sistemin ikiz olup olmamasını değiştirmeyecektir. Sonuç olarak, bir çift yıldız sisteminin, ikiz bir çift yıldız sistemi olduğuna dair en önemli işaret çift yıldız sistemini oluşturan yıldızların birbirine olan ışıık katkı oranıdır.

3.1.2. Örten ikiz çift sistemlerin tayf türlerinin renk indisleri ile belirlenmesi

Bu tez çalışmasında belirlenen örten ikiz çift yıldız sistemlerinin parlaklıkları nispeten sönük olduğu için ($K_{mag} > 10$) tayf türleri fotometrik yöntemlerle belirlenmiştir. Fotometrik veriler ile yıldızların tayf türlerinin belirlenmesi işlemi 1950’li yıllardan beri kullanılan bir yöntemdir (Johnson ve Morgan 1953; Hiltner and Johnson 1956). Bunun için yıldızların yer atmosferi ve yıldızlararası ortam etkilerinden arındırılmış renklerinin elde edilmesi gereklidir. Bu yöntemi kısaca açıklamak gerekirse; öncelikle yıldızın yer atmosferinden arındırılmış renkleri ve sönümleme doğrultusu elde edilmesi gereklidir. Daha sonra, tayf türleri iyi belirlenmiş standart yıldızlardan oluşturulmuş renk-renk anakol eğrisi üzerinde yıldızın renkleri sönükleşme doğrultusu üzerinde kızıllaşma yönünün aksi yönüne doğru kaydırılarak anakol eğrisi ile kesiştiği konum, yıldızın tayf türünü belirtir.

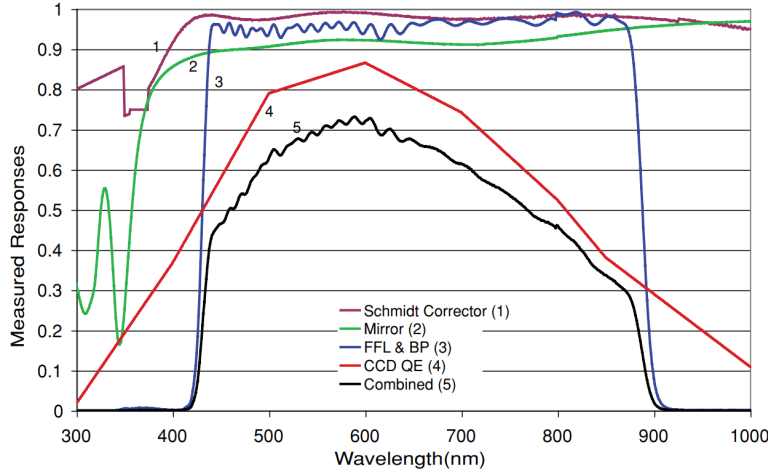
Örten ikiz çift yıldız sistemlerini oluşturan yıldızların kütleleri birbirine çok yakın olduğundan ve aynı zamanda anakola girdikleri düşünüldüğünde anakol evrimi boyunca parametrelerinin benzer zamanlarda değişikliğe uğraması beklenir. Bundan dolayı da bu tür sistemdeki yıldızların fiziksel parametrelerinin (sıcaklık, yarıçap vb.) aynı veya birbirine çok yakın olması beklenir. Bir yıldızın rengini belirleyen parametre, yıldızın en çok akı ürettiği dalgaboyuna karşılık gelen etkin sıcaklığıdır (Wien yasası). Bundan dolayı örten ikiz çift yıldız sistemlerinin evre/dönem bağımlılığı olmadan renklerinin hep aynı olduğu kabul edilebilir. Dolayısıyla herhangi bir anda fotometrik veriler yardımıyla belirlenecek olan bir ikiz çift yıldız sisteminin renk indisi, o sistemin tayfının belirlenmesine olanak sağlar.

3.2. Fotometrik Veriler

3.2.1. *Kepler* verisi ve ikiz aday sistemlerin seçimi

Bu doktora tez çalışması için seçilen örten ikiz çift sistemler, *Kepler* uydusunun toplamış olduğu verilerin analizi sonucu oluşturulan Kepler Eclipsing Binary Catalog’un (KEBC) verilerinin analizi sonucu tespit edilmiştir. *Kepler* uydusu, Güneş merkezli ve Dünya’nın yörüngesini takip eden bir yörüngede gözlem yapmıştır. *Kepler* uydusu, 0.95 metrelik açıklığa sahip, Schmidt düzelticili ve 1.4 metrelik f/1 odak oranına sahip birincil aynadan oluşan tek bir sistemdir. Teleskop sürekli olarak gözlem yapmakta ve üzerinde herhangi bir filtre veya teleskobun açıklığını kontrol edecek herhangi bir kapak bulunmamaktadır. *Kepler* teleskobu yaklaşık 115 derece²’lik sabit bir alanda, Kuğu (Cygnus) ve Çalgı (Lyra) takımyıldızları arasında yer alan yıldızların ışık değişimlerini gözlemek üzere tasarlanmıştır. Teleskobun üzerindeki ışıkölçer (photometer) kamera, 2200 × 1024 piksellik 42 adet CCD’den oluşmaktadır (Borucki vd. 2010). *Kepler*

uydusunun ana görevi Güneş benzeri yıldızların etrafındaki Dünya benzeri ötegezegenleri keşfetmek olduğundan üzerindeki kamera sistemi de Güneş benzeri yıldızların en çok ışınım yaptığı dalgaboyuna özel olarak tasarlanmıştır (Koch vd. 2010). Şekil 3.1’de teleskobun dalgaboyuna göre duyarlılık eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. *Kepler* teleskobundaki CCD’lerin dalgaboyuna göre duyarlılık eğrileri (Koch vd. 2010)

Şekil 3.1’de mor renk ile Schmidt düzelticinin, yeşil renk ile aynanın, mavi renk ile lenslerin ve renk geçirgenliğinin, kırmızı renk ile CCD kameranın kuantum etkinliğinin ve siyah renk ile tüm sistemin dalgaboyuna karşılık toplam duyarlılığı gösterilmektedir. *Kepler* uydusu 7 Mart 2009 tarihinde uzaya atılmış, ilk gözlemlerine belirli kalibrasyon ayarları yapıldıktan sonra 13 Mayıs 2009 yılında başlamıştır ve 30 Ekim 2018’de yakıtının bitmesiyle beraber görevi sonlanmıştır.

Kepler uydusunun her ne kadar temel amacı yıldızlardaki parlaklık değişimini belirleyerek yeni ötegezegenleri belirlemek olsa da elde ettiği ışık ölçümleri ile birçok örten çift yıldız sistemlerin keşfine ve hassas ışık eğrilerinin elde edilmesine de katkısı olmuştur. Prša vd. (2011), daha önceden *Kepler* uydusunun gözleyeceği alan içerisindeki belirlenmiş örten çift yıldızların verilerini kullanarak yeni bir algoritma geliştirdi ve bu algoritma çerçevesinde yapay zeka yardımıyla *Kepler* uydusunun almış olduğu verileri kullanarak yeni örten çift yıldız sistemleri ve keşfedilen örten çift yıldız sistemlerin yörünge parametreleriyle beraber geometrik özelliklerini de tayin ettiler. Elde ettikleri sonuçları "KEBC" adıyla bir katalog olarak yayınladılar. Katalogun içerisinde her bir örten çift sistem için dönem, dönem hatası, tutulum noktalarının derinliği ve genişliği, sıcaklık oranları ve örten çift sistemin geometrik yapısını belirlemede kullanılan biçimsel katsayısını içermektedir. Katalog yıllar içerisinde yeni *Kepler* ışık ölçümlerinin elde edilmesiyle beraber çeşitli araştırmacılar tarafından güncellenmiştir (Slawson vd. 2011; Kirk vd. 2016).

Bu tez çalışmasında çember yörüngeli örten ikiz çift sistem adayları, KEBC'den seçilmiştir. Seçim kriterleri olarak şunlar belirlenmiştir;

- Sistemdeki birinci tutulum derinliği ile ikinci tutulum derinliğinin arasındaki fark 0.006 kadirinden daha büyük değildir.
- Sistemin biçimsel katsayısı 0.5'den büyük değildir.
- Sistemdeki tutulum derinlikleri en az 0.01 kadiridir.
- Sistem çember bir yörüngeye sahiptir ($e = 0$).

Bu kriterlerin seçilme nedeni sırasıyla şu şekildedir. Amacımız, herhangi bir yanlış sistemi aday olarak belirlememek ve gerçek ikiz çift sistemleri bulmak olduğu için birinci minimum derinliği ile ikinci minimum derinliği arasındaki fark bu kadar küçük tutulmuştur. *Kepler* uzay teleskobunun hassasiyeti 0.001 kadir olduğu için bu değer kabul edilebilir bir seviyededir. Biçimsel katsayı, sistemin yapısal olarak ayırık, yarı-ayırık ve değen bir çift sistem olduğunu belirtmektedir. KEBC'ye göre biçimsel katsayı 0.5'den küçük sistemler, ayırık çift sistemlerdir. Bundan dolayı bu kriter ≤ 0.5 olarak seçilmiştir. KEBC'deki bazı sistemler içerisinde tutulumun ikinci bir sistemden değil de bir ötegezegen kaynaklandığı sistemler bulunmaktadır. Her ne kadar bu sistemler elenmiş olsa da, tutulumların bir ötegezegen değil de yoldaştan kaynaklandığını belirlemek için tutulum derinliğinin en az 0.01 kadir olması kriteri seçilmiştir. Basık yörüngeli sistemlerde, tutulum derinlikleri sistemdeki bileşenlerin sıcaklıklarından bağımsızdır. Bundan dolayı seçim kriterlerinde basık yörüngeli sistemlerin bu aşamada dahil edilmemesi kararlaştırılmıştır. Basık yörüngeli sistemlerin nasıl seçildiğine dair bilgi Bölüm 3.6.1 "*Kepler* verisinin analizi" bölümünde verilmiştir. KEBC'den belirlenen çember yörüngeli aday ikiz çift sistemlerinin listesi ve parametreleri EK-1'de verilmiştir.

3.2.2. T100 ve UBT60 fotometrik verileri

Bu tez çalışmasında belirlenen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin renklerini belirleyebilmek için gerekli olan fotometrik gözlemler, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'ne (TUG) bağlı Bakırlıtepe, Antalya yerleşkesinde yer alan T100 ve yine aynı yerleşkede bulunan Akdeniz Üniversitesi Fen Fakültesi'ne bağlı olan Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümüne ait UBT60 teleskobunda gerçekleştirilmiştir.

T100 teleskobu 100 cm'lik ayna çapına sahip, Ritchey-Chrétien optik sınıfından, f/10 odak oranına sahip, odak uzunluğu 1000 cm olan, 0".11 ayırma gücüne sahip bir teleskoptur. Üzerinde Spectral Instruments 1100 serisi, Cyro-cooler soğutmalı, 4096×4037 piksel düzeneğine sahip, 8'er yuvalı iki süzgeç tekerleği bulunan, $21.5' \times 21.5'$ görüş alanına sahip bir CCD kamera ile takip sistemi için kullanılan QHY174GPS model,

1920 × 1200 piksel düzeneğine sahip, thermo-elektrik fanla soğutulan, 3.86' × 2.42' görüş alanına sahip ikinci bir CCD kamera vardır. T100 teleskobu ile yapılan gözlemlerde Bessel UBVRİ filtreleri kullanılmıştır.

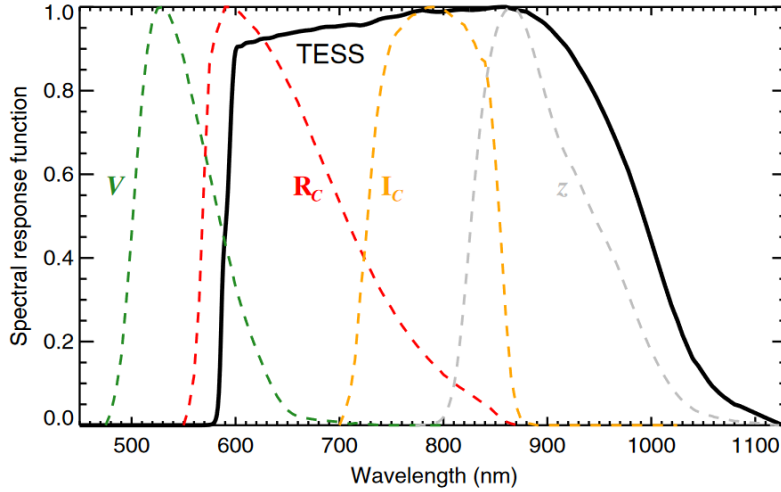
UBT60 teleskobu, 610 mm'lik ayna çapına sahip, Alman-ekvatoryal kundaklı, f/6.5 odak oranına sahip, odak uzunluğu 3962 mm olan bir teleskoptur. Üzerinde FLI Proline PL 1680 monochrome, hava soğutmalı, 4096 × 4096 piksel düzeneğine sahip bir CCD kamera ve 12 yuvalı FLI-CFW3-12 model bir filtre tekeri bulunmaktadır. UBT60 teleskobu ile yapılan gözlemlerde Johnson-Cousins (U, B, V, Rc, Ic) filtreleri kullanılmıştır.

3.2.3. TESS verisi

Bu tez çalışmasında mutlak parametreleri belirlenmiş olan üç örten ikiz çift yıldız sisteminin (AN Cam, RS Ari, V455 Aur) analizinde kullanılmak üzere Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS)'in derlenmiş verileri kullanıldı (Ricker vd. 2015). *TESS*, Güneş civarındaki yıldızlarda ötegezegen sistemlerinin keşfedilmesi amacıyla 18 Nisan 2018'de uzaya fırlatılmış ve ilk görüntü 7 Ağustos 2018'te almıştır. *TESS*, *Kepler* uydusundan farklı olarak Güneş civarındaki ve gökyüzünün tamamını tarayarak parlak yıldızların yörüngesinde bulunan ötegezegenlerin keşfedilmesine yönelik tasarlanmıştır. Dünya'nın etrafında oldukça büyük basıklıklı bir yörüngede dolanmakta olan *TESS*, yıldız gözlemlerini uzun poz (1800 saniye) ve kısa poz (120 saniye) olmak üzere, 27 günlük dönemler ile yapmaktadır. Her ne kadar *TESS*'in amacı ötegezegenlerin keşfi olsa da tıpkı *Kepler* uydusunun almış olduğu verilerle sağladığı gibi, *TESS* de çift yıldızların analizinde kullanılan çok sayıda çoklu yıldız sisteminin ışık eğrisini de sağlamıştır (Prša vd. 2022). *TESS*'in üzerinde arkadan aydınlatmalı, 2048 × 2048 piksel düzeneğine sahip, her bir pikselin 15 × 15 μm boyutunda olduğu, dört adet CCD kameraya bulunmaktadır. *TESS*'in kullandığı fotometrik filtre, özel olarak 600nm-1000nm arasında seçilmiştir. Filtrenin merkezi noktası olarak Cousins I bandının merkezi seçilmiş olsa da genel olarak daha geniş bir dalgaboyu aralığını kapsamaktadır. Şekil 3.2'de *TESS*'in kullandığı filtrenin kapsadığı dalgaboyu aralığının, diğer filtreler (Johnson-Cousins V, Rc, Ic ve Sloan Digital Sky Survey z) ile kıyaslanması verilmiştir.

AN Cam, *TESS* tarafından 19, 25 ve 26. dönemlerde uzun poz süresi ile gözlenmiştir. Bu çalışmada AN Cam sisteminin analizi için 27/11/2019 ile 24/12/2019 tarihlerini kapsayan 19. dönemde alınan veriler kullanılmıştır. Bu dönemde alınan veriler sistemdeki her iki tutulum bölgesini de kapsadığından sistemin analizi için 19. dönemde alınan veriler kullanıldı. AN Cam, *TESS* tarafından 52, 53 ve 59. dönemlerde tekrar gözlenecektir.

RS Ari, *TESS* tarafından 18, 42, 43 ve 44. dönemlerde hem kısa poz süresi hem de



Şekil 3.2. TESS ve diğer filtre sistemlerinin duyarlılık fonksiyonu (Ricker vd. 2015)

uzun poz süresi ile gözlenmiştir. Bu çalışmada RS Ari sisteminin analizi için 2/11/2019 ile 27/11/2019 tarihlerini kapsayan 18. dönemde alınan veriler kullanılmıştır. RS Ari, TESS tarafından 58. dönemde tekrar gözlenecektir.

V455 Aur, TESS tarafından 24/12/2019 ile 21/01/2021 tarihlerini kapsayan 20. dönemde, kısa poz süresi ile gözlenmiştir. V455 Aur, TESS tarafından 60. dönemde tekrar gözlenecektir.

3.3. Dikine Hız Verileri

Bu tez çalışmasında mutlak parametreleri belirlenen üç örten ikiz çift sistemin tayfsal yörüngesini elde etmek için gerekli olan dikine hız verileri; AN Cam için Imbert (1987)'den, RS Ari için Imbert (2002)'den ve V455 Aur için Griffin (2013)'den alınmıştır.

Imbert (1987), AN Cam sistemini Haute-Provence Gözlemevi'nde, 1 metrelik Swiss teleskobu kullanarak, yıldızların dikine hızlarını ölçmek için üretilmiş olan CORAVEL cihazı ile 45 gece boyunca gözlemiş ve AN Cam sistemindeki baş bileşen için 40 adet, yoldaş bileşen için de 34 dikine hız verisi elde etmiştir.

Imbert (2002), RS Ari sistemini 1978-1992 yılları arasında Haute-Provence Gözlemevi'nde bulunan 1 metrelik Swiss teleskobu ve La Silla Gözlemevi'nde bulunan 1.54 metrelik Danish teleskobu ile CORAVEL cihazını kullanarak RS Ari'nin bileşenleri için toplam 62 adet dikine hız verisi elde etmiştir.

Griffin (2001, 2013), V455 Aur sistemini Cambridge Gözlemevi'nde bulunan 36 inçlik teleskoba bağlı fotoelektrik dikine-hız tayfçeki ile iki gözlem döneminde gözlemiştir. İlk gözlem dönemi olan Şubat/2000 - Mayıs/2001 dönemi boyunca 42

gecelik gözlem; ikinci gözlem dönemi olan Ağustos/2000 - Ocak/2013 dönemi boyunca da 81 gecelik gözlem yaparak, V455 Aur sistemindeki bileşenler için toplamda 244 dikine hız verisi elde etmiştir.

CORAVEL temel olarak yıldızların dikine hızlarını, bir referans yıldız tayfı ile karşılaştırarak belirleyen bir Cassegrain türü tayfçektir (Baranne vd. 1979).

3.4. Tayf Verileri

KEBC'den belirlenen ikiz sistemler içerisinde seçilen ve mutlak parametreleri belirlenecek olan sistem ile SB9'dan belirlenen ve örten ikiz çift yıldız sistemi oldukları belli olan üç adet sistemin (AN Cam, RS Ari, V455 Aur) sıcaklık ve metal bolluğunu tayfsal analiz yöntemi ile belirlemek için gerekli olan veriler TUG Bakırlitepe yerleşkesinde bulunan Akdeniz Üniversitesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojiler Bölümü'ne ait olan UBT60 teleskobu kullanılarak tayfsal veriler elde edilmiştir. Tayfsal veriler, UBT60 teleskobuna bağlı Shelyak Instruments eShel Spectrograph (SIEs) ile alınmıştır. SIEs, bir tanesi gök cisminin tayfını almak ve diğeri de kalibrasyon için kullanılmak üzere iki adet fiber kablo beslemesine sahip, üzerinde 2184 x 1742 piksel düzeneği bulunan, her bir pikselin 6.8 x 6.8 μm boyutunda olduğu QSI 632s modelinde bir CCD kamerası olan, 4050 ile 8160 Å dalgaboyu aralığına sahip, $R \sim 12000$ çözünürlüklü bir tayfçeker sistemidir.

3.5. Literatürde Bulunan Parametreleri Belirlenmiş Örten İkiz Çift Sistemler

Bu tez çalışmasında evrim analizi yapılarak başlangıç dönemi ve varsa başlangıç basıklık değeri belirlenip istatistiksel incelemesi yapılacak olan, hali hazırda parametreleri en iyi bilinen örten ikiz çift sistemler Eker vd. (2018) çalışmasından seçilmiştir. Seçilen sistemler Çizelge 3.1'de verilmiştir, yıldız sembolüyle işaretli sistemlerde literatürde metal bolluğu çalışması yapılmadığı için evrim analizinde Güneş metal bolluğu değeri olan $Z = 0.02$ kullanılmıştır (Paxton vd. 2011). Çizelge 3.1'de birinci sütun, sistemin ismini; ikinci sütun, kütle oranını; üçüncü sütun, o sistemin metal bolluğunu, dördüncü sütun, sistemdeki baş bileşenin Güneş kütlesi cinsinden külesini; beşinci sütun, sistemdeki yoldaş bileşenin Güneş kütlesi cinsinden külesini; altıncı sütun, sistemin dönemini; yedinci sütun da sistemin yörüngesindeki basıklık değerini belirtmektedir.

Çizelge 3.1. Evrim yollarının hesaplanması için seçilen ikiz çift sistemler (Eker vd. 2018)

Sistem	q	[Fe/H] (dex)	M ₁ (M _☉)	M ₂ (M _☉)	P (gün)	e
AG Ari	0.995	-0.700	2.160	2.150	1.963110	0.091
β Aur	0.964	-0.125	2.376	2.291	3.960047	0.000
BF Dra	0.972	-0.170	1.414	1.375	11.211000	0.387
BS Dra	0.986	-0.500	1.294	1.276	3.364015	0.000
CO And	0.981	-0.090	1.289	1.264	3.655336	0.000
CV Vel	0.984	0.000	6.066	5.972	6.889494	0.000
DM Vir	0.996	0.120	1.454	1.448	4.669434	0.000
EP Cru	0.962	0.030	5.020	4.830	11.077470	0.187
η Mus*	0.997	0.000	3.300	3.290	2.396316	0.000
EW Ori	0.957	0.050	1.173	1.123	6.936843	0.076
FM Leo	0.976	-0.046	1.318	1.287	6.728606	0.000
GX Gem	0.986	-0.450	1.488	1.467	4.037936	0.000
HD 132553	1.000	0.020	1.769	1.766	5.976930	0.000
HS Hya	0.971	-0.120	1.255	1.218	1.568041	0.000
IT Cas*	1.000	0.000	1.330	1.328	3.896672	0.085
KIC 4247791*	0.969	0.000	2.020	1.960	4.100871	0.006
LV Her	0.981	0.080	1.193	1.170	18.43595	0.613
MU Cas	0.981	0.097	4.660	4.570	9.652929	0.193
PV Cas*	0.982	0.000	2.810	2.760	1.750467	0.032
PV Pup	0.993	0.000	1.565	1.554	1.660728	0.010
RT Crb*	0.988	0.000	1.359	1.343	5.117143	0.001
UW Lmi*	0.983	0.000	1.156	1.136	3.874307	0.000
UX Men	0.968	-0.040	1.238	1.198	4.181100	0.030
V364 Lac	0.984	0.000	2.333	2.296	7.351546	0.287
V392 Car*	0.975	0.000	1.900	1.853	3.174990	0.000
V453 Cep	0.961	0.000	2.580	2.480	1.184725	0.000
V459 Cas	0.970	-0.070	2.020	1.960	8.458254	0.024
V505 Per	0.986	-0.120	1.269	1.251	4.222020	0.000
V541 Cyg	0.968	-0.180	2.335	2.260	15.337910	0.479
V785 Cep	0.980	-0.100	1.103	1.081	6.504297	0.000
V799 Cas	0.964	-0.400	3.080	2.970	7.703004	0.435
V2080 Cyg	0.980	-0.070	1.197	1.173	4.933566	0.000
WW Cam	0.976	0.000	1.920	1.873	2.274363	0.009
WZ Oph	0.994	-0.270	1.227	1.220	4.183507	0.000

3.6. Fotometrik Verilerin Analizi

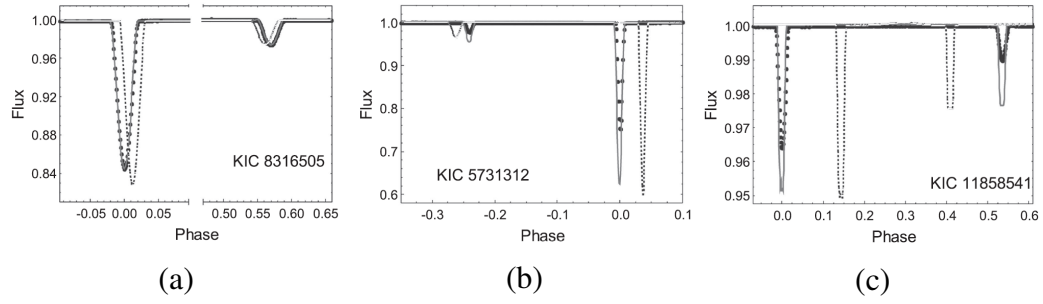
3.6.1. *Kepler* verisinin analizi

KEBC'den belirlenen aday sistemlerin verileri hali hazırda indirgenmiş ve analize hazır halde bulunmaktadır. Bundan dolayı *Kepler* verilerinde herhangi bir ön-indirgeme işlemi yapılmamıştır. Ancak aday listesindeki örten ikiz adayı çift sistemlerin doğrudan renklerini belirlemeden önce gerçekten de ikiz bir sistem olduklarını belirleyecek ışık katkı oranlarını belirlenmesi amacıyla analiz edilmesi gereklidir. Bu amaç doğrultusunda *Kepler* verilerinin analizi için Wilson-Devinney (WD, Wilson ve Devinney 1971; Wilson 1979, 1990, 1993, 2008, 2012; Van Hamme ve Wilson 2007; Wilson vd. 2010; Wilson ve Van Hamme 2014) kodunu temel alarak çalışan ve temelde bir Graphical User Interface (GUI) olan PHysics Of Eclipsing BinariEs (PHOEBE, Prša 2005) programı kullanıldı. WD kodu, differential corrections (DC) ve light and velocity curve (LC) olmak üzere temelde iki ayrı koddan oluşmaktadır. DC kodu, Levenberg-Marquardt algoritmasını (Levenberg 1944; Marquardt 1963) kullanarak diferansiyel düzeltme yaparak çalışır. LC kodu temel olarak DC programının çıktı sonuçları kullanılarak elde edilebilecek olan ışık eğrisi, dikine hız eğrisi, tayfsal çizgi profilleri, yıldızların görüntüsü, tutulum zamanları ve hesaplama artıkları grafiklerinin çizilebilmesine olanak sağlayan verileri üretir.

Aday sistemlerin her birinin tek tek analizi gerçekleştirilmiştir. Bir çift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizi ile sisteme ait yörünge eğimi (i), basıklık ve enberinin boyları ilişkisi ($e \sin w$, $e \cos w$), sistemdeki yıldızların birbirine olan etkin sıcaklık oranları ($T_{\text{eff1}}/T_{\text{eff2}}$), sistemdeki yıldızların görel yarıçap ($r = R/a$) parametreleri elde edilebilir. KEBC'den seçilen aday sistemler çember yörüngeye sahip olduğu için basıklık ve enberinin boyları 0 kabul edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Basık yörüngeli aday ikiz çift sistemler Kjurkchieva vd. (2017) çalışmasından seçilmiştir. Kjurkchieva vd. (2017), KEBC'de bulunan basık yörüngeli sistemlerin yörünge parametrelerinin elde edilmesi yönündeki çalışmasında KEBC'de bulunan 529 adet ayırık çift sistemin basıklık, enberi noktasının boyları, sıcaklık ve yarıçap oranlarını hesaplamıştır. Şekil 3.2'de elde ettikleri bazı sistemlerin ışık eğrileri gösterilmiştir.

Şekil 3.2'deki noktalar her sistemin kendine ait fotometrik verileri, sürekli çizgi Kjurkchieva vd. (2017)'nin yaptığı ışık eğrisi modelini ve noktalı sürekli çizgiler de KEBC modelini göstermektedir. Şekil 3.2'den de görülebileceği gibi, Kjurkchieva vd. (2017) çalışmasında her ne kadar yörüngesel parametreleri iyi belirlenmiş olsa da ışık eğrisi modelleri her sistem için iyi çözüm vermemiştir. Bundan dolayı Kjurkchieva vd. (2017)'nin analizleri sonucu belirlemiş olduğu ikiz çift sistemleri doğrudan kullanmak yerine, listesindeki sıcaklık ve yarıçap oranları %95 ile %100 arasında değişen 47 adet



Şekil 3.3. Kjurkchieva vd. (2017) çalışmasında **a)** KIC 8316505, **b)** KIC 5731312, **c)** KIC 11858541 için elde ettiği ışık eğrisi modelleri

sistem seçilmiş ve analizi yapılmıştır.

3.6.2. T100 ve UBT60 verilerinin analizi ve özgün renklerin belirlenmesi

Belirlenen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türlerini belirlemek için elde edilen fotometrik verilerin ön-indirgeme işlemi National Optical Astronomy Observatory’de (NOAO) yazılan, Unix tabanlı Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) kodunun 2.16.1 versiyonu kullanılarak yapılmıştır (Tody 1986). T100 ve UBT60 ile yapılan gözlemler sonucu elde edilen fotometrik verilerin ön indirgeme işlemi için aynı yöntem kullanılmıştır. Gözlem sonucu elde edilen ham/işlenmemiş (raw) görüntüler IRAF’a bağlı noao, imred, ccdred alt paketleri kullanılarak sırasıyla; bias, dark, flat düzeltmeleri yapılmıştır. Daha sonra bir C-Munipack yazılımı olan Muniwin kodunun 2.1.25(x64) versiyonu kullanılarak analizi yapılacak olan her sistemin her bir filtredeki (U, B, V, R, I) aletsel parlaklık değerleri elde edilmiştir. Muniwin, IRAF’ın DAOPHOT algoritmasını (Stetson 1987, 1990, 1992) kullanarak açıklık fotometresi ile yıldızların aletsel parlaklıklarını elde eder. Her bir sistemin aletsel parlaklık değerlerini, atmosfer dışı aletsel parlaklık değerlerine dönüştürmek için Denklem 3.5 kullanılmıştır.

$$m_{f_0} = m_f - k_f \sec z \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’te m_{f_0} , analizi yapılan filtredeki atmosfer dışı aletsel parlaklığı; m_f , fotometrik verinin analizi sonucu elde edilen filtredeki aletsel parlaklığı; k_f , analiz yapılan filtre için sönmüleme katsayısını; $\sec z$, hava kütlesini; z de yıldızın gözlem anındaki zenith açısını temsil etmektedir. Bu tez çalışmasında her bir teleskop için Johnsson-Cousin U, B, V, R, I filtrelerindeki sönmüleme katsayısı değerleri Bakış vd. (2020) çalışmasından alınmıştır.

Her bir ikiz çift yıldız sisteminin yer atmosferi dışı aletsel parlaklıklarından,

standart renklerinin elde edilmesi için Denklem 3.6'da verilen dönüşüm denklemleri kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
 v - V &= \epsilon(B - V) + C_v \\
 b - v &= \mu(B - V) + C_{bv} \\
 u - b &= \phi(U - B) + C_{ub} \\
 v - r &= \lambda(V - R) + C_{vr} \\
 v - i &= \beta(V - I) + C_{vi}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Denklem 3.6'da küçük harfler, her bir filtre için atmosfer dışı aletsel parlaklıkları; büyük harfler, her filtredeki standart parlaklıkları; C ile gösterilenler ise her bir denklem için elde edilen gecelik sıfır nokta sabitleri temsil etmektedir. Yunan harfleri ile belirtilen katsayılar her bir teleskop ve CCD sistemi için standarttır ve kısa zaman aralığında değişmez. Bundan dolayı daha önceki çalışmalar ile standart yıldızlar üzerinden elde edilen değerler tekrar kullanılabilir. Ancak sıfır nokta sabitleri (C) her gece değişir ve bundan dolayı her gece standart yıldızlardan elde edilmesi gerekir. Bu tez çalışmasında ikiz çift sistemlerin gözlemlerine başlamadan önce her gece Landolt standart yıldızları her bir filtrede gözlenmiştir (Landolt 1992). Gözlem yapılan her gece için Denklem 3.6'da verilen denklem setleri yardımıyla standart yıldızlar kullanılarak elde edilen sıfır nokta sabitleri belirlenmiş ve daha sonra yine aynı denklem setleri kullanılarak ikiz çift sistemlerin standart renkleri belirlenmiştir.

3.6.3. Çember yörüngeli örten ikiz çift sistemlerin tayf türlerinin belirlenmesi

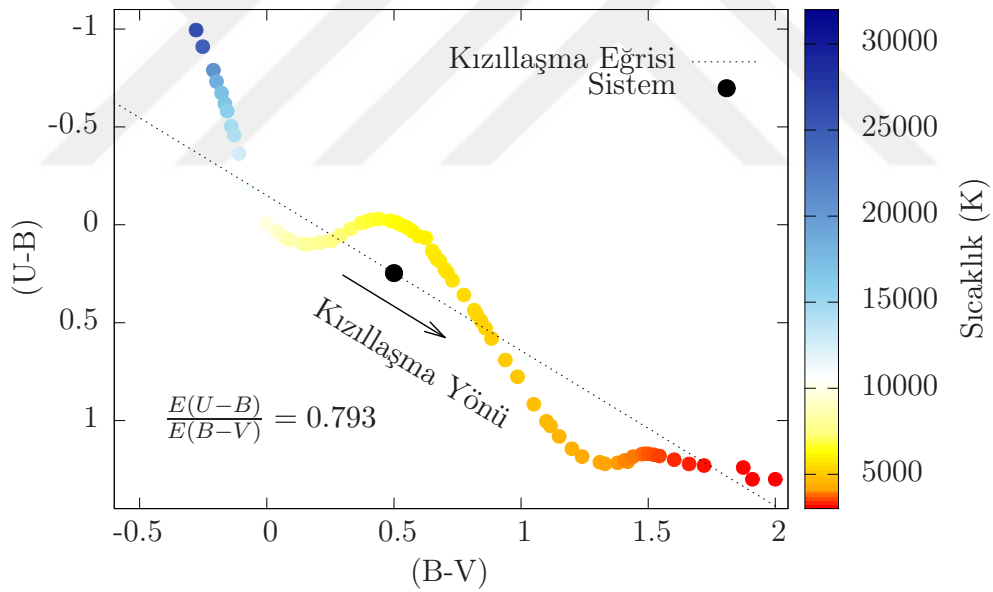
Yıldızlar, farklı dalga boylarında farklı enerji yayarlar. Yıldızların farklı filtrelerdeki parlaklıklarının farkına renk indisi denir. Örten ikiz çift sistemlerini oluşturan bileşenlerin sıcaklıkları birbirine çok yakın olduğundan ($<5\%$) elde edilecek renk indisi, sistemin evresinden bağımsız olur ve sistemin herhangi bir evrede elde edilen renk indisi değerleri, sistemin tayf türünü belirlemek için yeterlidir.

Bu tez çalışmasında analiz edilen sistemlerin tayf türleri, renk-renk diyagramları üzerine sistemin elde edilen renginin kızıllaşma eğrisi üzerinde kızıllaşma yönünün aksi doğrultusunda kaydırılarak, renk-renk diyagramı ile kızıllaşma eğrisinin kesiştiği yerdeki tayf türü baz alınarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ($B-V$)'ye karşılık ($U-B$), ($V-R$)'ye karşılık ($B-V$) ve ($V-I$)'ya karşılık ($B-V$) renk-renk diyagramları, Pecaut ve Mamajek (2013) çalışmasındaki sonuçlardan elde edilmiştir. Tayf türü belirlemekten kullanılan her tayf türü sistem için elde edilmiş renk indisleri EK-3'te verilmiştir. Bu tez

çalışmasında kullanılan kızılâşma eğrileri Fitzpatrick vd (2019) çalışmasındaki, Denklem 3.7’de verilen formüller kullanılarak elde edilmiştir.

$$\begin{aligned}\frac{E(U - B)}{E(B - V)} &= 0.793 \\ \frac{E(V - R)}{E(B - V)} &= 0.751 \\ \frac{E(V - I)}{E(B - V)} &= 1.572\end{aligned}\quad (3.7)$$

Şekil 3.4’te örnek bir (B-V)-(U-B) diyagramı ve kızılâşma eğrisi verilmiştir. Kızılâşmadan kısa dalgalı boyaları daha fazla etkileneceğinden kızılâşma yönü aşağıya doğrudur. Tayf türü belirlenirken sistemin rengi kızılâşma eğrisi boyunca kızılâşma yönüne ters bir şekilde yukarıya doğru kaydırılarak belirlenir. Kızılâşma eğrisinin renk-renk diyagramını kestiği noktadaki tayf türü sistemin tayf türünü belirler.



Şekil 3.4. Tayf türü belirlemek için kullanılan örnek bir renk-renk diyagramı ve kızılâşma eğrisi

Hesaplanan tayf türlerinin doğruluğunu kontrol etmek için sistemlerin fotometrik uzaklıkları hesaplandı ve *Gaia* EDR3 uzaklıkları ile karşılaştırıldı. Bu işlem için, sistemlerin sönmüleme katsayılarını belirleyebilmek için tayf türüne karşılık gelen kızılâşmadan arındırılmış renkleri Pecaut ve Mamajek (2013)’nin verdiği katalogdan seçildi ve Denklem 3.8 kullanılarak sistemlerin renk artıkları hesaplandı.

$$E(B - V) = (B - V) - (B - V)_0 \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’de $E(B-V)$, renk artığı; $(B-V)$, sistemin renk indisini; $(B-V)_0$ da sistemin kızıllaştırılmadan arındırılmış renk indisini belirtmektedir. Renk artıkları belirlenen sistemlerin sönümlene katsayıları Denklem 3.9 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$A_V = 3.1 E(B - V) \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da A_V , Johnson-Cousins V bandındaki sönümlene katsayısını, $E(B-V)$ de renk artığı belirtmektedir. Bu işlemten sonra ikiz sistemlerin parlaklıkları, sistemi oluşturan bileşenlerden tek bir bileşenin parlaklığına Denklem 3.10 kullanılarak indirgenmiştir.

$$m_1 = m_t - 2.5 \log \frac{L_1}{L_t} \quad (3.10)$$

Denklem 3.10’da m_1 , birinci bileşenin Johnson-Cousins V bandındaki görünür parlaklığını; m_t , sistemin Johnson-Cousins V bandındaki görünür parlaklığını ve L_1/L_t de birinci bileşenin ışık katkısının tüm sistemin ışık katkısına oranını belirtmektedir. Son olarak, sistemlerin uzaklıkları Denklem 3.11’de verilen uzaklık modülü bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V - M_V = 5 \log d - 5 + A_V \quad (3.11)$$

Denklem 3.11’de d , uzaklığı; V , birinci bileşenin Johnson-Cousins V bandındaki görünür parlaklığını; M_V , birinci bileşenin Johnson-Cousins V bandındaki mutlak parlaklığını; A_V de Johnson-Cousins V bandındaki sönükleşme katsayısını belirtmektedir.

3.7. Dikine Hız Verilerinin Analizi

Mutlak parametreleri belirlenecek olan örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayfsal yörüngelerini belirlemek için Delwin O. Johnson tarafından Microsoft Visual Basic kullanılarak yazılan Spectroscopic Binary Solver (SBS) kodunun 1.7 versiyonu kullanıldı (Johnson 2004). SBS, bir sistemin dikine hız ölçümlerini girdi parametresi olarak alır ve Denklem 3.12’de verilen formülü kullanarak o sistemin tayfsal yörünge elemanlarını belirler (Lehmann-Filhés 1894).

$$V_{dik} = K [\cos(\nu + w) + e \cos(w)] + \gamma \quad (3.12)$$

Denklem 3.12’de V_{dik} , dikine hızı; K , yarı genliği; ν , gerçek anomaliyi; w , enberinin boylamını; e , basıklığı; γ da sistemin kütle merkezinin hızını ifade eder. SBS, bir sistemdeki her yıldız için toplam 1000 adet dikine hız verisine kadar analiz yapabilir. SBS, çalışma prensibi olarak ilk önce sistemin yörünge dönemini hesaplar. Bunun için şu üç yöntemden birini kullanır; normalize edilmiş dönemsel çizit yöntemi (Lomb 1976; Scargle 1982), dizgi uzunluğunu en küçük elde etme yöntemi (Dworetsky 1983), evre dağılımını en küçük elde etme yöntemi (Marraco ve Muzzio 1980). Sistemin yörünge dönemi belirlendikten sonra, SBS tayfsal yörünge parametrelerini The Downhill Simplex yöntemini (Nelder ve Mead 1965) kullanarak belirler. Bu yöntemin avantajı; çözüme, başlangıç parametrelerinden çok fazla sapmadan bir sonuca ulaştırmasıdır. Ancak bunun için de çok fazla sayıda ara değer (iterasyon) hesabının yapılması gerekir. SBS, her bir çözüm için 2000 ara değer hesabına kadar işlem yapabilir. Bu ara değer hesabı da çözüm için genellikle yeterli olmaktadır. Çözüm sonucu olarak SBS, basık yörüngeli sistemler için 11, çember yörüngeye sahip sistemler için 9 tayfsal yörünge parametresini hatalarıyla birlikte verir. Basık yörüngeli sistemler için bu parametreler şunlardır; w , emberinin boylamı; e , basıklık; K_1 , yoldaş bileşenin dikine hız genliği; K_2 , baş bileşenin dikine hız genliği; γ , sistemin kütle merkezinin dikine hızı; P , sistemin yörünge dönemi; T_0 , referans minimum zamanı; $a_1 \sin i$, baş bileşenin yörüngenin eğimine bağlı olarak yörünge merkezine olan uzaklığı; $a_2 \sin i$, yoldaş bileşenin yörüngenin eğimine bağlı olarak yörünge merkezine olan uzaklığı; $m_1 \sin^3 i$, baş bileşenin yörüngenin eğimine bağlı olarak kütle; $m_2 \sin^3 i$, yoldaş bileşenin yörüngenin eğimine bağlı olarak kütlesi. SBS parametre hatalarını her bir parametre değerini değiştirerek, χ^2 sonucu 1 artacak şekilde hesaplar. Yörünge parametrelerinin fiti için Denklem 3.13’te verilen formülü kullanır (Press vd. 1992).

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{V_{i,göz} - V_{i,hesap}}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3.13)$$

Denklem 3.13’te χ^2 , ki-kare analizini; $V_{i,göz}$, her bir gözlenen dikine hızını; $V_{i,hesap}$, her bir hesaplanan dikine hızını; σ_i de her bir sapma değerini belirtmektedir. SBS, bu formülü kullanabilmek için gereken sapma değerlerini, ki-kare değerini 0.5’den 5’e kadar değiştirerek deneme yanılma yöntemi ile hesaplar. Bu tez çalışmasında, her ne kadar mutlak parametreleri belirlenecek olan sistemlerden üçünün (AN Cam, RS Ari, V455 Aur) tayfsal yörüngeleri belirlenmiş olsa da elde edilen dikine hızlar tekrar analiz edilerek, tayfsal yörünge parametreleri belirlenmiştir.

3.8. Tayf Verilerinin Analizi

Tayf verilerinin önindirgeme işlemi *IRAF* yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Görüntüler *IRAF*'a bağlı *noao*, *imred*, *ccdred* alt paketleri kullanılarak sırasıyla bias ve dark düzeltmeleri yapılmıştır. Daha sonra yine *IRAF* yazılımı kullanılarak *IRAF*'a bağlı *noao.imred.echelle* alt paketinde bulunan *apall* paketi ile yıldız tayfı ile flat düzeltmesi için elde edilen flat görüntüleri ve çizgi kalibrasyonu yapılması için alınan Toryum-Argon (ThAr) lambası görüntüleri eşel basamaklara ayrılmıştır. Daha sonra eşel basamaklara ayrılan yıldızla ait tayf verileri, eşel basamaklara ayrılmış flat görüntüsü kullanılarak flat düzeltmesi yapılmıştır. Kalibrasyon görüntüsü olarak alınan *ThAr* görüntüleri, eşel basamaklara ayrıldıktan sonra *echelle* paketinde bulunan *ecidentify* paketi ile çizgi kalibrasyonu yapılmıştır. Bu işlemten sonra *echelle* paketinde bulunan *refspectra* paketi ile yıldız tayfı ile çizgi kalibrasyonu yapılmış olan ThAr kalibrasyon tayfı ile eşleştirilmiş ve yıldız tayfının çizgi kalibrasyonu yapılmıştır. Ön indirgeme aşamasının son işlemi olarak da çizgi kalibrasyonu yapılmış yıldız tayf verileri, *echelle* paketinde bulunan *dispcor* paketi ile dispersiyon düzeltmesi yapılarak analize hazır hale getirilmiştir. Ön indirgemesi yapılmış olan yıldızlara ait tayfların analiz için kullanılacak olan kısımlar *IRAF*'ın *noao. onedspec* paketinde bulunan *scopy* paketi ile kısımlara ayrılmış ve yine *onedspec* paketinde bulunan *continuum* paketi ile normalize edilmiştir.

3.8.1. Atmosferik parametrelerin belirlenmesi

Modern astrofizik çalışmalarında bir yıldızın atmosferik parametrelerinin (sıcaklık, metal bolluğu, yıldızın dönme hızı, yüzey çekim ivmesi) belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden en geçerlisi, yıldızın modellenmesiyle üretilen sentetik tayfın, yıldızla ait gözlem tayfı ile karşılaştırılmasıdır. Bu doktora çalışmasında da atmosferik parametrelerin hesabı için bu yöntem kullanılmıştır.

Seçilmiş ikiz çift sistemlerin atmosfer modelleri, fortran kodu ile yazılan *ATLAS9* (Kurucz 1970, 1993; Castelli ve Kurucz 2004; Sbordone vd. 2004) kodu ile Linux işletim sistemi kullanılarak üretildi. *ATLAS9*, yıldızların atmosfer modellerini belirli koşullar altında yapar. Bunlar;

- Atmosfer kararlı bir yapıdadır.
- Atmosferden çıkan akı sabittir.
- Atmosfer homojendir ve atmosferin manyetik yapısı ihmal edilmiştir.
- Atmosfer katmanlı bir yapıda, yerel termodinamik dengededir (LTE).
- Yıldız hidrostatik dengededir.

- Atmosferdeki kimyasal bolluk sabittir.

Bu koşullar altında *ATLAS9* yıldız atmosferini 72 düzlem-paralel katmana ayırarak her katmanı, daha önceden belirlenmiş Opasite Dağılım Fonksiyonları (ODF) kullanarak hesaplar. Tez çalışmasında üretilen atmosfer modelleri için F. Castelli'nin web sitesinde yer alan ODF modelleri ile Roseland opasite dosyaları kullanıldı¹. İhtiyaç duyulan modellerin üretilmesi için gerekli olan ODF ve opasite dosyalarının web adresinde yer almaması durumunda, ODF ve opasite dosyalarının iterasyon yapılarak istenilen ODF ve opasite dosyalarını elde edilmesini sağlayan *dfinterbig.for* ve *kaprossinterp.f* kodları aynı web adresinden elde edildi, derlendi ve kullanıldı. Bu çalışmada, yıldızların atmosfer modelleri hesaplanırken yıldızlara ait yüzey çekim ivmesi (g) değerleri dikine hız ve ışık eğrisi analizinden çok iyi bir şekilde belirlendiği için yüzey çekim ivmesi değerleri sabit tutulup, diğer atmosfer model parametreleri el ile ara değer hesap yöntemi ile belirlenmiştir. Atmosfer modellerinin üretilmesi için gerekli olan mikrotürbülans hızları (v_{turb}) 1 olarak kabul edilmiş ve modeller bu varsayım ile üretilmiştir.

Örten ikiz çift sistemlerin atmosferik parametrelerin elde edilmesi için gerekli olan sentetik tayflar C programlama dilinde yazılan *SPECTRUM* kodu ile üretilmiştir (Gray ve Corbally 1994). *SPECTRUM*, her ne kadar *ATLAS9* atmosfer modelleri için yazılmış olsa da diğer düzlem-paralel geometriye sahip atmosfer modelleri (örneğin, *MARCS*) de çalışabilmektedir. *SPECTRUM*, atmosfer modellerindeki kütle derinliği, sıcaklık ve gaz basıncı verilerini girdi olarak kabul eder ve 7 doğrusal olmayan denklemi (hidrojen, helyum, karbon, nitrojen, oksijen denge denklemleri, yük denge denklemleri ve toplam sayı yoğunluğu denklemi) içeren bir bağıntı setini atmosferin her bir katmanı için hesaplayarak sentetik tayfı üretir.

3.8.2. Dikine hız ölçümlerinin elde edilmesi

Bu tez çalışmasında *Kepler* teleskobunun aldığı verilerin analizi sonucu belirlenen örten ikiz çift sistemlerden mutlak parametrelerinin belirlenmesi ve tayfsal yörünge elemanlarının elde edilmesi için gerekli olan dikine hız ölçümleri *IRAF* kodunun *rv* paketinde yer alan *fxcor* alt paketi ile belirlenmiştir. *Fxcor*; Tonry ve Davis (1979)'un geliştirdiği Fourier çapraz eşleşme yöntemini kullanarak gök cisimlerin dikine hız ölçümlerini elde eder. Bu işlemi en basit haliyle, dikey hızı elde edilmek istenen gök cisminin analize hazır hale getirilmiş tayfı ile kıyışılması giderilmiş veya hız düzeltilmesi yapılmış bir referans tayf ile kıyaslayarak yapar. *Fxcor*'un bir özelliği de örten çift çizgili çift sistemlerin dikine hızlarını baş bileşen ve yoldaş bileşen için aynı anda hesaplayabilmesidir.

¹<https://wwwuser.oats.inaf.it/castelli/odfnew.html>

3.9. Evrim Analizi

Bu tez çalışmasında evrim analizi yapılacak sistemler fortran bilgisayar dilinde yazılan Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (*MESA*; Paxton 2011, 2013, 2015, 2018, 2019) programı kullanılarak analiz edilmiştir. *MESA*, yıldız evrimi için kritik önem taşıyan hesaplamaların (hal denkleminin her katmandaki çözümü, donukluk hesabı, nükleer reaksiyonların hesabı vb.) ayrı modüller üzerinden hesaplandığı, günümüzdeki çok çekirdekli işlemcilerin gücünü kullanabilen, tek boyutlu bir yıldız evrim kodudur. Örneğin *eos* modülü, her katman için hal denklemini çözerken; *kap* modülü, donukluk hesaplarını yapar. *MESA*, modellerini tek boyutlu ve küresel simetrik varsayımı ile yıldız hücre yapısına bölerek hesaplar. Bu model yapısını yıldızın yüzeyini birinci hücre kabul edip, yıldızın yapısının karmaşıklığına göre hücrelere böler ve yıldızın yüzeyinden yıldızın merkezine kadar hesaplamasını gerçekleştirir. *MESA*, tek yıldız evrimi için iki adet temel girdi parametrelerini içeren dosyadaki verileri okuyarak evrim hesaplamasını yapar. Dosyalardan birinde hal denklemi ve donukluk veri kaynakları, kimyasal kompozisyon ve nükleer reaksiyonlar ve diğer özellikler bulunurken; diğer dosyada evrim hesabı sırasındaki ayarlar ve seçenekleri içerir. *MESA*, evrim hesabına girdi dosyalarını okuyup nükleer reaksiyon oranlarını, hal denklemini ve donukluk verilerine erişerek başlar. Başlangıç modeli veya anakol öncesi model hafızaya (memory) yüklenir ve evrim döngüsü başlar. Her bir zaman adımının (timestep) işleyişi basitçe dört temel adımdan oluşur. Birinci adımda *MESA*, diğer zaman adımını modelin ne kadar detaylı hesaplanacağını hesaplar. İkinci adımda evrim modelini, rüzgarla kaybedilen kütleye veya kütle transferi ile alınan kütleye göre ayarlar, element difüzyonu için bollukları adapte eder, kovektif difüzyon katsayılarını belirler ve yıldızın yeni yapısını ve yeni kimyasal kompozisyonunu Newton-Raphson yöntemi ile hesaplar. Üçüncü adımda bir sonraki zaman adımının süresini belirler. Son olarak dördüncü adımda da çıktı dosyasını oluşturur.

Bu tez için seçilen örten ikiz çift yıldız sistemleri ayrı sistemler oldukları için öncelikle H-R diyagramlarındaki konumlarını belirleyebilmek ve hesaplanan mutlak değerlerin doğruluğunu evrim yolları ile teyit edebilmek için tek yıldız evrimleri yapılmıştır. Başlangıç yörünge parametrelerinin belirlenecek ve detaylı evrim analizi yapılacak olan örten ikiz çift yıldız sistemleri için ise *MESA*'nın *binary* modu kullanılmıştır. Bu modda, sistemi oluşturan yıldızların kütleleri ile metal bollukları, başlangıç yörünge parametreleri, sistemde ileride oluşabilecek kütle aktarımının hangi mekanizma ile hesaplanacağı, kütle aktarımının verimlilik katsayıları, sistemde oluşabilecek açısal momentum kayıpların hangi mekanizma ile hesaplanacağı, eğer sistem basık ise sistemin çember yörüngeye evrilmesi için gereken hesaplamaların hangi yöntem ile yapılacağı parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Bu tez çalışmasında *binary* modu ile analizi yapılan sistemler için kullanılan ayarlar Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çift

yıldız evrimi yapılacak sistemlerin evrimleri, kütle aktarımı başlayınca kadar devam ettirilmiş, kütle aktarımı başladığı anda sonlandırılmıştır.

Çizelge 3.2. MESA *binary* modu tercih edilen parametreler

Ayar	Konvektif atmosfer	Radyatif atmosfer	Açıklama
Kütle aktarım mekanizması			
mdot_scheme	Kolb	Kolb	Kolb ve Ritter (1990)
Açısal momentum kayıpları			
do_jdot_mb	açık	açık	Manyetik frenleme
do_jdot_gr	açık	açık	Kütleçekim dalga radyasyonu
do_jdot_ml	açık	açık	Rüzgar ile kaybedilen kütle
do_jdot_ls	kapalı	kapalı	Toplam açısal momentum korunumu
Yörünge senkronizasyonu			
do_tidal_sync	Orb_period	Orb_period	Yörünge dönemine göre
do_tidal_circ	Hut_conv	Hut_rad	Hurley vd. 2002
sync_mode	Uniform	Uniform	Zaman ölçeğine göre

4. BULGULAR

4.1. Belirlenen Örten İkiz Çift Yıldız Sistemleri

4.1.1. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemleri

Bu tez çalışmasında *Kepler* teleskobunun topladığı verilerden oluşturulan KEBC’de bulunan toplam 2920 örten çift yıldız sisteminin taranması ile elde edilen 88 örten ikiz çift yıldız sistemi adayının (%3), WD kodu ile yapılan incelenmesi sonucu çember yörüngeli 43 örten ikiz çift yıldız sistemi (%49) tespit edilmiştir. Bu sistemlerin analiz sonucu elde edilen sistemdeki bileşenlerin sıcaklık oranları, bileşenlerin görelî yarıçap oranları ve bileşenlerin ışık katkı oranları ve Denklem 3.4’ten elde edilen kütle oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. KEBC’de tespit edilen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerin parametreleri

No	İsim	T_1/T_2	r_1/r_2	L_1/L_2	Kütle Oranı
1	KIC-3248019	1.004	1.008	1.042	1.011
2	KIC-3654950	0.998	1.014	1.052	1.013
3	KIC-4157488	0.999	0.997	0.990	0.997
4	KIC-4365461	1.000	0.999	0.998	0.999
5	KIC-4826439	0.999	0.986	0.968	0.992
6	KIC-4912589	0.967	0.999	0.933	0.982
7	KIC-4912991	1.003	1.002	1.015	1.004
8	KIC-5090690	1.000	1.002	1.007	1.002
9	KIC-5263802	1.000	1.002	1.008	1.002
10	KIC-5285607	0.976	1.011	0.996	0.999
11	KIC-5384802	0.998	1.005	1.014	1.004
12	KIC-5738698	1.001	1.008	1.036	1.009
13	KIC-6543674	0.988	0.998	0.966	0.991
14	KIC-6629332	1.000	1.001	1.002	1.001
15	KIC-7970629	0.970	1.012	0.987	0.997
16	KIC-7971389	1.007	0.993	0.985	0.996
17	KIC-8075618	0.985	0.998	0.964	0.991
18	KIC-8243263	0.997	1.002	1.003	1.001
19	KIC-8330575	1.000	1.000	1.000	1.000
20	KIC-8445775	1.000	1.001	1.002	1.001
21	KIC-8939650	1.012	0.990	0.984	0.996

(Devamı arkada)

Çizelge 4.1'in devamı

No	İsim	T_1/T_2	r_1/r_2	L_1/L_2	Kütle Oranı
22	KIC-9652632	0.992	1.007	1.012	1.003
23	KIC-9786017	0.981	1.011	1.005	1.001
24	KIC-9881258	0.960	1.022	1.005	1.001
25	KIC-9906590	0.987	1.006	0.997	0.999
26	KIC-10191056	0.998	1.003	1.009	1.002
27	KIC-10275074	0.994	1.007	1.019	1.005
28	KIC-10480952	0.999	1.004	1.014	1.004
29	KIC-10491031	0.987	1.010	1.014	1.003
30	KIC-10547685	0.996	1.003	1.004	1.001
31	KIC-11704044	0.975	1.015	1.008	1.002
32	EPIC-201810513	0.963	1.015	0.982	0.995
33	EPIC-202065543	0.977	1.003	0.965	0.991
34	EPIC-202072991	1.008	1.004	1.034	1.009
35	EPIC-202094234	1.013	1.004	1.041	1.010
36	EPIC-205463986	0.988	0.988	0.931	0.982
37	EPIC-210744182	1.028	1.014	1.114	1.028
38	EPIC-211623903	0.966	1.022	1.020	1.005
39	EPIC-211732801	0.957	0.995	0.898	0.973
40	EPIC-211936444	0.958	1.024	1.008	1.002
41	EPIC-211995966	0.999	1.001	1.003	1.001
42	EPIC-211997641	1.015	1.012	1.080	1.020
43	EPIC-211999656	0.989	1.000	0.977	0.994

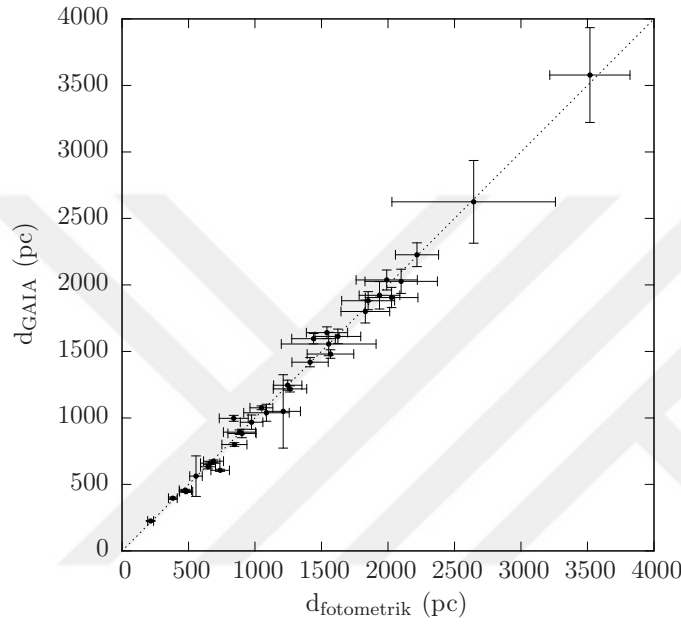
İkiz çift yıldız sistemi oldukları belirlenen 43 çember yörüngeli sistemin gözlem verileri ile analiz sonucu elde edilen ışık eğrisi modelleri EK-4'te, sistemlerin renklerini hesaplamak için yapılan gözlemlerin tarihleri ile Denklem 3.6'da verilen bağıntı setleri kullanılarak sistemlere ait elde edilen standart renklere dönüştürülmüş renkleri, hatalarıyla birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin gözlemleri ve elde edilen standarda dönüştürülmüş renkleri ile hataları

No	Sistem	Teleskop	Gözlem Tarihi	(U-B) (mag)	(B-V) (mag)	(V-R) (mag)	(V-I) (mag)
1	KIC-3248019	T100	04/08/2020	–	0.639±0.084	0.459±0.030	0.890±0.071
2	KIC-3654950	T100	02/07/2020	–	1.035±0.186	0.669±0.061	1.186±0.114
3	KIC-4157488	UBT60	01/10/2019	–	0.685±0.053	0.377±0.019	0.816±0.054
4	KIC-4365461	UBT60	20/10/2019	–	0.582±0.071	0.348±0.005	0.707±0.008
5	KIC-4826439	UBT60	20/10/2019	–	0.613±0.058	0.431±0.001	0.776±0.139
6	KIC-4912589	T100	01/07/2020	0.685±0.031	1.015±0.072	0.609±0.121	1.953±0.189
7	KIC-4912991	T100	01/07/2020	0.634±0.035	0.939±0.077	0.526±0.123	1.789±0.194
8	KIC-5090690	UBT60	30/08/2019	–	0.436±0.083	0.270±0.007	0.530±0.011
9	KIC-5263802	T100	04/08/2020	0.044±0.045	0.497±0.097	0.277±0.033	0.564±0.074
10	KIC-5285607	UBT60	31/08/2019	–	0.387±0.083	0.269±0.007	0.567±0.011
11	KIC-5384802	T100	03/08/2020	0.210±0.030	0.648±0.074	0.388±0.026	0.732±0.064
12	KIC-5738698	T100	01/08/2020	0.031±0.031	0.464±0.064	0.328±0.023	0.619±0.060
13	KIC-6543674	UBT60	31/08/2019	–	0.670±0.078	0.433±0.006	0.834±0.008
14	KIC-6629332	UBT60	30/09/2019	–	0.716±0.104	0.399±0.010	0.772±0.015
15	KIC-7970629	UBT60	30/09/2019	–	0.532±0.097	0.319±0.008	0.653±0.011
16	KIC-7971389	UBT60	30/09/2019	–	0.636±0.078	0.344±0.001	0.734±0.001
17	KIC-8075618	T100	02/07/2020	–	0.969±0.182	0.558±0.049	1.041±0.100
18	KIC-8243263	T100	16/07/2020	-0.020±0.024	0.463±0.063	0.300±0.021	0.572±0.113
19	KIC-8330575	UBT60	30/09/2019	–	0.526±0.084	0.321±0.003	0.686±0.005
20	KIC-8445775	T100	02/07/2020	0.180±0.033	0.595±0.072	0.419±0.024	0.760±0.117
21	KIC-8939650	T100	01/08/2020	0.376±0.038	0.653±0.086	0.293±0.040	0.730±0.071
22	KIC-9652632	T100	01/07/2020	0.579±0.037	0.910±0.081	0.496±0.124	1.265±0.071
23	KIC-9786017	T100	16/07/2020	0.252±0.032	0.694±0.074	0.389±0.024	0.765±0.118
24	KIC-9881258	UBT60	20/10/2019	–	0.615±0.060	0.380±0.002	0.713±0.035
25	KIC-9906590	T100	01/08/2020	0.151±0.040	0.559±0.084	0.316±0.029	0.622±0.069
26	KIC-10191056	UBT60	20/10/2019	–	0.452±0.062	0.278±0.003	0.574±0.004
27	KIC-10275074	T100	01/07/2020	0.765±0.033	0.982±0.080	0.572±0.0124	1.245±0.071
28	KIC-10480952	T100	01/07/2020	0.687±0.037	0.971±0.081	0.605±0.124	1.272±0.071
29	KIC-10491031	UBT60	20/10/2019	–	0.492±0.074	0.291±0.007	0.610±0.061
30	KIC-10574685	T100	03/08/2020	0.209±0.034	0.633±0.075	0.340±0.026	0.681±0.064
31	KIC-11704044	UBT60	01/10/2019	–	0.855±0.060	0.561±0.003	1.037±0.038
32	EPIC-201810513	T100	02/04/2020	–	1.112±0.075	0.748±0.091	1.394±0.135
33	EPIC-202065543	T100	19/02/2020	0.178±0.057	0.545±0.063	0.303±0.037	0.786±0.056
34	EPIC-202072991	T100	19/02/2020	0.243±0.057	0.409±0.064	0.225±0.038	0.665±0.056
35	EPIC-202094234	T100	19/02/2020	0.415±0.060	0.641±0.063	0.328±0.037	0.888±0.056
36	EPIC-205463986	T100	16/07/2020	0.413±0.034	0.806±0.076	0.482±0.026	0.920±0.115
37	EPIC-210744182	T100	17/12/2020	0.383±0.055	0.828±0.088	0.493±0.030	0.984±0.062
38	EPIC-211623903	T100	19/02/2020	–	0.948±0.061	0.487±0.037	1.248±0.055
39	EPIC-211732801	T100	19/02/2020	0.193±0.057	0.443±0.063	0.399±0.037	0.897±0.056
40	EPIC-211936444	T100	19/02/2020	0.392±0.056	0.742±0.063	0.374±0.037	–
41	EPIC-211995966	T100	19/02/2020	1.552±0.055	1.279±0.061	0.664±0.036	1.850±0.055
42	EPIC-211997641	T100	17/12/2020	0.220±0.087	0.523±0.120	0.340±0.039	0.642±0.063
43	EPIC-211999656	T100	17/02/2020	-0.067±0.076	0.343±0.132	0.242±0.043	0.475±0.068

İkiz sistemler için elde edilen standartlara dönüştürülmüş renkler, renk-renk diyagramları üzerine oluşturulan kızıllaşma eğrisi boyunca kızıllaşma yönünün aksine

kaydırılarak renk-renk diyagramını kestiği yerdeki tayf türü, o sisteme ait tayf türü olarak belirlenmiştir. Yıldızlar için belirlenen tayf türlerinin doğruluğu, fotometrik uzaklıkların *Gaia* EDR3 uzaklıkları ile karşılaştırılmasıyla yapılmıştır. Standart renkleri ve tayf türleri belirlenen 43 adet çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemden 34'ünün (%79) hesaplanan fotometrik uzaklığı ile *Gaia* uydusunun elde etmiş olduğu uzaklıklar tutarlı bulunmuştur. Şekil 4.1'de 34 sistemin fotometrik uzaklıklarının, *Gaia* uzaklıkları ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Bu tez çalışmasında tayf türü belirlenen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerin fotometrik uzaklıklarının, *Gaia* trigonometrik paralaks ölçümlerinden hesaplanmış uzaklıkları ile karşılaştırılması

Tayf türü doğru bir şekilde belirlenen 34 adet çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sisteminin sıcaklıkları, Eker vd. (2020) çalışmasında verilen $(B - V)_0 \propto T_{\text{eff}}$ (Denklem 4.1) bağıntısı kullanılarak sistemlerin sıcaklıkları hesaplanmıştır.

$$\log T_{\text{eff}} = 0.07569(0.012) (B - V)_0^2 - 0.38786(0.01368) (B - V)_0 + 3.96617(0.00338) \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de T_{eff} , etkin sıcaklığı ve $(B - V)_0$ da kızıllaşmadan arındırılmış renk indeksini temsil etmektedir. Çizelge 4.3'te, fotometrik uzaklıkları *Gaia* uzaklıkları ile eşleşen 34 adet çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sisteminin isimleri, tayf türleri,

kızıllaşmadan arındırılmış renkleri, etkin sıcaklıkları, renk artıkları, fotometrik uzaklıkları ve *Gaia* EDR3 uzaklıkları hatalarıyla birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin özellikleri

No	Sistem	Tayf Türü	$(B - V)_0$	T_{eff} (K)	$E(B-V)$	$d_{\text{fotometrik}}$ (pc)	d_{Gaia} (pc)
1	KIC 3654950	G4-G6	0.670-0.700	5499-5392	0.355±0.186	2644±615	2625±311
2	KIC 4157488	G4-G7	0.670-0.710	5499-5357	0.005±0.053	2218±162	2227±89
3	KIC 4365461	F4-F7	0.410-0.510	6605-6138	0.098±0.071	1414±136	1419±35
4	KIC 4826439	F5-F7	0.440-0.510	6459-6138	0.129±0.058	1936±153	1922±103
5	KIC 4912589	G9-K0.5	0.775-0.825	5141-4985	0.199±0.072	476±46	457±6
6	KIC 5090690	F2-F4	0.370-0.410	6808-6605	0.046±0.083	1567±175	1480±32
7	KIC 5263802	F4-F6	0.410-0.484	6605-6254	0.057±0.097	738±70	606±8
8	KIC 5285607	A5-A7	0.160-0.210	8055-7728	0.217±0.083	845±94	800±14
9	KIC 5384802	F5-F8	0.440-0.530	6459-6052	0.134±0.074	1263±126	1218±23
10	KIC 5738698	F2-F3	0.370-0.390	6808-6705	0.074±0.064	974±85	968±54
11	KIC 6543674	F4-F6	0.410-0.484	6605-6254	0.186±0.078	1623±172	1613±55
12	KIC 6629332	G6-G8	0.700-0.730	5392-5289	0.006±0.104	883±121	893±17
13	KIC 7970629	F3-F7	0.390-0.510	6705-6138	0.048±0.097	2099±272	2027±91
14	KIC 7971389	G0-G1	0.596-0.625	5780-5667	0.040±0.078	1212±130	1049±276
15	KIC 8075618	K0-K1.5	0.816-0.860	5013-4882	0.085±0.182	1554±356	1556±88
16	KIC 8243263	F4-F6	0.410-0.484	6605-6254	0.023±0.063	1246±106	1246±38
17	KIC 8330575	F0-F3	0.330-0.390	7245-6705	0.156±0.084	1440±164	1596±39
18	KIC 8445775	F0-F1	0.290-0.330	7245-7021	0.305±0.072	2027±198	1905±76
19	KIC 8939650	F2-F3	0.370-0.390	6808-6705	0.283±0.086	1990±230	2037±75
20	KIC 9652632	K0-K2	0.819-0.884	5013-4813	0.068±0.081	688±75	674±10
21	KIC 9786017	F6-F7	0.484-0.510	6254-6138	0.184±0.074	1829±183	1800±86
22	KIC 9881258	F6-F8	0.484-0.530	6254-6052	0.131±0.060	1048±86	1076±14
23	KIC 9906590	F5-F6	0.440-0.484	6459-6254	0.119±0.084	840±109	997±22
24	KIC 10191056	F2-F3	0.370-0.390	6808-6605	0.082±0.062	556±47	562±152
25	KIC 10275074	K0-K2.5	0.816-0.938	5013-4666	0.140±0.080	1851±199	1881±68
26	KIC 10480952	G8-G9	0.730-0.775	5289-5141	0.196±0.081	663±73	659±9
27	KIC 10491031	F3-F5	0.390-0.440	6705-6459	0.082±0.074	1541±155	1641±44
28	KIC 10547685	G0-G2	0.596-0.650	5780-5572	0.037±0.075	482±49	445±5
29	EPIC 202065543	A8-A9	0.250-0.255	7481-7451	0.290±0.063	382±33	396±9
30	EPIC 202072991	F0-F2	0.290-0.370	7245-6808	0.119±0.064	647±56	633±16
31	EPIC 202094234	F1-F3	0.330-0.390	7021-6705	0.271±0.063	3518±302	3578±356
32	EPIC 205463986	G7-G8	0.710-0.720	5357-5289	0.106±0.076	215±	225±3
33	EPIC 210744182	G1-G3	0.625-0.660	5667-5535	0.203±0.088	902±106	883±32
34	EPIC 211997641	F2-F3	0.370-0.390	6808-6705	0.153±0.120	1086±171	1039±64

4.1.2. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemleri

Basık yörüngeli çift sistemlerin ışık eğrilerindeki tutulum noktalarındaki derinlik ve genişlik bileşenlerin sıcaklık ve yarıçaplarından bağımsız olacağı için Kjurkchieva vd. (2017)'nin belirlediği 529 sistemden seçilen 47 (%9) aday sistemin WD kodu ile analizi gerçekleştirildi ve bu örnek içinde 15'inin (%3) basık yörüngeli örten ikiz çift

yıldız sistemi olduğu tespit edilmiştir. İkiz oldukları belirlenen 15 basık yörüngeli çift sisteminin ışık eğrisi modelleri EK-5’te verilmiştir. Bu ikiz sistemlerin tayf türlerinin belirlenmesi için fotometrik gözlemleri yapılmadığından dolayı bu sistemlerin sıcaklıkları -dolayısıyla da tayf türleri- Pinsonneault vd. (2012) çalışmasında SDSS- T_{eff} kalibrasyonuyla elde ettiği sonuçlar kullanıldı. Çizelge 4.4’te, analiz sonucu ikiz oldukları belirlenen basık yörüngeli ikiz çift yıldız sistemin isimleri, bileşenlerin yarıçap ve sıcaklık oranları, kütle oranı, yörüngelerindeki basıklık miktarı, yörüngelerinin enberinin boylamları, baş bileşenlerinin sıcaklıkları ve tayf türleri verilmiştir.

Çizelge 4.4. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin astrofizik ve yörünge parametreleri

No	KIC	r_1/r_2	T_1/T_2	L_1/L_2	Kütle Oranı (q)	Basıklık (e)	Enberinin Boylamı(w)($^\circ$)	T_{eff} (K)	Tayf Türü
1	3865298	0.966	0.994	0.910	0.976	0.233	171	5295	G9-K0
2	4375101	1.012	0.967	0.895	0.972	0.230	24	5661	G5
3	4937143	1.007	1.002	1.022	1.006	0.211	1	6705	F3-F4
4	5021732	0.997	1.002	1.001	1.000	0.062	5	6119	F8-F9
5	5347784	0.970	1.015	0.999	1.000	0.011	173	5392	G9
6	6147573	1.040	0.993	1.053	1.013	0.365	5	5503	G7-G8
7	6301030	1.015	0.999	1.025	1.007	0.308	359	5727	G2-G3
8	6431670	0.969	1.003	0.949	0.987	0.334	172	5103	K2
9	6610219	1.030	1.004	1.077	1.019	0.199	94	5986	F9.5
10	6949550	1.018	1.000	1.037	1.009	0.265	184	5718	G3
11	8700506	0.993	0.959	0.833	0.954	0.538	61	6608	F4-F5
12	8984706	0.960	0.996	0.906	0.975	0.022	49	5642	G5-G6
13	9344623	0.978	1.039	1.114	1.028	0.177	214	6312	F6-F7
14	9658118	1.015	0.987	0.978	0.994	0.342	63	6225	F7-F8
15	9837544	0.973	1.048	1.141	1.035	0.662	1	4886	K2-K3

4.2. Dikine Hız Eğrileri ve Işık Eğrisi Çözümleri

4.2.1. EPIC 202072991 (V396 Gemini)

V396 Gemini (Gem; EPIC 202072991), KEBC’den belirlenen 34 adet çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemi arasından mutlak parametrelerinin belirlenmesi için seçilmiştir. V396 Gem’in örten bir çift sistem olduğunu ilk olarak Northern Sky Variability Survey’in (NSVS, Woźniak vd. (2004)) verilerini inceleyen Otero (2008) çalışmasıyla keşfetmiştir. Sistemin birinci ve ikinci tutulumlarındaki parlaklıklarını belirlemiş ve sistemin yörünge dönemini 5.4966 ± 0.001 gün olarak hesaplamıştır. V396 Gem, daha sonra *Kepler* teleskobu ile gözlenmiştir. V396 Gem’in bileşenlerinin dikine hızlarını elde edebilmek için UBT60 teleskobu ile tayfsal gözlemler yapılmıştır.

Sistemin, *IRAF*'ın *Fxcor* paketi kullanılarak elde edilen dikine hız verileri, *IRAF*'ın *rv* paketinde bulunan *RVcorrect* alt paketi ile Güneş merkezli düzeltmeleri yapılmıştır. Gözlem tarihi, sistemin gözlem anındaki evresi, analize hazır hale getirilen V396 Gem'in bileşenlerinin Güneş merkezli düzeltmeleri yapılmış dikine hızları ve hataları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. V396 Gem sistemindeki bileşenler için hesaplanan dikine hızları ve hataları

Gözlem Tarihi	HJD -2400000	Evre ϕ	RV_1 (kms ⁻¹)	σ_1 (kms ⁻¹)	RV_2 (kms ⁻¹)	σ_2 (kms ⁻¹)
04/03/2021	59278.42320	0.85	70.52	4.14	-76.35	4.05
05/03/2021	59279.37033	0.03	-12.13	3.31	—	—
12/03/2021	59286.33087	0.29	-92.37	4.78	87.59	5.01
13/03/2021	59287.31241	0.47	—	—	2.28	4.65
20/03/2021	59294.31954	0.75	87.98	5.50	-98.35	7.14
28/03/2021	59302.32473	0.20	-89.08	6.55	83.42	5.60
22/04/2021	59327.28471	0.74	88.92	6.56	-95.55	6.83

V396 Gem'in bileşenlerinin dikine hızları SBS programı ile analiz edilerek V396 Gem sisteminin tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. V396 Gem'in elde edilen tayfsal yörünge parametreleri, hataları ile birlikte Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. V396 Gem'in tayfsal yörünge parametreleri.

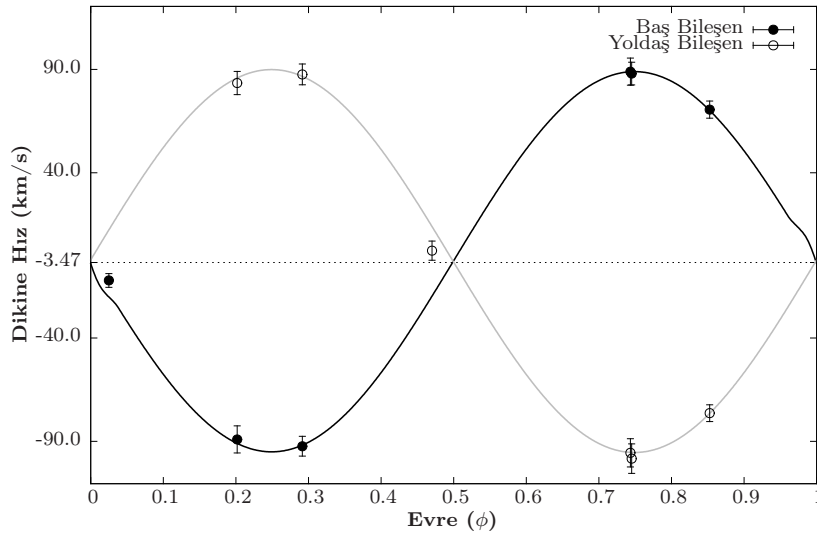
Parametre	Değerler
$P(\text{gün})$	5.4956923 ± 0.0022831
$T_0(\text{HJD}-2459277)$	0.8541 ± 0.0211
$K_1(\text{kms}^{-1})$	91.46 ± 1.71
$K_2(\text{kms}^{-1})$	92.36 ± 1.62
e	0.0 (sabit)
$V_\gamma(\text{kms}^{-1})$	-3.47 ± 1.24
$q(M_2/M_1)$	0.990 ± 0.036
$m_1 \sin^3 i (M_\odot)$	1.78 ± 0.09
$m_2 \sin^3 i (M_\odot)$	1.76 ± 0.09
$a_1 \sin i (R_\odot)$	9.87 ± 0.20
$a_2 \sin i (R_\odot)$	9.97 ± 0.21

V396 Gem'in dikine hız verileri ve *Kepler* fotometrik verileri, WD programı ile ortak çözüm gerçekleştirilmiş, çözüm sonrası elde edilen parametreler Çizelge 4.7'de,

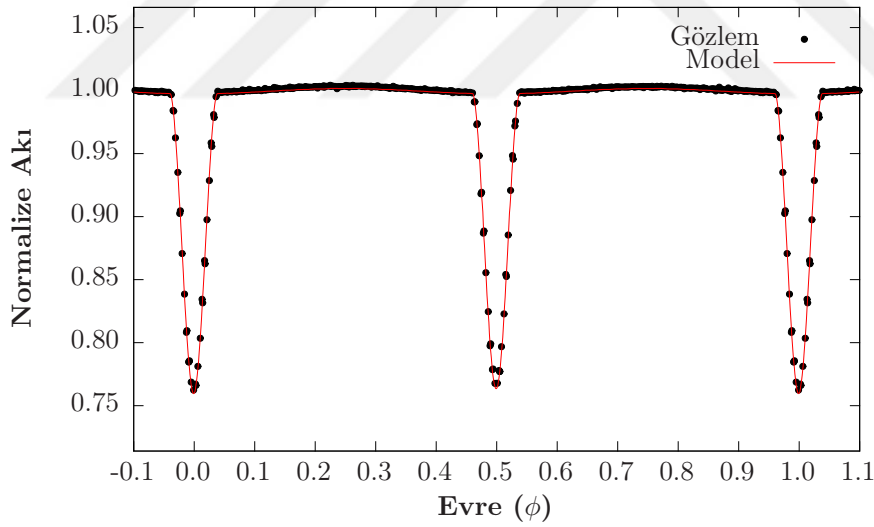
analizler sonucunda belirlenen dikine hız eğrileri ve sistemin ışık eğrisi modeli, sırasıyla, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. V396 Gem'in dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden belirlenen temel parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Yörünge Dönemi	P (gün)	5.4956923 ± 0.0022831
Kütle Oranı	q	0.990 ± 0.036
Bileşenlerin Sıcaklık Oranı	$T_{\text{eff1}}/T_{\text{eff2}}$	1.003 ± 0.005
Bileşenlerin Işınım Gücü Oranı (Kep)	L_1/L_{1+2}	0.50 ± 0.01
Basıklık	e	0
Yörünge'nin Eğimi	i ($^{\circ}$)	83.27 ± 0.02
Baş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_1	8.577 ± 0.091
Yoldaş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_2	8.552 ± 0.118
Baş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_1	0.131 ± 0.002
Yoldaş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_2	0.133 ± 0.002
Baş Bileşenin Kütlesi	$M_1 (M_{\odot})$	1.814 ± 0.114
Yoldaş Bileşenin Kütlesi	$M_2 (M_{\odot})$	1.797 ± 0.114
Baş Bileşenin Yarıçapı	$R_1 (R_{\odot})$	2.655 ± 0.078
Yoldaş Bileşenin Yarıçapı	$R_2 (R_{\odot})$	2.659 ± 0.090
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu	$a (a_{\odot})$	20.098 ± 0.361
Baş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi	$\log g_1$	3.849 ± 0.080
Yoldaş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi	$\log g_2$	3.843 ± 0.085
Ki-kare	χ^2	0.004



Şekil 4.2. V396 Gem'in dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir



Şekil 4.3. V396 Gem'in fotometrik verilerine yapılan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi de ışık eğrisi modelini temsil etmektedir

4.2.2. AN Camelopardalis

AN Camelopardalis'in (Cam) yörünge dönemi ilk defa Isles (1985) tarafından 21 gün olarak elde edilmiştir. Daha sonra Imbert (1987), AN Cam'ın bileşenlerine ait toplam 74 adet dikine hız belirleyip sistemin tayfsal yörüngesini elde etmiştir. Daha sonra

Southworth (2021a) çalışmasında, TESS verilerini kullanarak sistemin kütle, yarıçap ve yüzey çekim ivmesi değerlerini belirlemiştir. Bu tez çalışmasında, dikine hız verileri ve TESS fotometrik verileri WD kodu ile ortak çözüm gerçekleştirilmiştir. AN Cam'ın Imbert (1987) tarafından belirlenen dikine hızları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. AN Cam bileşenlerinin dikine hızları (Imbert 1987)

HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	σ ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)	σ ₂ (kms ⁻¹)
2443504.3936	-7.35	0.08	2443604.3707	-67.70	0.06
2443507.3496	-18.13	0.48	2443612.3237	-57.84	2.55
2443512.3477	-85.50	1.34	2443752.6406	-69.97	1.00
2443513.3755	-113.50	0.39	2443753.6196	-71.80	0.09
2443602.3613	-23.46	1.19	2443754.6099	-71.54	0.18
2443604.3450	-8.57	0.39	2443755.5977	-69.58	1.03
2443611.3218	-13.98	0.36	2443757.5962	-64.84	0.75
2443612.3262	-18.07	0.45	2443758.5205	-61.57	0.32
2443752.6452	-5.54	0.05	2443759.5884	-56.44	0.22
2443753.6143	-4.98	0.29	2443764.6011	18.73	2.31
2443754.5986	-4.51	0.34	2443889.3848	-13.19	0.24
2443755.5913	-5.64	0.30	2443926.3413	-61.91	0.73
2443757.5908	-9.46	1.40	2444116.5781	-56.62	0.48
2443758.5146	-14.20	0.30	2444120.6182	-7.32	0.47
2443759.5840	-19.99	0.80	2444124.6260	11.98	2.72
2443764.6063	-90.43	1.24	2444170.6230	-63.93	0.41
2443889.3936	-63.56	0.74	2444176.6016	-69.33	0.84
2443897.3604	-13.29	0.48	2444289.2891	9.94	1.20
2443926.3350	-13.12	0.64	2444295.3271	-55.11	0.97
2444117.5752	-25.52	1.60	2444298.3096	-68.78	1.76
2444120.6250	-68.82	0.95	2444332.3057	37.29	0.67
2444124.6338	-83.08	1.10	2444333.3057	51.17	0.36
2444170.6328	-11.70	0.35	2444334.3117	19.93	1.43
2444176.6094	-8.28	0.23	2444335.3496	-17.50	0.76
2444289.2959	-83.75	0.41	2444681.3467	-66.95	0.72
2444295.3350	-22.52	0.46	2444855.5068	-10.04	0.92
2444298.3164	-6.73	0.63	2444856.6589	17.52	2.67
2444332.3135	-112.83	0.08	2444858.6387	46.15	2.03
2444333.3193	-123.99	1.23	2444859.5557	8.62	1.48
2444334.3247	-95.36	0.51	2445013.2539	-73.08	1.34

(Devamı arkada)

Çizelge 4.8'in devamı

HJD	RV_1 (kms^{-1})	σ_1 (kms^{-1})	HJD	RV_2 (kms^{-1})	σ_2 (kms^{-1})
2444335.3652	-59.43	0.98	2445067.4561	42.27	0.81
2444681.3516	-11.50	1.23	2445069.3398	18.62	0.38
2444856.6680	-97.91	2.42	2445135.5977	-61.29	3.89
2444858.6504	-117.28	1.18	2445842.4121	-11.25	1.52
2445067.4658	-118.55	0.58			
2445069.3525	-94.06	1.25			
2445135.6035	-16.41	0.52			
2445842.4267	-70.36	4.25			

AN Cam'ın bileşenlerinin dikine hızları SBS programı ile analiz edilerek AN Cam sisteminin tayfsal yörünge parametreleri elde edilmiştir. AN Cam için hesaplanan tayfsal yörünge parametreleri, hataları ile birlikte Çizelge 4.9'da verilmiştir.

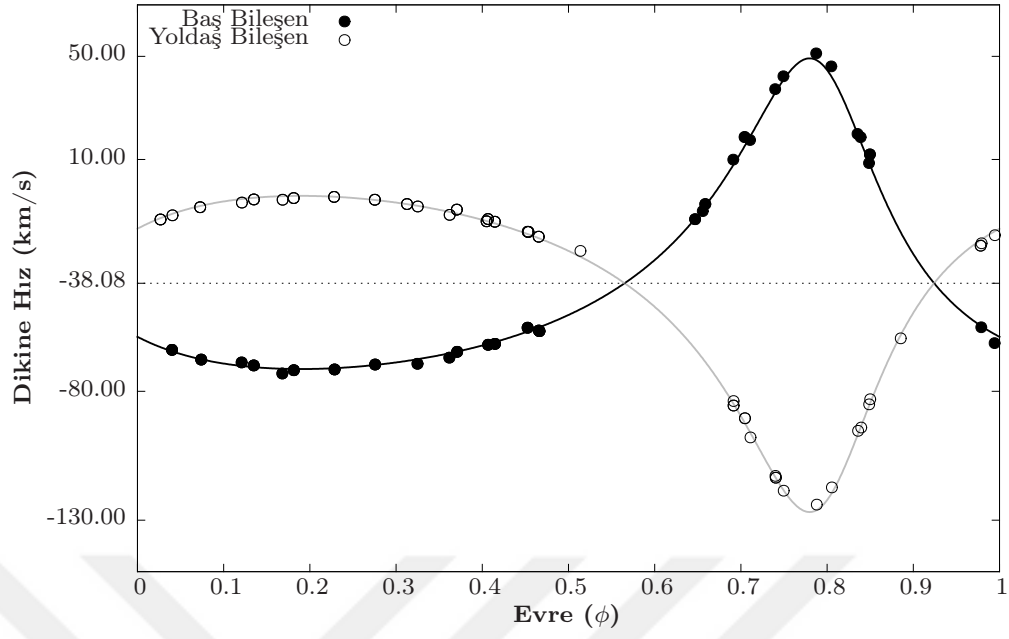
Çizelge 4.9. AN Cam'ın tayfsal yörünge parametreleri

Parametre	Değerler
$P(\text{gün})$	20.99842 ± 0.00021
$T_0(\text{HJD}-2400000)$	0.47181 ± 0.01814
$K_1(\text{kms}^{-1})$	61.01 ± 0.28
$K_2(\text{kms}^{-1})$	62.03 ± 0.31
$w(^{\circ})$	194.804 ± 0.505
e	0.47001 ± 0.00028
$V_{\gamma}(\text{kms}^{-1})$	-37.99 ± 0.14
$q(M_2/M_1)$	0.984 ± 0.011
$m_1 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.405 ± 0.023
$m_2 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.382 ± 0.022
$a_1 \sin i (R_{\odot})$	22.339 ± 0.145
$a_2 \sin i (R_{\odot})$	22.725 ± 0.153

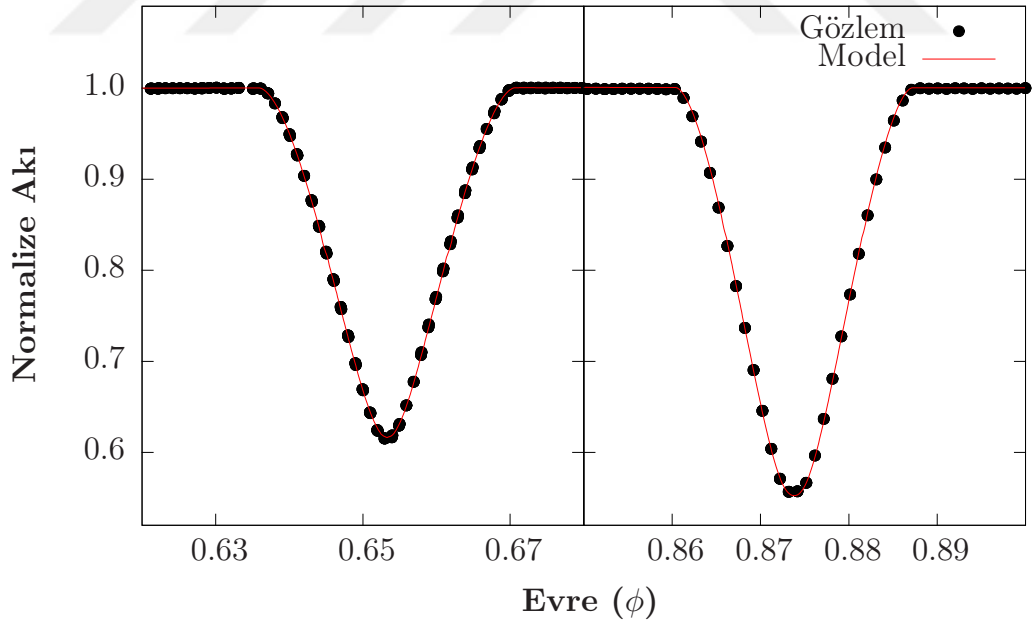
AN Cam'ın dikine hız ve TESS fotometrik verileri, WD kodu ile ortak çözüm gerçekleştirilmiş, çözüm sonrası hesaplanan parametreler Çizelge 4.10'da, analiz sonucu bileşenlere ait elde edilen dikine hız eğrileri ve sistemin ışık eğrisi modeli, sırasıyla, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.10. AN Cam'ın dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden belirlenen temel parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Yörünge Dönemi (gün)	P	20.99842 ± 0.00021
Kütle Oranı	q	0.983 ± 0.011
Bileşenlerin Sıcaklık Oranı	$T_{\text{eff1}}/T_{\text{eff2}}$	0.975 ± 0.003
Bileşenlerin Işınım Gücü Oranı (TESS)	L_1/L_{1+2}	0.511 ± 0.005
Basıklık	e	0.47001 ± 0.00028
Enberinin Boylamı ($^{\circ}$)	w	194.804 ± 0.505
Yörünge'nin Eğimi ($^{\circ}$)	i	88.809 ± 0.006
Baş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_1	19.041 ± 0.009
Yoldaş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_2	22.370 ± 0.007
Baş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_1	0.059 ± 0.001
Yoldaş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_2	0.049 ± 0.001
Baş Bileşenin Kütlesi ($M_{\odot}$)	M_1	1.406 ± 0.024
Yoldaş Bileşenin Kütlesi ($M_{\odot}$)	M_2	1.383 ± 0.023
Baş Bileşenin Yarıçapı ($R_{\odot}$)	R_1	2.667 ± 0.059
Yoldaş Bileşenin Yarıçapı ($R_{\odot}$)	R_2	2.206 ± 0.058
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_{\odot}$)	a	45.065 ± 0.252
Baş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_1$	3.734 ± 0.055
Yoldaş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_2$	3.892 ± 0.059
Ki-kare Değeri	χ^2	0.002



Şekil 4.4. AN Cam'ın dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir



Şekil 4.5. AN Cam'ın fotometrik verilerine yapılan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir

4.2.3. RS Arietis

RS Arietis (Ari)'nin, örten bir çift yıldız olduğu Gaposchkin (1932) tarafından keşfedilmiş ve Cannon (1934) tarafından tayf türü G0 olarak belirlenmiştir. Daha sonra Kreiken (1953) RS Ari'nin bileşenlerinin farklı tayf türlerine sahip olduğunu ifade etmiştir. Brancewicz ve Dworak (1980) sistemin yörünge dönemini 8.80322 gün olarak belirlemiştir. Imbert (2002), RS Ari'nin bileşenlerine ait toplam 62 dikine hız verisi elde etmiştir. RS Ari'ye ait dikine hızları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. RS Ari bileşenlerinin dikine hızları (Imbert 2002)

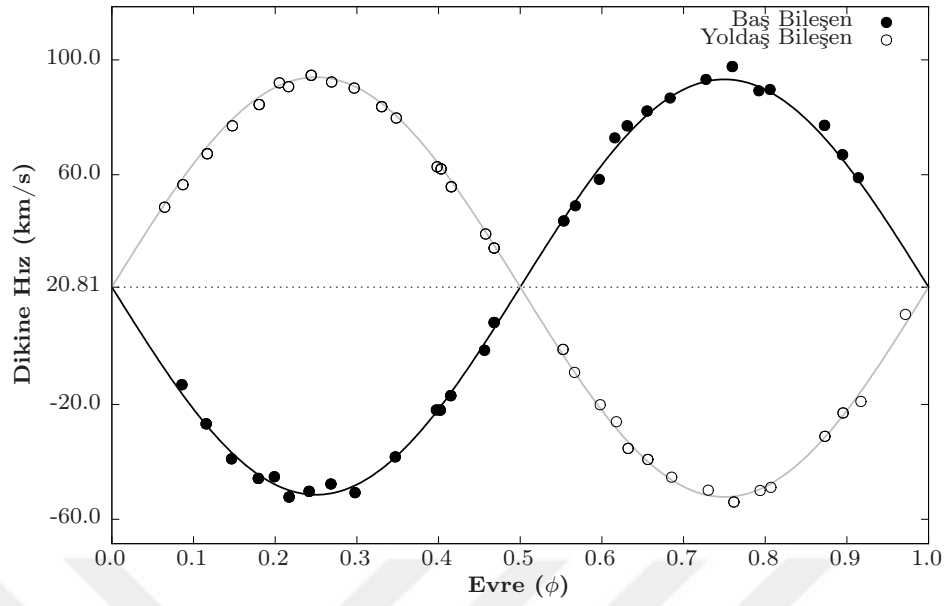
HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)
2443754.5688	90.67	2443754.5737	-52.26
2443755.5723	83.70	2443757.5352	43.87
2443757.5271	-0.87	2443888.3652	-16.95
2443888.3708	55.80	2444168.5405	-50.30
2444168.5630	94.59	2444170.5347	8.55
2444170.5347	34.45	2444568.3271	82.17
2444568.3350	-39.18	2444570.4331	66.93
2444570.4404	-22.98	2444572.3784	-26.77
2444572.3892	67.29	2444854.6426	-45.78
2444854.6514	84.41	2444613.2622	97.65
2444613.2783	-53.99	2444614.2559	77.18
2444614.2603	-31.11	2444856.6040	-22.00
2444856.6128	62.01	2444858.6196	77.04
2444858.6279	-35.31	2445307.2808	58.35
2445307.2900	-20.10	2445012.2758	-13.16
2445011.2725	11.35	2445013.2725	-45.21
2445012.2876	56.52	2445384.3110	-38.26
2445013.3271	91.97	2445385.2725	-1.13
2445384.3223	79.76	2445666.4561	-21.93
2445385.2852	39.33	2445668.3794	72.80
2445666.4648	62.73	2445669.3618	93.16
2445668.3960	-26.01	2445960.5576	89.66
2445669.3867	-49.89	2445963.5571	-38.95
2445960.5674	-48.89	2445964.6279	-47.69
2445963.5659	77.03	2446100.3320	86.71
2445964.6357	92.29	2446101.2886	89.20
2446100.3481	-45.35	2446102.3613	58.96
2446101.3022	-50.00	2446695.5542	-50.73
2446102.3892	-18.96	2447111.6797	49.18
2446695.5444	90.15	2448929.5029	-9.68
2447111.6694	-8.86		
2448929.5146	48.66		

RS Ari'nin bileşenlerinin dikine hızları SBS programı kullanılarak analiz edilmiştir. RS Ari'nin tayfsal yörüngesine ait elde edilen parametreler Çizelge 4.12'de verilmiştir.

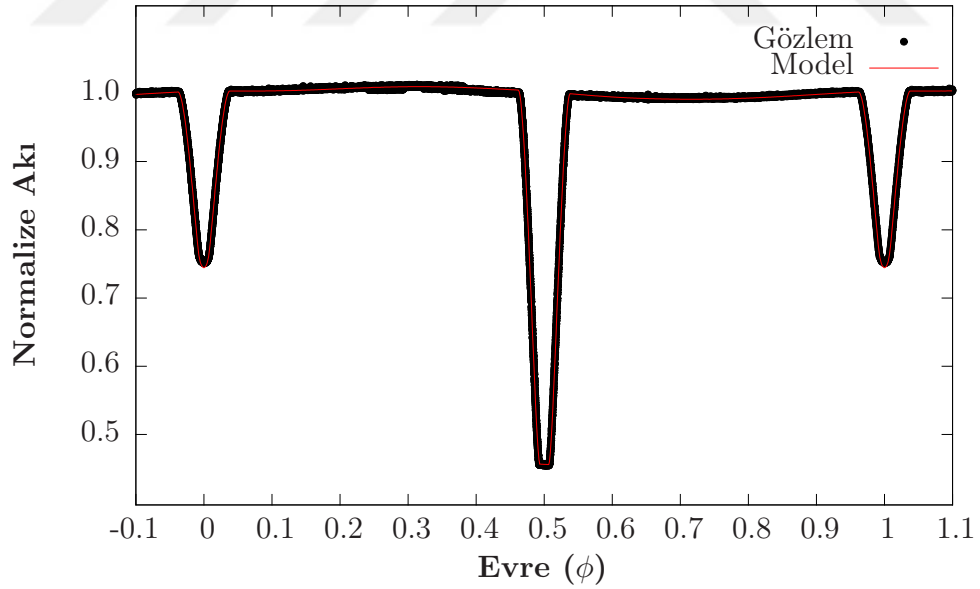
Çizelge 4.12. RS Ari'nin tayfsal yörünge parametreleri

Parametre	Değerler
$P(\text{gün})$	8.803172 ± 0.00015
$T_0(\text{HJD}-2443746)$	0.06515 ± 0.00707
$K_1(\text{kms}^{-1})$	72.2876 ± 0.4567
$K_2(\text{kms}^{-1})$	73.1038 ± 0.4685
e	0
$V_\gamma(\text{kms}^{-1})$	20.8131 ± 0.2445
$q(M_2/M_1)$	0.989 ± 0.012
$m_1 \sin^3 i (M_\odot)$	1.4095 ± 0.0091
$m_2 \sin^3 i (M_\odot)$	1.3937 ± 0.0088
$a_1 \sin i (R_\odot)$	12.5059 ± 0.0791
$a_2 \sin i (R_\odot)$	12.6446 ± 0.0811

RS Ari'nin dikine hız ve TESS fotometrik verileri, WD kodu ile ortak çözüm gerçekleştirilmiştir. RS Ari'nin fotometrik analizi her iki bileşeninde de leke olduğunu göstermektedir. Çözüm sonucu RS Ari sistemi için hesaplanan parametreler Çizelge 4.13'te, analiz sonucu elde edilen bileşenlere ait dikine hız eğrileri ve sistemin ışık eğrisi modeli, sırasıyla, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'te gösterilmiştir.



Şekil 4.6. RS Ari sisteminin dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir



Şekil 4.7. RS Ari sisteminin fotometrik verilerine uygulanan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir

Çizelge 4.13. RS Ari sisteminin dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden elde edilen temel parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Yörünge Dönemi (gün)	P	8.803172 ± 0.000015
Kütle Oranı	q	0.989 ± 0.012
Bileşenlerin Sıcaklık Oranı	$T_{\text{eff1}}/T_{\text{eff2}}$	0.833 ± 0.009
Bileşenlerin Işınım Gücü Oranı (TESS)	L_1/L_{1+2}	0.461 ± 0.002
Basıklık	e	0
Yörünge Eğimi ($^\circ$)	i	88.725 ± 0.031
Baş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_1	8.125 ± 0.006
Yoldaş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_2	11.246 ± 0.015
Baş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_1	0.139 ± 0.001
Yoldaş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_2	0.095 ± 0.001
Baş Bileşenin Kütle ($M_\odot$)	M_1	1.413 ± 0.029
Yoldaş Bileşenin Kütle ($M_\odot$)	M_2	1.398 ± 0.028
Baş Bileşenin Yarıçapı ($R_\odot$)	R_1	3.531 ± 0.048
Yoldaş Bileşenin Yarıçapı ($R_\odot$)	R_2	2.403 ± 0.041
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_\odot$)	a	25.312 ± 0.160
Baş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_1$	3.492 ± 0.040
Yoldaş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_2$	3.822 ± 0.044
Baş Bileşendeki Lekenin Eş-enlemi ($^\circ$)	θ	88 ± 1
Baş Bileşendeki Lekenin Boylamı ($^\circ$)	ψ	260 ± 1
Baş Bileşendeki Lekenin Açısal Çapı ($^\circ$)	Γ	19 ± 1
Baş Bileşendeki Lekenin Sıcaklık Oranı	T_*	1.02 ± 0.05
Yoldaş Bileşendeki Lekenin Eş-enlemi ($^\circ$)	θ	90 ± 1
Yoldaş Bileşendeki Lekenin Boylamı ($^\circ$)	ψ	270 ± 1
Yoldaş Bileşendeki Lekenin Açısal Çapı ($^\circ$)	Γ	10 ± 1
Yoldaş Bileşendeki Lekenin Sıcaklık Oranı	T_*	0.74 ± 0.02
Ki-kare Değeri	χ^2	0.005

4.2.4. V455 Aurigea

V455 Aurigea (Aur), ilk olarak Kazarovets vd. (1999) kataloğunda yer aldı. Daha sonra Griffin (2001) V455 Aur sistemine ait dikine hızları elde etti. Sistemin kütle merkezinin hızının değiştiğini belirtti. Daha sonra yeni elde ettiği dikine hızlarla (Griffin 2013) sistemde üçüncü bir cisim olduğunu ve kütlelerinin yaklaşık $0.5 M_\odot$ civarında olduğunu hesapladı. Yakın zamanda Southworth (2021b), TESS verisiyle beraber dikine hızları analiz ederek sistemdeki üç cismin kütle, yarıçap ve yüzey çekim ivmesi parametrelerini tayin etti. Çizelge 4.14'te V455 Aur'un baş bileşen ve yoldaş bileşen için elde edilen dikine hızları verilmiştir.

Çizelge 4.14. V455 Aur'un baş ve yoldaş bileşenlerinin dikine hızları (Griffin 2001; 2013)

HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)
2451595.997	-2.8	2451595.997	2.9	2451918.968	84.4	2451917.990	75.8
2451599.989	-95.2	2451599.989	99.4	2451920.126	-24.5	2451918.968	-88.0
2451602.888	-91.3	2451602.888	95.3	2451922.964	34.2	2451920.126	25.6
2451604.883	84.4	2451602.960	99.0	2451924.997	51.0	2451922.964	-35.7
2451606.923	-12.4	2451604.883	-88.1	2451925.116	68.4	2451924.997	-53.2
2451607.943	90.9	2451606.923	12.9	2451925.938	62.4	2451925.116	-71.5
2451812.179	94.4	2451607.943	-94.8	2451940.949	80.6	2451925.938	-65.7
2451814.197	-70.4	2451812.179	-98.5	2451952.929	-18.1	2451940.949	-84.1
2451823.199	-95.9	2451814.197	73.5	2451954.977	-66.3	2451952.929	19.0
2451826.171	-86.1	2451823.199	100.1	2451957.011	95.2	2451954.977	69.4
2451834.193	94.2	2451826.171	89.9	2451962.027	-73.1	2451957.011	-99.7
2451851.051	-48.3	2451834.193	-98.3	2452027.867	-93.1	2451962.027	76.8
2451852.174	-34.4	2451851.051	50.4	2452033.861	-91.3	2452027.867	97.8
2451861.212	-88.5	2451852.174	35.9	2452036.857	-77.9	2452033.861	95.8
2451863.139	44.0	2451861.212	92.4	2452142.148	64.8	2452036.854	81.5
2451865.124	33.5	2451863.139	-45.9	2452214.117	-1.0	2452142.148	-67.8
2451868.238	27.8	2451865.124	-35.0	2452227.068	62.7	2452214.117	1.1
2451878.180	91.9	2451868.238	-29.1	2452240.092	95.6	2452227.068	-65.6
2451880.209	-76.5	2451878.180	-95.9	2452265.140	93.3	2452240.092	-100.0
2451881.105	72.2	2451880.209	79.8	2452275.006	77.4	2452265.140	-97.6
2451887.170	38.1	2451881.105	-75.4	2452319.936	-73.2	2452275.006	-80.9
2451892.174	-80.5	2451887.170	-39.7	2452359.899	81.8	2452319.936	76.6
2451900.086	83.7	2451892.174	84.0	2452565.200	-57.9	2452359.899	-85.6
2451906.025	34.5	2451900.086	-87.3	2452613.070	-87.2	2452565.200	60.6
2451906.992	72.2	2451906.025	-36.0	2452644.116	-90.0	2452613.070	91.2
2451907.907	-80.8	2451906.992	-75.3	2452688.017	-76.4	2452644.116	94.2
2451917.990	-72.7	2451907.907	84.3	2452713.942	-62.9	2452688.017	79.9
2452725.882	-88.2	2452713.942	65.9	2454086.069	38.6	2454041.206	94.9
2452736.887	85.9	2452725.882	92.3	2454133.952	93.4	2454086.069	-40.3
2452930.197	-70.6	2452736.887	-89.8	2454194.913	-84.1	2454133.952	-97.7
2452947.162	13.8	2452930.197	73.9	2454420.173	94.8	2454194.913	88.0
2452981.073	-91.2	2452947.162	-14.5	2454493.015	42.7	2454420.173	-99.2
2452989.134	72.9	2452981.073	95.4	2454556.910	-96.8	2454493.015	-44.6
2453002.157	-2.1	2452989.134	76.3	2454592.899	86.3	2454556.910	101.3
2453021.119	-19.1	2453002.157	2.2	2454758.193	-95.8	2454592.899	-90.3
2453034.070	-78.5	2453021.119	20.0	2454827.055	-64.5	2454758.193	100.4
2453060.915	86.9	2453034.070	82.2	2454913.967	95.5	2454827.055	67.5
2453108.896	39.0	2453060.915	-91.0	2454959.879	-81.4	2454959.879	85.2
2453269.203	59.9	2453108.896	-40.8	2455129.223	-85.5	2455129.223	89.5
2453305.182	-83.4	2453269.203	-62.7	2455186.057	-96.7	2455186.057	101.2

(Devamı arkada)

Çizelge 4.14'ün devamı

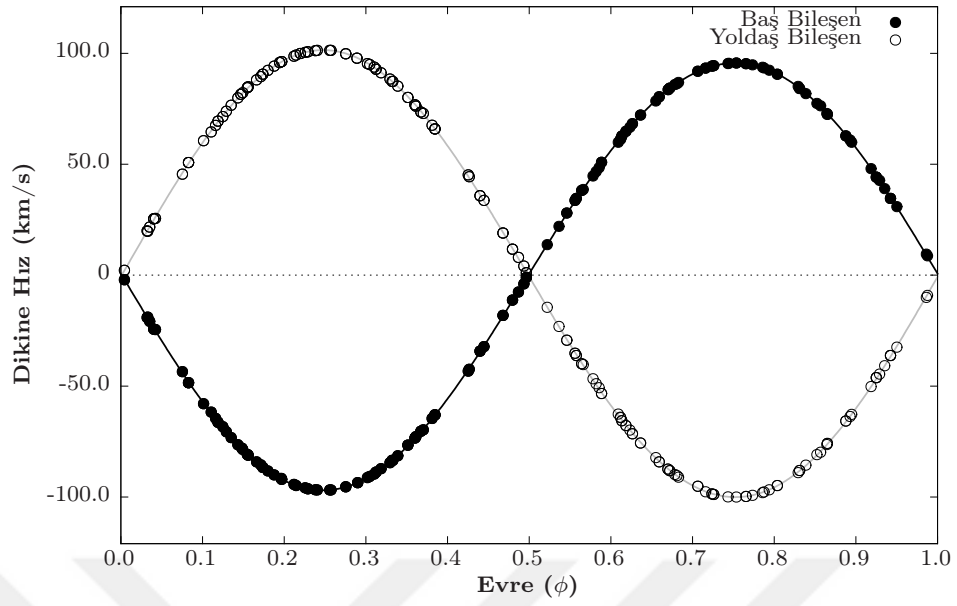
HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₁ (kms ⁻¹)	HJD	RV ₂ (kms ⁻¹)
2453365.106	-64.6	2453305.182	87.3	2455226.046	30.9	2455226.046	-32.4
2453401.008	92.4	2453365.106	67.6	2455277.934	-32.2	2455277.934	33.7
2453413.983	48.0	2453401.008	-96.7	2455302.866	-69.7	2455302.866	72.9
2453453.949	66.7	2453413.983	-50.2	2455489.227	61.4	2455489.227	-64.2
2453679.159	-94.8	2453453.949	-69.8	2455528.158	8.7	2455528.158	-9.1
2453732.073	-20.8	2453679.159	99.2	2455539.186	-3.9	2455539.186	4.1
2453783.982	22.0	2453732.073	21.7	2455549.132	78.5	2455549.132	-82.2
2453866.893	60.9	2453783.982	-23.1	2455571.016	61.2	2455571.016	-64.0
2454013.146	-63.0	2453866.893	-63.7	2455600.099	76.3	2455600.099	-79.8
2454041.206	-90.7	2454013.146	65.9	2455628.818	9.5	2455628.818	-10.0

V455 Aur'un bileşenlerinin dikine hızları SBS programı kullanılarak analiz edilmiştir. V455 Aur sisteminin tayfsal yörüngesine ait elde edilen parametreler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

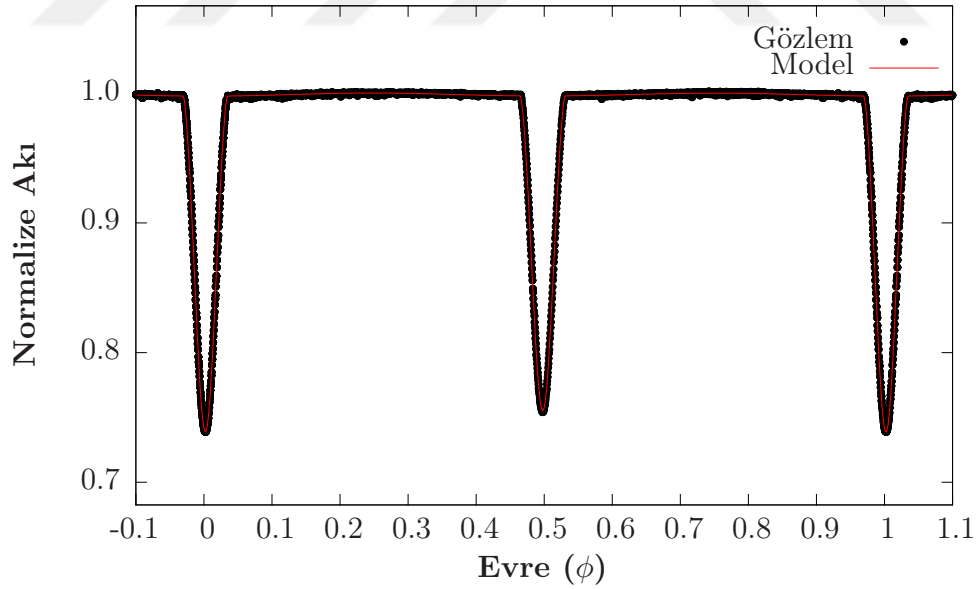
Çizelge 4.15. V455 Aur sisteminin tayfsal yörünge parametreleri

Parametre	Değerler
$P(\text{gün})$	3.145799 ± 0.000015
$T_0(\text{HJD}-2451593)$	0.20988 ± 0.01730
$K_1(\text{kms}^{-1})$	96.2066 ± 0.0556
$K_2(\text{kms}^{-1})$	100.6080 ± 0.0584
e	0.00930 ± 0.00029
$w(^{\circ})$	132.504 ± 1.898
$V_{\gamma}(\text{kms}^{-1})$	0 (fixed)
$q(M_2/M_1)$	0.956 ± 0.002
$m_1 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.2707 ± 0.0015
$m_2 \sin^3 i (M_{\odot})$	1.2150 ± 0.0012
$a_1 \sin i (R_{\odot})$	5.9459 ± 0.0031
$a_2 \sin i (R_{\odot})$	6.2180 ± 0.0047

V455 Aur sisteminin dikine hız ve TESS fotometrik verileri, WD kodu kullanılarak ortak çözüm yapılmıştır. Sistemdeki üçüncü bileşen ışık katkısı, tutulum derinliklerini etkileyeceğinden üçüncü cismin ışık katkısı analizde serbest bırakılmıştır. Üçüncü cismin ışık katkısı Southworth (2021b)'nin hesapladığı 0.0028 değerine oldukça yakın 0.032 ± 0.004 olarak hesaplanmıştır. Analiz sonucu V455 Aur sistemine ait elde edilen parametreler Çizelge 4.16'da, hesaplanan teorik dikine hız eğrileri ve sistemin ışık eğrisi modeli, sırasıyla, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. V455 Aur sisteminin dikine hız eğrileri. İçi dolu noktalar, baş bileşenin dikine hızlarını; içi boş noktalar, yoldaş bileşenin dikine hızlarını; siyah sürekli çizgi, baş bileşenin dikine hız eğrisini; gri sürekli çizgi de yoldaş bileşenin dikine hız eğrisini göstermektedir



Şekil 4.9. V455 Aur sisteminin fotometrik verilerine uygulanan ışık eğrisi modeli. Siyah noktalar, fotometrik verileri; kırmızı sürekli çizgi ışık eğrisi modelini temsil etmektedir

Çizelge 4.16. V455 Aur sisteminin dikine hız ve fotometrik verilerinin ortak çözümünden elde edilen temel parametreleri

Parametre	Sembol	Değer
Yörünge Dönemi (gün)	P	3.145799 ± 0.000015
Kütle Oranı	q	0.956 ± 0.002
Bileşenlerin Sıcaklık Oranı	$T_{\text{eff1}}/T_{\text{eff2}}$	1.012 ± 0.001
Baş Bileşenin Işınım Gücü Oranı	L_1/L_{1+2+3} (TESS)	0.508 ± 0.001
Üçüncü Bileşenin Işınım Gücü Oranı	L_3/L_{1+2+3} (TESS)	0.032 ± 0.004
Basıklık	e	0.00930 ± 0.00029
Enberinin Boylamı ($^\circ$)	w	132.504 ± 1.898
Yörünge Eğimi ($^\circ$)	i	84.971 ± 0.001
Baş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_1	9.711 ± 0.001
Yoldaş Bileşenin Boyutsuz Yüzey Potansiyeli	Ω_2	9.839 ± 0.001
Baş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_1	0.115 ± 0.001
Yoldaş Bileşenin Görelî Yarıçapı	r_2	0.0109 ± 0.001
Baş Bileşenin Kütlesi ($M_\odot$)	M_1	1.287 ± 0.003
Yoldaş Bileşenin Kütlesi ($M_\odot$)	M_2	1.231 ± 0.003
Baş Bileşenin Yarıçapı ($R_\odot$)	R_1	1.409 ± 0.013
Yoldaş Bileşenin Yarıçapı ($R_\odot$)	R_2	1.339 ± 0.013
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_\odot$)	a	12.286 ± 0.007
Baş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_1$	4.250 ± 0.009
Yoldaş Bileşenin Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g_2$	4.275 ± 0.010
Ki-kare Değeri	χ^2	0.001

4.3. Atmosferik Parametrelerin Hesabı

Gelişen gözlem teknikleri ve fotometrik kalibrasyonlar (renk-sıcaklık, renk-metal bolluğu, vb.) sayesinde gök cisimlerinin sıcaklık ve metal bolluğu parametreleri oldukça iyi belirlenebilmektedir. Bu gelişmelere rağmen; gök cisimlerine ait tayf verilerinin analizi; nesnelerin sıcaklık ve metal bolluklarını belirlemek açısından en doğru ve en hassas yöntemdir. Bir gök cisminin metal bolluğu, evrimini doğrudan etkilediği için gök cisimlerinin evrimini anlayabilmenin yolu, metal bolluğunun iyi bir şekilde hesaplanmasından geçer. Bu tez çalışmasında tayfsal analizi yapılacak olan sistemlerin atmosfer modelleri *ATLAS9* kodu ile yapılmış, sentetik tayfları da *SPECTRUM* kodu ile oluşturulmuştur. Atmosfer modellerinin oluşturulması aşamasında kullanılacak olan yüzey çekim ivmesi değerleri dikine hız ve ışık eğrisi analizlerinden çok duyarlı bir şekilde tespit edildiği için analiz edilecek sistem için oluşturulan modellerde bu değerler sabit tutulmuş; sıcaklık ve yıldızın dönme hızları ($v \sin i$) veri ağları (gridler) oluşturularak belirlenmiştir. Sistemlerin sentetik tayfları oluşturulurken, her sistemin baş

ve yoldaş bileşeni için ayrı ayrı atmosfer modelleri oluşturulmuş, bu atmosfer modelleri kullanılarak her bileşen için sentetik tayflar üretilmiştir. Atmosferik parametreleri belirlenecek ikiz çift sistemlerinin tayflarını her bir bileşene ayırmak için yeterli tayf alınmamıştır. Bundan dolayı analizi yapılacak ikiz çift sistemdeki her bir bileşenin sentetik tayfı, gözlem tayfının alındığı zamandaki sistemin evresine göre, o evredeki bileşenlerin ışık katkıları göze alınarak birleştirilerek sistemin iki bileşenini de içeren sentetik bileşim (composite) tayfları oluşturulmuştur. Daha sonra bu oluşturulan sentetik tayflar gözlemsel tayflara fit yapılarak ikiz çift sistemlerin atmosferik parametreleri tayin edilmiştir.

Sistemlerin sıcaklıkları, H_β bölgesindeki uyuma göre seçilmiştir. Bu seçimin iki önemli sebebi vardır; birincisi, H_β çizgisi sıcaklığa en duyarlı çizgilerden birisidir; ikincisi de H_β bölgesinin etrafında metalik çizgiler bulunduğundan metal bolluğu ile daha uyumlu bir sıcaklık belirleme imkanı vermesidir. Sistemlerdeki yoldaş bileşenlerin sıcaklıkları, ışık eğrisi analizi ile bileşenlerin sıcaklık oranı hesabına göre baş bileşenin sıcaklığına orantılı olarak hesaplanmıştır. Analizi yapılacak sistemlerin sıcaklıkları belirlendikten sonra, metal bolluğu analizine geçilmiştir. Metal bolluğu analizi yapılacak ikiz çift sistemlerin gözlem tayfındaki en yüksek sinyal/gürültü oranına (S/N) sahip, metal çizgileri içeren eşel basamaklar belirlenmiştir. Daha sonra farklı metal bolluğuna sahip, sıcaklıkları daha önceki analiz ile belirlenmiş atmosfer modelleri kullanılarak sentetik tayflar oluşturulmuştur. Sonraki aşamada her sistem için ayrı olarak oluşturulan sentetik tayflar kullanılarak belirlenmiş eşel basamaklar için en küçük χ^2 'yi veren metal bolluklarının ağırlık ortalaması alınmış ve sistemlerin metal bollukları tayin edilmiştir. Ağırlıklı ortalama hesabında her eşel basamak için belirlenen metal bolluğunun ağırlığı, o eşel basamak için hesaplanan $1/\chi^2$ değeri kullanılmıştır. Metal bolluğu belirlemek için yapılan ortalama hesabı Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n X_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (4.2)$$

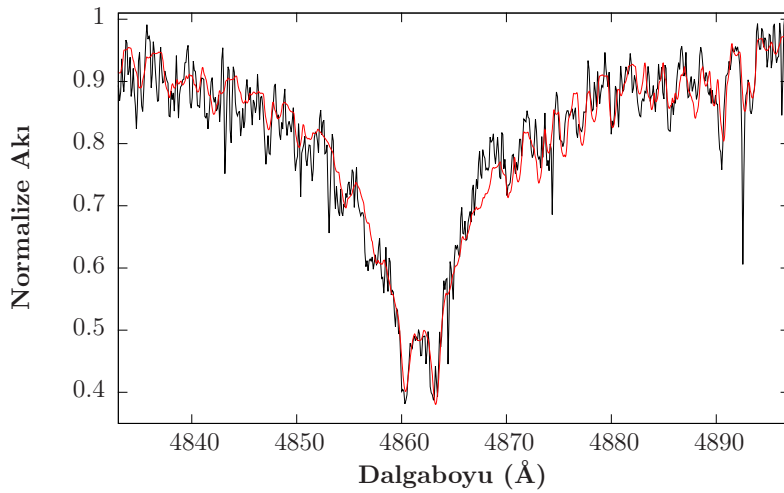
Denklem 4.2'de $\bar{X}_w$, sistemin ağırlıklı ortalama ile belirlenmiş metal bolluğunu; n, eşel basamak sayısını; X, eşel basamak için belirlenen metal bolluğunu ve w de ağırlığı temsil etmektedir. Metal bolluğu hesabındaki hata, Denklem 4.3 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i (X_i - \bar{X}_w)^2}{(n-1) \frac{\sum_{i=1}^n w_i}{n}}} \quad (4.3)$$

Denklem 4.3'te σ_w , sistem için metal bolluğundaki hatayı vermektedir.

4.3.1. EPIC 202072991 (V396 Gemini)

EPIC 202072991'in (V396 Gem) sıcaklık ve metal bolluğu, UBT60 teleskobu ile alınan tayflardan elde edilmiştir. Bileşenlerin sıcaklığını belirlemek amacıyla alınan tayflarda, H_β bölgesine modeller yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bileşenlerin sıcaklık oranı ışık eğrisi çözümünden 1.003 ± 0.005 olarak elde edildiği için baş bileşen ve yoldaş bileşen için aynı sıcaklıktaki modeller üretilmiştir. Sıcaklık için yapılan fitlerde en iyi 7000 K sıcaklık değeri ile yapılan modellerin uyum sağladığı görülmüştür. Şekil 4.10'da V396 Gem'in 12/03/2021 tarihinde, 0.29 evrede alınan tayfının H_β bölgesine yapılan 7000 K sıcaklıklı, $[M/H]=+0.1$ metal bolluğuna sahip atmosfer modeli için yapılan fit gösterilmiştir.

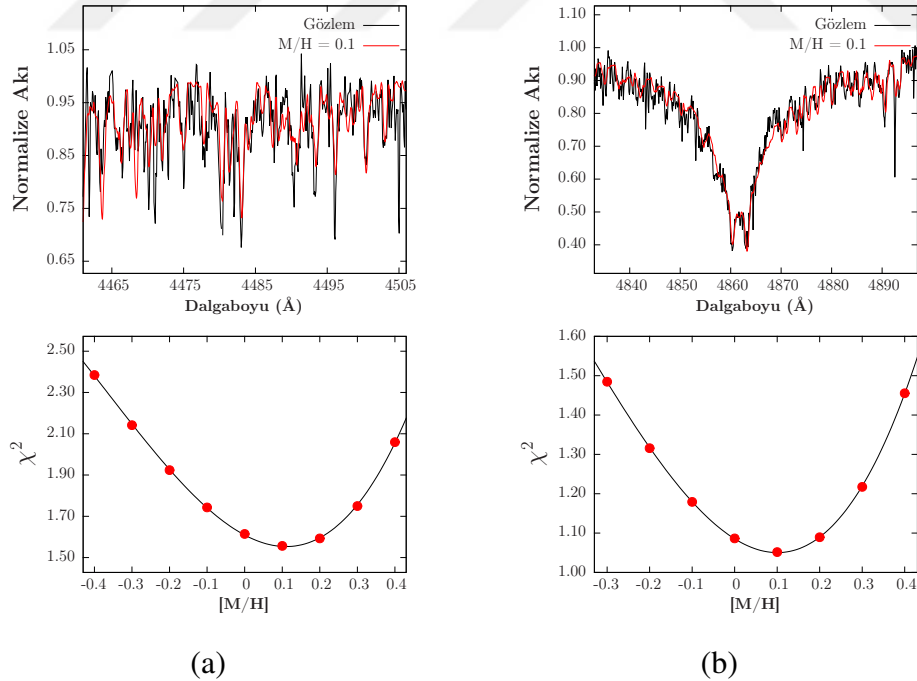


Şekil 4.10. V396 Gem tayfının 0.29 evrede H_β bölgesinin 7000 K sıcaklıklı, $[M/H]=+0.1$ metal bolluğuna sahip atmosfer modelinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfı ifade etmektedir

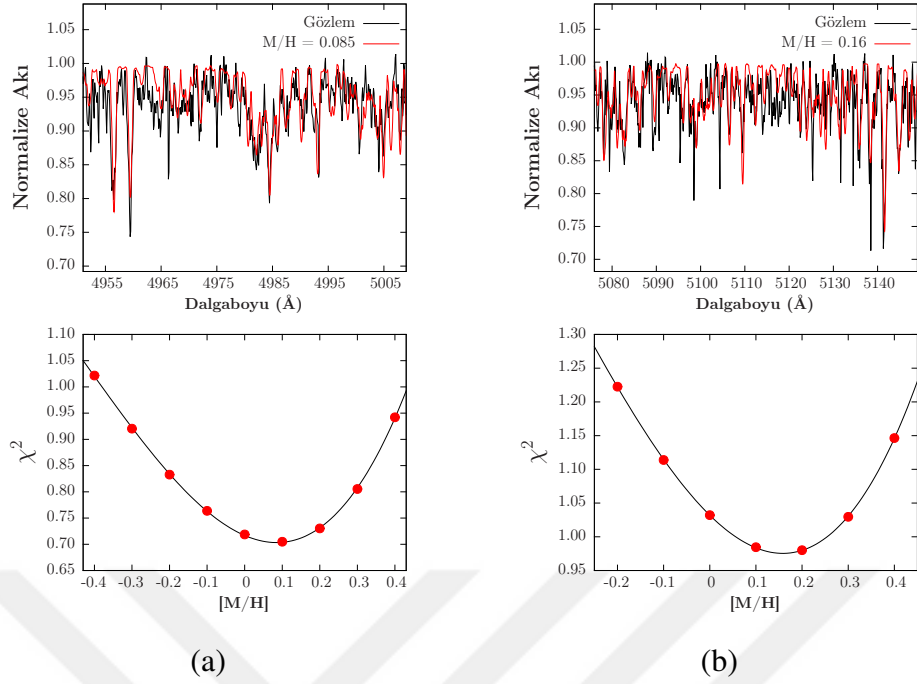
V396 Gem'in etkin sıcaklığı belirlendikten sonra farklı metal bolluğundaki atmosfer modelleri ve bu atmosfer modelleri üzerinden sentetik tayflar üretilmiştir. Analiz için en yüksek S/N'ye sahip ve çok sayıda metal çizgisi içeren toplam dört ayrı eşel basamak seçilmiş ve her bir eşel basamak için en iyi metal bolluğu, V396 Gem'in tayfına sentetik tayfların fit yapılması yöntemiyle elde edilmiştir. Denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak V396 Gem'in metal bolluğu $[M/H]=+0.11\pm0.03$ dex olarak belirlenmiştir. Her bir seçilen eşel basamağın özellikleri ve hesaplanan değeri Çizelge 4.17'de, V396 Gem'in tayfı ile üretilen en uygun sentetik tayfin uyumu, sırasıyla, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. V396 Gem'in metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri

Eşel Basamak Numarası	Dalgaboyu Aralığı (Å)	Metal Bolluğu (dex)	χ^2
5	4460–4510	0.110	1.553
9	4800–4940	0.100	1.050
10	4950–5010	0.085	0.706
11	5075–5150	0.158	0.975



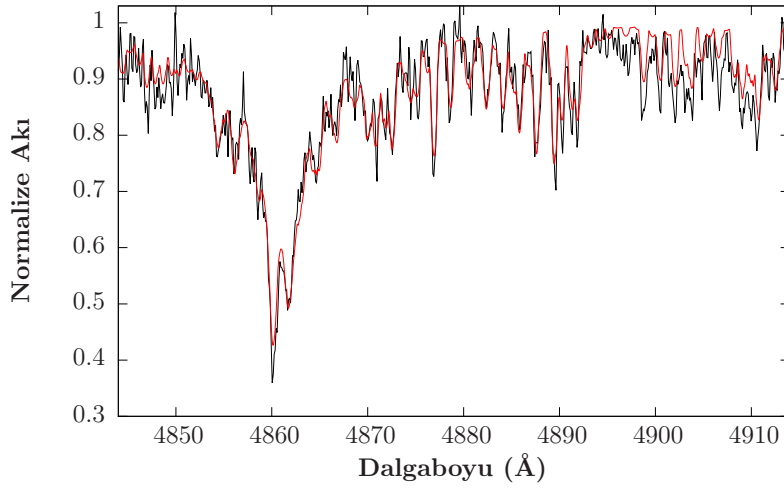
Şekil 4.11. V396 Gem'in (a) 5. eşel basamağa ve (b) 9. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu



Şekil 4.12. V396 Gem'in (a) 10. eşel basamağa ve (b) 11. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu

4.3.2. AN Camelopardalis

AN Cam, UBT60 teleskobu ile 29/03/2021 tarihinde, sistem 0.129 evresindeyken, 6x1200 s'lik poz süresi ile gözlenmiş ve tayfları elde edilmiştir. Sistemin etkin sıcaklığını belirlemek, H_β bölgesine modeller yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bileşenlerin sıcaklık oranı ışık eğrisi çözümünden 0.975 ± 0.003 olarak elde edildiği için baş bileşen ve yoldaş bileşen için üretilen atmosfer modellerindeki sıcaklık değerleri için bu oran korunmuştur. Sıcaklık için yapılan fitlerde baş bileşen için 5900 K, yoldaş bileşen için ise 6050 K sıcaklıkta üretilen atmosfer modellerinin uyum sağladığı görülmüştür. Şekil 4.13'te AN Cam'ın 29/03/2021 tarihinde, 0.129 evrede alınan tayfının H_β bölgesine yapılan model için yapılan fit verilmiştir.

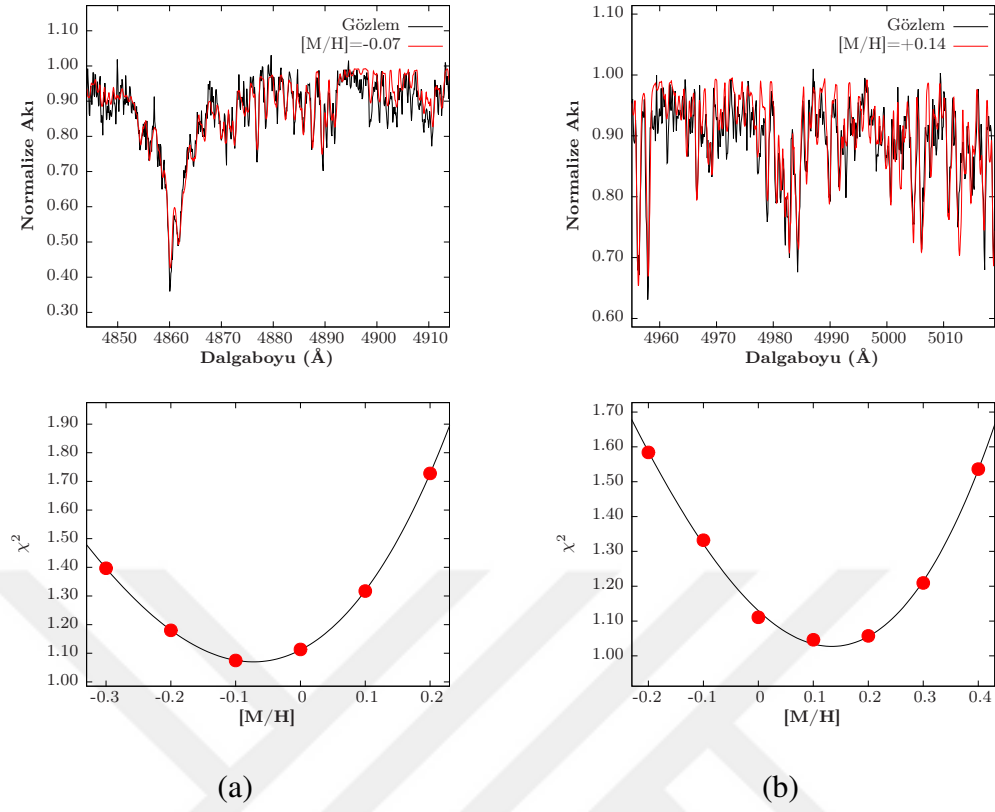


Şekil 4.13. AN Cam tayfının 0.129 evrede H_{β} bölgesinin 5900 K ve 6050 K sıcaklıklı, $[M/H] = -0.07$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfı ifade etmektedir

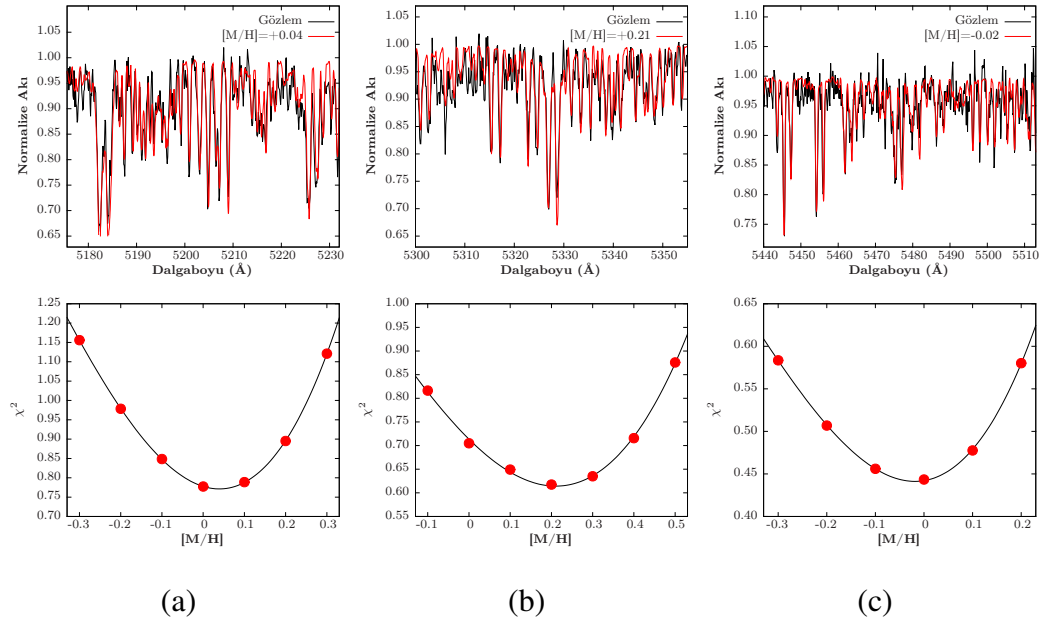
AN Cam sisteminin etkin sıcaklığı belirlendikten sonra farklı metal bolluğundaki atmosfer modelleri ve bu atmosfer modelleri üzerinden sentetik tayflar üretilmiştir. Analiz için en yüksek S/N'ye sahip ve çok sayıda metal çizgisi içeren toplam beş ayrı eşel basamak seçilmiş ve her bir eşel basamak için en iyi metal bolluğu, AN Cam'ın tayfına sentetik tayfların fit yapılması yöntemiyle elde edilmiştir. Denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak AN Cam'ın metal bolluğu $[M/H] = -0.00 \pm 0.12$ dex olarak belirlenmiştir. Her bir seçilen eşel basamağın özellikleri ve hesaplanan değeri Çizelge 4.18'de, AN Cam'ın tayfı ile üretilen en uygun sentetik tayfın uyumu, sırasıyla, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.18. AN Cam'ın metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri

Eşel Basamak Numarası	Dalgaboyu Aralığı (Å)	Metal Bolluğu (dex)	χ^2
9	4840–4920	-0.072	1.070
10	4950–5020	0.137	1.023
12	5175–5235	0.039	0.771
13	5300–5355	0.210	0.614
14	5440–5515	-0.016	0.440



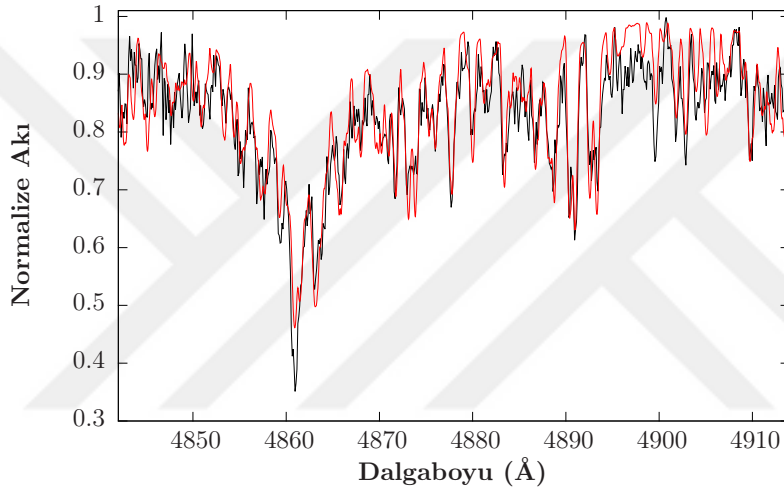
Şekil 4.14. AN Cam'ın (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu



Şekil 4.15. AN Cam'ın (a) 12. eşel basamağa; (b) 13. eşel basamağa ve (c) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu

4.3.3. RS Arietis

RS Ari'nin, 05/03/2021 tarihinde UBT60 teleskobu ile gözlenmiş, sistem 0.733 evresindeyken 6×1200 s'lik poz süresi ile tayfı elde edilmiştir. Sistemin H_β bölgesine modeller yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Bileşenlerin sıcaklık oranı ışık eğrisi çözümünden 0.833 ± 0.009 olarak elde edildiğinden baş bileşen ve yoldaş bileşen için üretilen atmosfer modellerindeki sıcaklık değerlerinde bu oran korunmuştur. Sıcaklık için yapılan fitlerde baş bileşen için 5000 K, yoldaş bileşen için ise 6000 K sıcaklıkta üretilen atmosfer modellerinin uyum sağladığı belirlenmiştir. Şekil 4.16'te RS Ari'nin 05/03/2021 tarihinde, 0.733 evrede alınan tayfının H_β bölgesine yapılan model için yapılan fit verilmiştir.

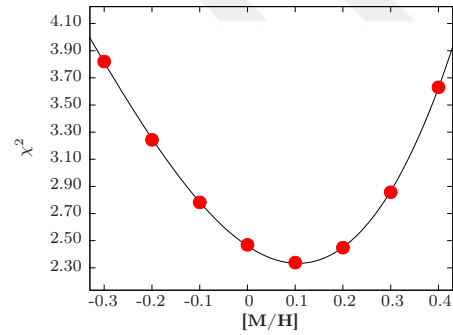
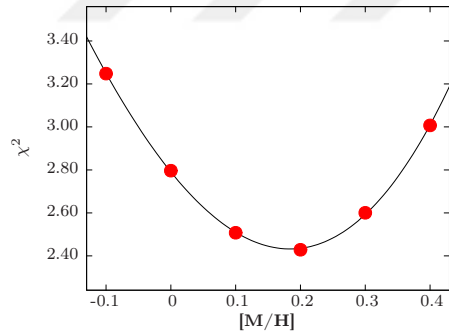
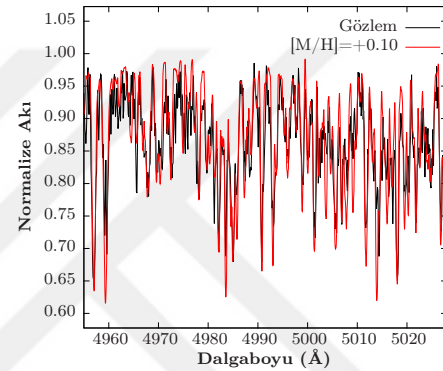
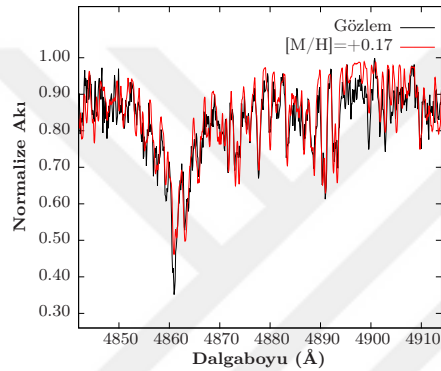


Şekil 4.16. RS Ari tayfının 0.733 evrede H_β bölgesinin 5000 K ve 6000 K sıcaklıklı, $[M/H]=+0.17$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfı ifade etmektedir

RS Ari'nin sıcaklığı belirlendikten sonra farklı metal bolluğuna sahip atmosfer modelleri ve bu atmosfer modelleri üzerinden sentetik tayflar üretilmiştir. Analiz için en yüksek S/N'ye sahip ve çok sayıda metal çizgisi içeren toplam beş ayrı eşel basamak seçilmiş ve her bir eşel basamak için en iyi metal bolluğu, RS Ari sisteminin tayfına sentetik tayfların fit yapılması yöntemiyle elde edilmiştir. Denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak RS Ari'nin metal bolluğu $[M/H]=+0.05 \pm 0.08$ dex olarak belirlenmiştir. Her bir seçilen eşel basamağın özellikleri ve hesaplanan değeri Çizelge 4.19'de, RS Ari'nin tayfı ile üretilen en uygun sentetik tayfın uyumu, sırasıyla, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. RS Ari'nin metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri

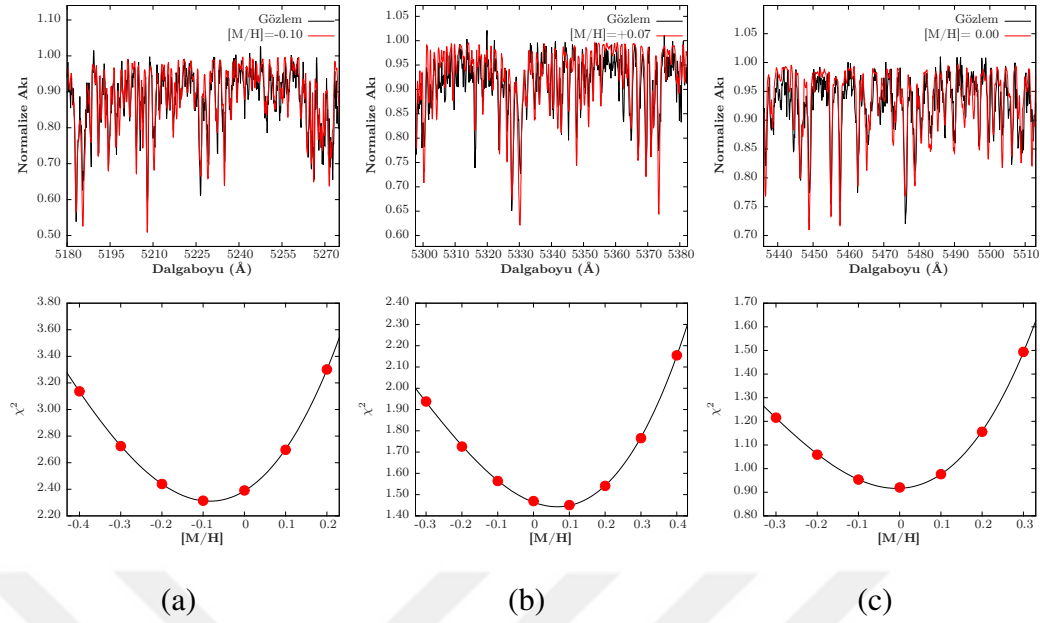
Eşel Basamak Numarası	Dalgaboyu Aralığı (Å)	Metal Bolluğu (dex)	χ^2
9	4845–4915	0.166	2.404
10	4955–5025	0.106	2.333
12	5180–5275	-0.084	2.311
13	5295–5385	0.067	1.442
14	5435–5515	-0.007	0.916



(a)

(b)

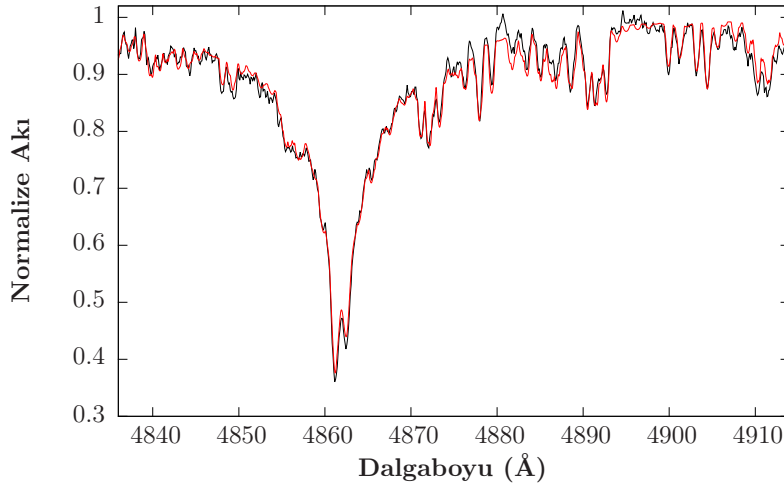
Şekil 4.17. RS Ari'nin (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu



Şekil 4.18. RS Ari'nin (a) 12. eşel basamağa; (b) 13. eşel basamağa ve (b) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu

4.3.4. V455 Aurigea

V455 Aur, UBT60 teleskobu ile 24/02/2021 tarihinde gözlenmiş, sistem 0.903 evresindeyken 600 s'lik poz süresi ile üç tane tayfı elde edilmiştir. Sistemin H_β bölgesine modeller yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Baş bileşen ile yoldaş bileşenin sıcaklık oranı ışık eğrisi çözümünden 1.011 ± 0.002 olarak elde edildiği için baş bileşen ve yoldaş bileşen için üretilen atmosfer modellerindeki sıcaklık değerlerinde bu oran korunmuştur. Sıcaklık için yapılan fitlerde baş bileşen için 6500 K, yoldaş bileşen için ise 6424 K sıcaklıkta üretilen atmosfer modellerinin uyum sağladığı belirlenmiştir. Şekil 4.19'da V455 Aur'un 24/02/2021 tarihinde, 0.903 evrede alınan tayfının H_β bölgesine yapılan model için yapılan fit gösterilmiştir.

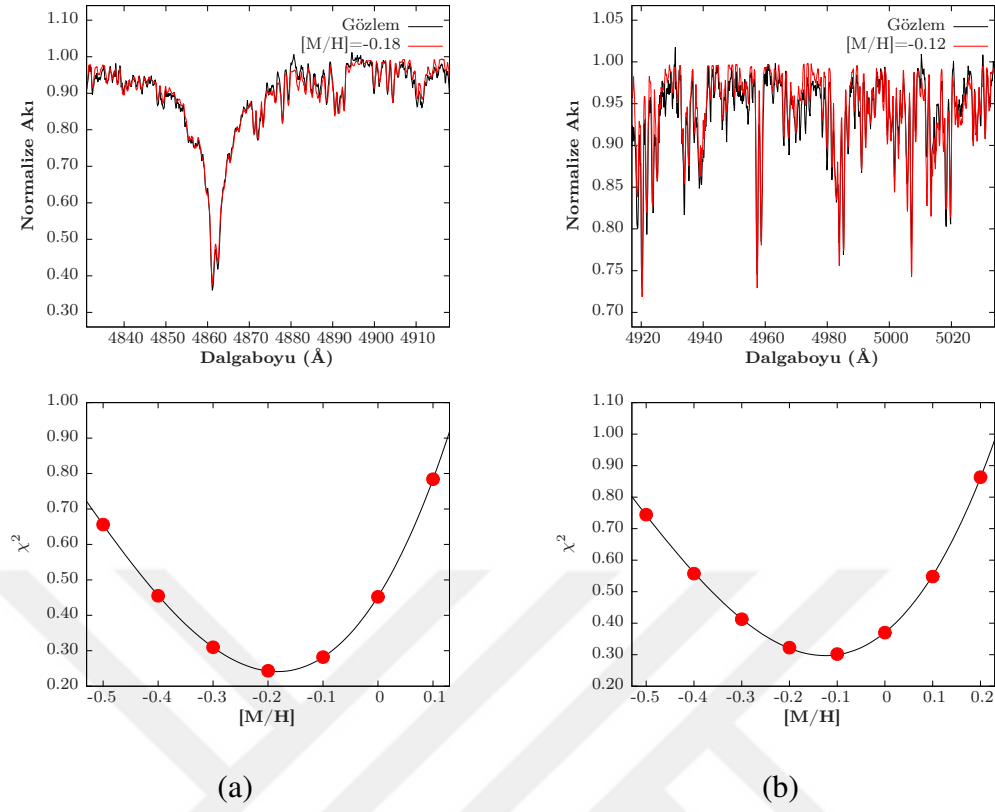


Şekil 4.19. V455 Aur tayfının 0.903 evrede H_{β} bölgesinin 6500 K ve 6424 K sıcaklıklı, $[M/H]=-0.07$ metal bolluğuna sahip atmosfer modellerinden üretilmiş sentetik tayf ile olan uyumu. Siyah sürekli çizgi, gözlem tayfını; kırmızı sürekli çizgi de sentetik tayfi betimlemektedir

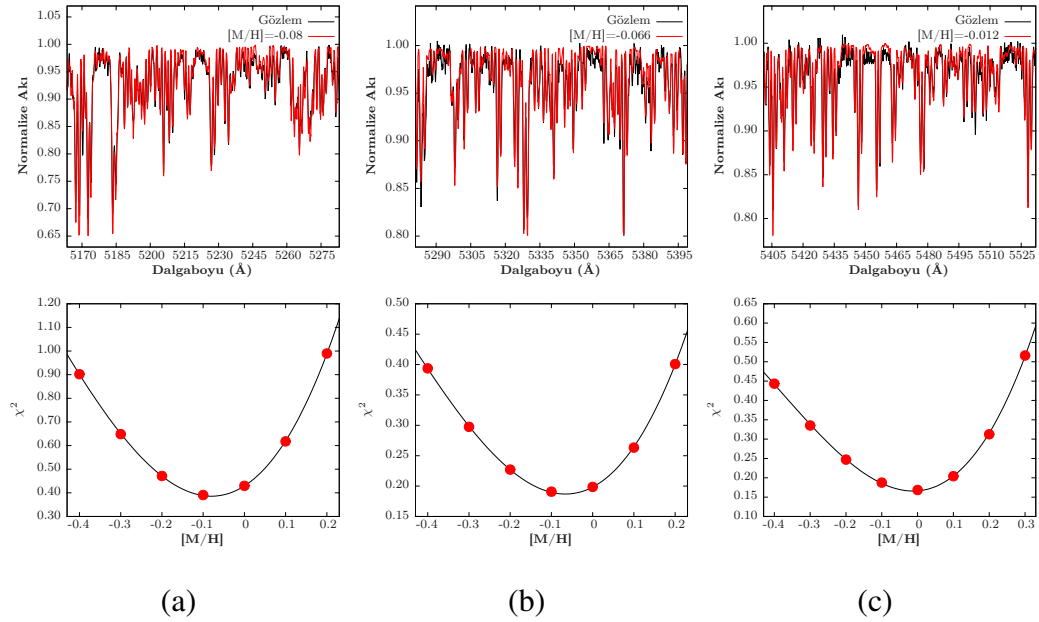
V455 Aur'un sıcaklığı belirlendikten sonra farklı metal bolluğuna sahip atmosfer modelleri ve bu atmosfer modelleri üzerinden sentetik tayflar üretilmiştir. Analiz için en yüksek S/N'ye sahip ve çok sayıda metal çizgisi içeren toplam beş ayrı eşel basamak seçilmiş ve her bir eşel basamak için en iyi metal bolluğu, V455 Aur'un tayfına sentetik tayfların fit yapılması yöntemiyle elde edilmiştir. Denklem 4.2 ve denklem 4.3 kullanılarak V455 Aur'un metal bolluğu $[M/H]=-0.07\pm0.07$ dex olarak belirlenmiştir. Her bir seçilen eşel basamağın özellikleri ve hesaplanan değeri Çizelge 4.20'de, V455 aur'un tayfı ile üretilen en uygun sentetik tayfın uyumu, sırasıyla, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. V455 Aur sisteminin metal bolluğunun hesaplanması için seçilen eşel basamaklar ve özellikleri

Eşel Basamak Numarası	Dalgaboyu Aralığı (Å)	Metal Bolluğu (dex)	χ^2
9	4835–4915	-0.182	0.240
10	4915–5025	-0.122	0.295
12	5165–5280	-0.080	0.386
13	5285–5400	-0.066	0.187
14	5400–5530	-0.012	0.166



Şekil 4.20. V455 Aur'un (a) 9. eşel basamağa ve (b) 10. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu



Şekil 4.21. V455 Aur'un (a) 12. eşel basamağa; (b) 13. eşel basamağa ve (c) 14. eşel basamağa yapılan metal bolluğu fitleri ve tayflar ile olan uyumu

4.4. Mutlak Parametreler

Tayfsal analizi yapılan sistemlerin (V396 Gem, AN Cam, RS Ari, V455 Aur) dikine hız eğrisi ve ışık eğrisi analizleriyle beraber sıcaklık ve metal bolluklarının hesaplanmasıyla, bu sistemlerin mutlak parametreleri elde edilmiştir. Sistemlerdeki bileşen yıldızların mutlak parlaklıkları, bolometrik düzeltmeleri ve bolometrik parlaklıkları Eker vd. (2020) çalışmasında elde edilen $BC-\log T_{\text{eff}}$ ilişkisi yardımıyla hesaplanmıştır. İncelenen sistem için elde edilen bolometrik parlaklıklar, her bir sistem için hesaplanan mutlak parametreler ile birlikte Çizelge 4.21-24'te verilmiştir.



Çizelge 4.21. Bu tez çalışmasında V396 Gem'in hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları

Parametre	Sembol	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Tayf Türü	Sp	F1 V-IV	F1 V-IV
Kütle ($M_{\odot}$)	M	1.814 ± 0.114	1.797 ± 0.114
Yarıçap ($R_{\odot}$)	R	2.655 ± 0.078	2.659 ± 0.090
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_{\odot}$)	a	20.098 ± 0.361	
Yörünge Dönemi (gün)	P	5.4956923 ± 0.0022831	
Yörünge Eğimi ($^{\circ}$)	i	83.287 ± 0.020	
Kütle Oranı	q	0.990 ± 0.036	
Basıklık	e	0.0	
Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g$	3.849 ± 0.080	3.843 ± 0.085
Metal Bolluğu (dex)	[M/H]	0.11 ± 0.03	
Sistemin Görünür V Bandındaki Parlaklığı* (kadir)	V	10.18	
Bileşenlerin Görünür V Bandındaki Parlaklığı (kadir)	$V_{1,2}$	10.813 ± 0.126	10.852 ± 0.127
Renk İndeksi* (kadir)	$B - V$	0.33 ± 0.02	
Etkin Sıcaklık (K)	T_{eff}	7000 ± 100	6978 ± 100
Işınım Gücü ($L_{\odot}$)	$\log L$	1.184 ± 0.050	1.180 ± 0.054
Bolometrik Parlaklık (kadir)	M_{bol}	1.790 ± 0.125	1.800 ± 0.135
Görünür V Bandındaki Mutlak Parlaklık (kadir)	M_V	1.710 ± 0.123	1.719 ± 0.135
Bolometrik Düzeltme (kadir)	BC	0.080 ± 0.002	0.081 ± 0.003
Dikine Hız Genlikleri (kms^{-1})	$K_{1,2}$	91.46 ± 1.71	92.36 ± 1.62
Kütle Merkezinin Dikine Hızı (kms^{-1})	v_{γ}	-3.47 ± 1.24	
Hesaplanan Senkronizasyon Hızları (kms^{-1})	v_{synch}	24.4 ± 0.7	24.5 ± 0.8
Gözlenen Dönme Hızları (kms^{-1})	v_{rot}	25 ± 5	25 ± 5
Uzaklık (pc)	d	626 ± 72	
<i>Gaia</i> EDR3 Uzaklığı (pc)	d_{Gaia}	634 ± 6	

*Høg vd. (2000) çalışmasından alınmıştır.

Çizelge 4.22. Bu tez çalışmasında AN Cam'ın hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları

Parametre	Sembol	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Tayf Türü	Sp	G2 IV	F9.5 IV
Kütle ($M_{\odot}$)	M	1.406 ± 0.024	1.383 ± 0.025
Yarıçap ($R_{\odot}$)	R	2.667 ± 0.059	2.206 ± 0.058
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_{\odot}$)	a	45.065 ± 0.252	
Yörünge Dönemi (gün)	P	20.99842 ± 0.00021	
Yörünge Eğimi ($^{\circ}$)	i	88.972 ± 0.006	
Kütle Oranı	q	0.983 ± 0.011	
Basıklık	e	0.47001 ± 0.00028	
Enberinin Boylamı ($^{\circ}$)	w	194.837 ± 0.500	
Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g$	3.734 ± 0.055	3.892 ± 0.059
Metal Bolluğu (dex)	[M/H]	0.00 ± 0.12	
Sistemin Görünür V Bandındaki Parlaklığı* (kadir)	V	9.69 ± 0.02	
Bileşenlerin Görünür V Bandındaki Parlaklığı (kadir)	$V_{1,2}$	10.137 ± 0.011	10.360 ± 0.011
Renk İndeksi* (kadir)	$B - V$	0.61 ± 0.05	
Etkin Sıcaklık (K)	T_{eff}	5900 ± 100	6050 ± 100
Işınım Gücü ($L_{\odot}$)	$\log L$	0.891 ± 0.035	0.787 ± 0.036
Bolometrik Parlaklık (kadir)	M_{bol}	2.513 ± 0.078	2.773 ± 0.083
Görünür V Bandındaki Mutlak Parlaklık (kadir)	M_V	2.483 ± 0.071	2.766 ± 0.083
Bolometrik Düzeltme (kadir)	BC	0.007 ± 0.007	0.029 ± 0.006
Dikine Hız Genlikleri (kms^{-1})	$K_{1,2}$	61.01 ± 0.33	62.03 ± 0.35
Kütle Merkezinin Dikine Hızı (kms^{-1})	v_{γ}	-37.99 ± 0.15	
Hesaplanan Senkronizasyon Hızları (kms^{-1})	v_{synch}	6.2 ± 0.7	0.1 ± 0.1
Gözlenen Dönme Hızları (kms^{-1})	v_{rot}	25 ± 5	25 ± 5
Uzaklık (pc)	d	326 ± 12	
<i>Gaia</i> EDR3 Uzaklığı (pc)	d_{Gaia}	311 ± 1	

*Høg vd. (2000) çalışmasından alınmıştır.

Çizelge 4.23. Bu tez çalışmasında RS Ari'nin hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları

Parametre	Sembol	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Tayf Türü	Sp	K1.5 III	F9.5 IV
Kütle ($M_{\odot}$)	M	1.413 ± 0.029	1.398 ± 0.028
Yarıçap ($R_{\odot}$)	R	3.531 ± 0.048	2.403 ± 0.041
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_{\odot}$)	a	25.312 ± 0.160	
Yörünge Dönemi (gün)	P	8.803172 ± 0.00015	
Yörünge Eğimi ($^{\circ}$)	i	88.725 ± 0.031	
Kütle Oranı	q	0.989 ± 0.013	
Basıklık	e	0.0	
Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g$	3.492 ± 0.040	3.822 ± 0.044
Metal Bolluğu (dex)	[M/H]	0.05 ± 0.08	
Sistemin Görünür V Bandındaki Parlaklığı* (kadir)	V	10.02 ± 0.04	
Bileşenlerin Görünür V Bandındaki Parlaklığı (kadir)	$V_{1,2}$	10.561 ± 0.047	10.391 ± 0.040
Renk İndeksi* (kadir)	$B - V$	0.82 ± 0.10	
Etkin Sıcaklık (K)	T_{eff}	5000 ± 100	6000 ± 100
Işınım Gücü ($L_{\odot}$)	$\log L$	0.847 ± 0.047	0.829 ± 0.044
Bolometrik Parlaklık (kadir)	M_{bol}	2.633 ± 0.118	2.678 ± 0.110
Görünür V Bandındaki Mutlak Parlaklık (kadir)	M_v	2.890 ± 0.075	2.655 ± 0.110
Bolometrik Düzeltme (kadir)	BC	-0.257 ± 0.043	0.023 ± 0.016
Dikine Hız genlikleri (kms^{-1})	$K_{1,2}$	72.28 ± 0.46	73.10 ± 0.47
Kütle Merkezinin Dikine Hızı (kms^{-1})	v_{γ}	20.81 ± 0.24	
Hesaplanan Senkronizasyon Hızları (kms^{-1})	v_{synch}	20.3 ± 0.3	13.8 ± 0.2
Gözlenen Dönme Hızları (kms^{-1})	v_{rot}	20 ± 5	20 ± 5
Uzaklık (pc)	d	338 ± 19	
Gaia EDR3 Uzaklığı (pc)	d_{Gaia}	337 ± 2	
Leke Eş-enlemi ($^{\circ}$)	θ	88 ± 1	90 ± 1
Leke Boylamı ($^{\circ}$)	ψ	260 ± 1	270 ± 1
Leke Açısal Çapı ($^{\circ}$)	Γ	19 ± 1	10 ± 1
Leke Sıcaklık Oranı	T_*	1.02 ± 0.05	0.74 ± 0.02

*Høg vd. (2000) çalışmasından alınmıştır.

Çizelge 4.24. Bu tez çalışmasında V455 Aur'un hesaplanan mutlak parametreleri ve hataları

Parametre	Sembol	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Tayf Türü	Sp	F4 V	F4.5 V
Kütle ($M_{\odot}$)	M	1.287 ± 0.003	1.231 ± 0.003
Yarıçap ($R_{\odot}$)	R	1.409 ± 0.013	1.339 ± 0.013
Yarı-büyük Eksen Uzunluğu ($R_{\odot}$)	a	12.286 ± 0.007	
Yörünge Dönemi (gün)	P	3.145799 ± 0.000015	
Yörüngenin Eğimi ($^{\circ}$)	i	84.971 ± 0.001	
Kütle Oranı	q	0.956 ± 0.002	
Basıklık	e	0.00930 ± 0.00029	
Enberinin Boylamı ($^{\circ}$)	w	132.504 ± 1.898	
Üçüncü Bileşenin Işık Katkısı	l_3/l_{toplam}	0.032 ± 0.004	
Yüzey Çekim İvmesi (cgs)	$\log g$	4.250 ± 0.009	4.275 ± 0.010
Metal Bolluğu (dex)	[M/H]	-0.07 ± 0.07	
Sistemin Görünür V Bandındaki Parlaklığı* (kadir)	V	7.28 ± 0.01	
Bileşenlerin Görünür V Bandındaki Parlaklığı (kadir)	$V_{1,2}$	7.894 ± 0.010	8.191 ± 0.013
Renk İndeksi* (kadir)	$B - V$	0.43 ± 0.02	
Etkin Sıcaklık (K)	T_{eff}	6500 ± 50	6424 ± 50
Işınım Gücü ($L_{\odot}$)	$\log L$	0.505 ± 0.021	0.440 ± 0.022
Bolometrik Parlaklık (kadir)	M_{bol}	3.488 ± 0.053	3.650 ± 0.055
Görünür V Bandındaki Mutlak Parlaklık (kadir)	M_v	3.417 ± 0.050	3.584 ± 0.055
Bolometrik Düzeltme (kadir)	BC	0.071 ± 0.001	0.003 ± 0.066
Dikine Hız genlikleri (kms^{-1})	$K_{1,2}$	96.2066 ± 0.0556	100.6080 ± 0.0584
Kütle Merkezinin Dikine Hızı (kms^{-1})	V_{γ}	0 (sabit)	
Hesaplanan Senkronizasyon Hızları (kms^{-1})	V_{synch}	22.7 ± 0.2	21.5 ± 0.2
Gözlenen Dönme Hızları (kms^{-1})	V_{rot}	25 ± 5	25 ± 5
Uzaklık (pc)	d	79 ± 2	
Gaia EDR3 Uzaklığı (pc)	d_{Gaia}	77 ± 1	

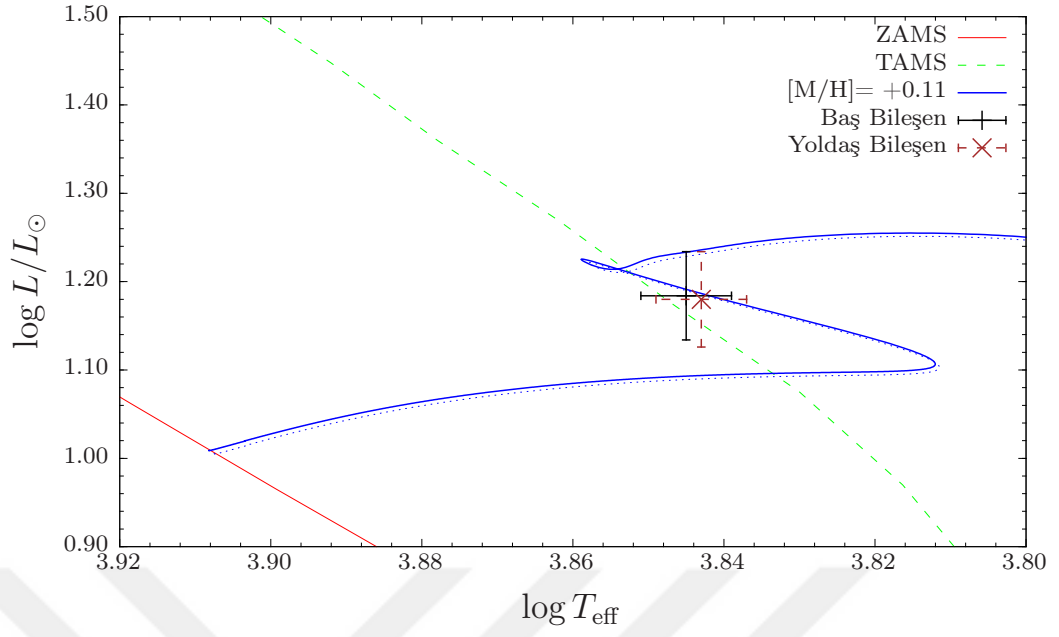
*Høg vd. (2000) çalışmasından alınmıştır.

4.5. Tek Yıldız Evrim Hesapları

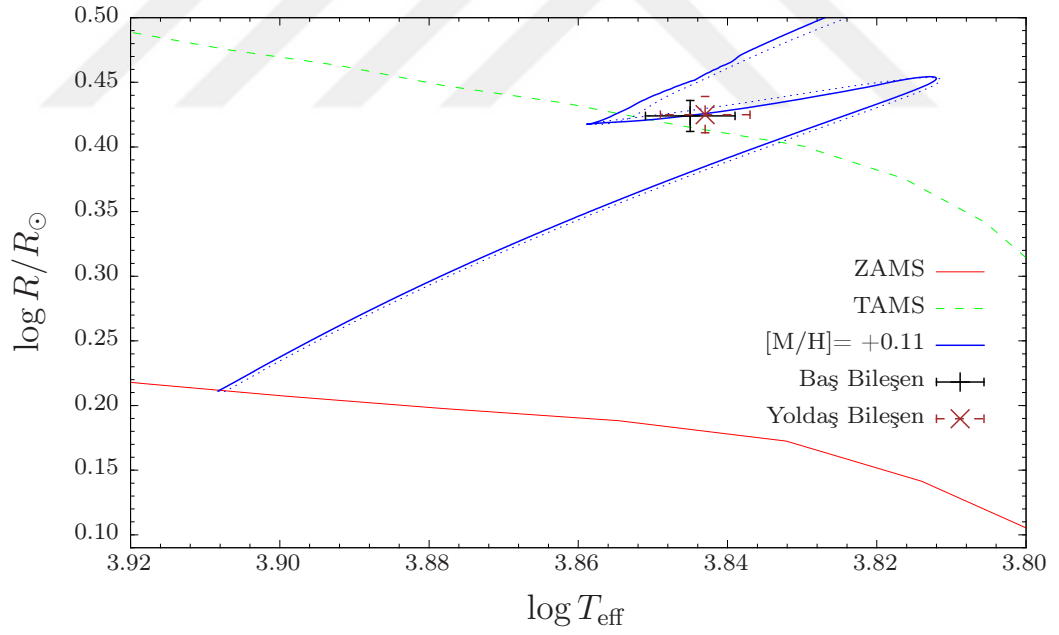
Bu tez çalışmasında evrim analizi yapılacak sistemlerin evrim yolları, analiz sonucu belirlenen mutlak parametreleri doğrultusunda hesaplanmıştır. Evrim analizi yapılacak sistemler ayırık sistemler oldukları için hem tek yıldız hem de çift yıldız olarak iki şekilde evrim analizleri gerçekleştirilmiştir. Evrim analizleri için üçüncü bölümde belirtilen *MESA* kodu dikkate alınmış, her bir sistemin kütlesi, metal bolluğu ve dönme hızı evrim analizi hesaplamalarında girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Tek yıldız evrim analizleri için, sistemlerdeki bileşenlerin anakola girdikten sonraki durumları dikkate alınmıştır. Sistemlerdeki bileşenler ve evrim yolları $\log T_{\text{eff}} - \log L$, $\log T_{\text{eff}} - \log R$ ve $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemlerinde incelenmiştir. Analiz için her sistemin metal bolluk değerleri ile *MESA* kodu kullanılarak Sıfır Yaş Anakol Eğrileri (Zero Age Main Sequence, ZAMS) ile nihai Anakol Yaş Eğrileri (Terminal Age Main Sequence, TAMS) oluşturulmuştur.

4.5.1. V396 Gemini

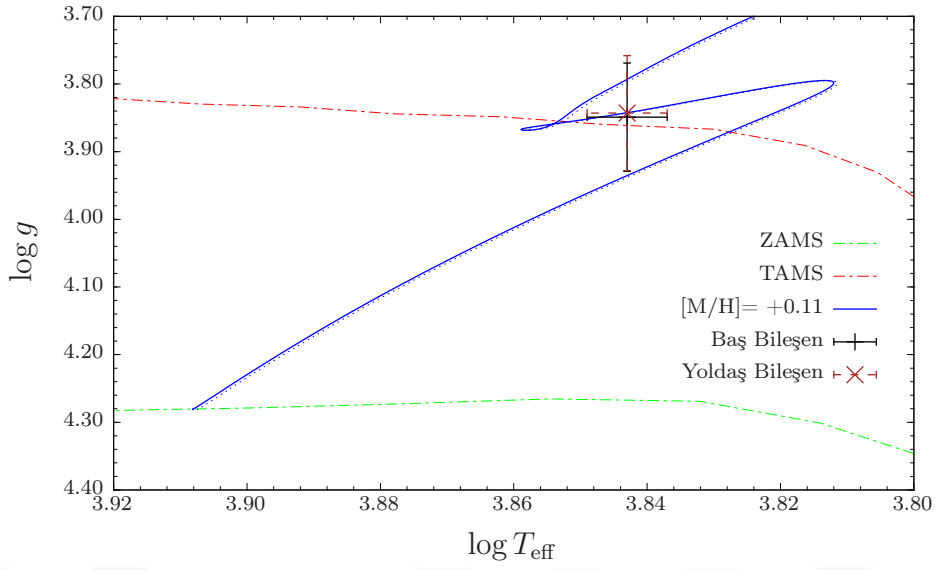
Tayfsal verilerin analizi sonucu V396 Gem'in bileşenlerinin elde edilen kütle ve sistemin metal bolluğu kullanarak evrim yolları oluşturulmuştur. Evrim analizine göre sistemin bileşenleri; kütlesi $1.2 M_{\odot}$ yıldızlarda görülen, yıldızların merkezlerindeki hidrojen atomlarını çok hızlı bir şekilde nükleer füzyon ile helyum atomlarına dönüştürmeleri dolayısıyla kaybolan enerji verimliliğini azalmasını dengelemek için yıldızın yaptığı büzülme aşamasındadır (De Loore ve Doom, 1992). V396 Gem sistemindeki bileşenler yıldızlar ve bu yıldızları en iyi temsil eden evrim yolları $\log T_{\text{eff}} - \log L$, $\log T_{\text{eff}} - \log R$ ve $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemlerinde gösterilmiştir (Şekil 4.22-24).



Şekil 4.22. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

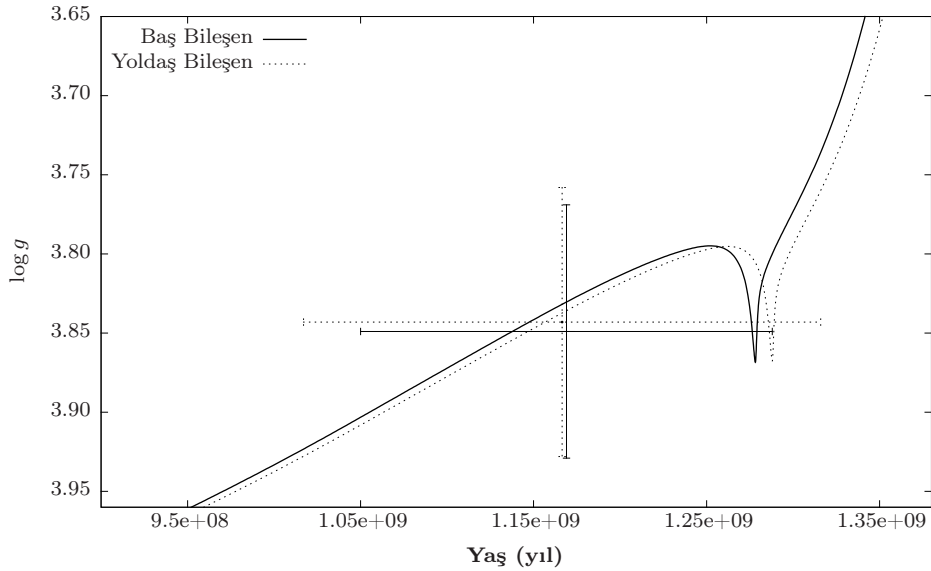


Şekil 4.23. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



Şekil 4.24. V396 Gem bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

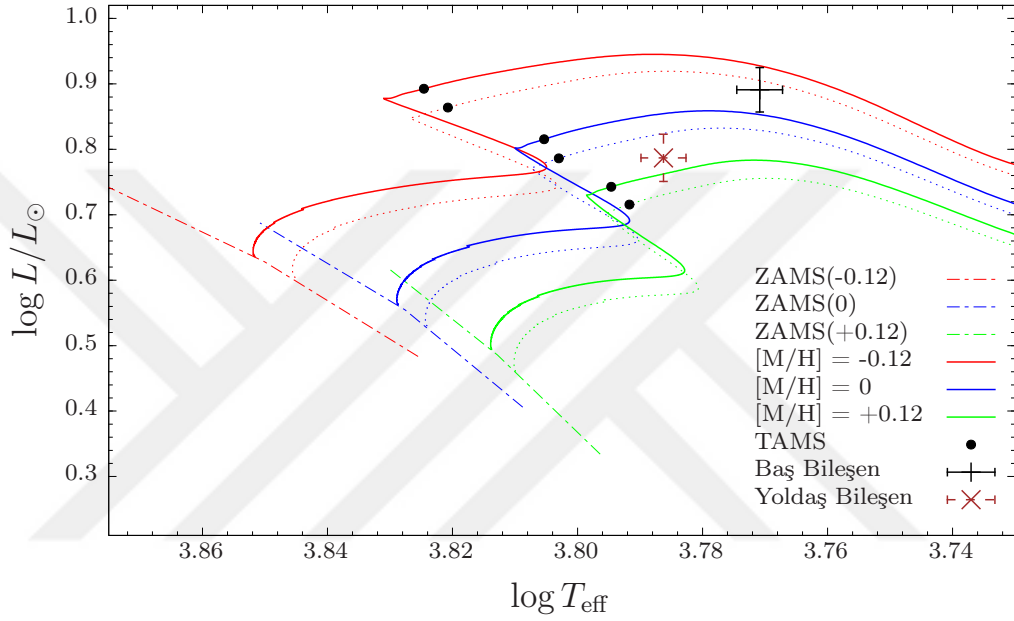
V396 Gem sisteminin yaşı, bileşenlerinin $\log g$ parametresine göre hesaplanmıştır. Çünkü $\log g$ değeri ve hataları, sistemdeki bileşenlerin kütle ve yarıçaptaki hatalarını da içerdiğinden ikiz çift sistemin olası yaşını verebilecek en güvenilir veridir. Analize göre V396 Gem, 1.168 ± 0.149 milyar yaşındadır. Şekil 4.25'te V396 Gem'in hesaplanan yaşı, evrim yolları ile birlikte $Yaş - \log g$ düzleminde gösterilmiştir.



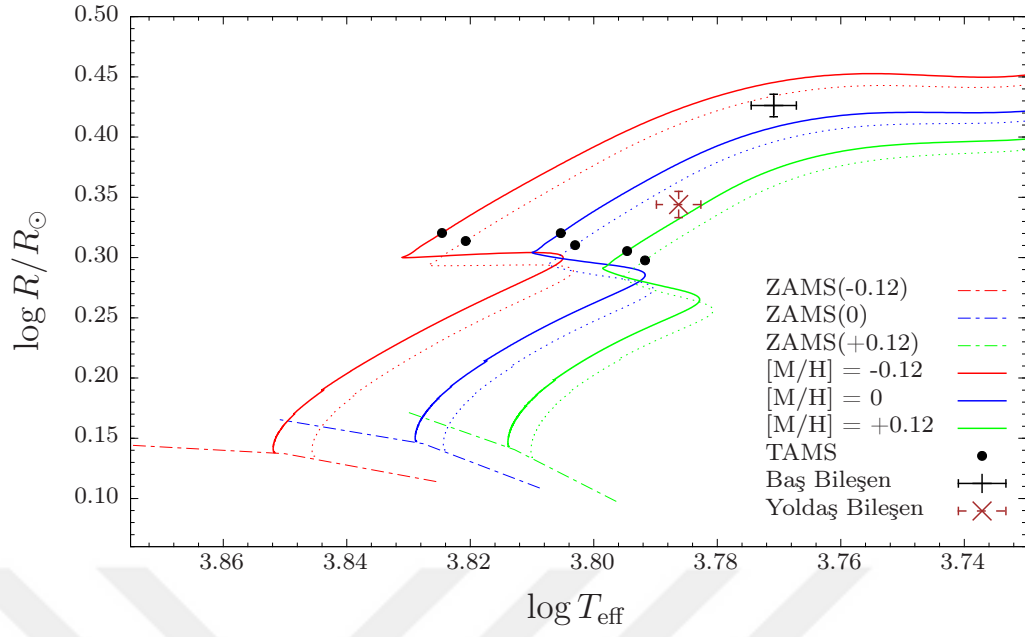
Şekil 4.25. V396 Gem bileşenlerinin $Yaş - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

4.5.2. AN Camelopardalis

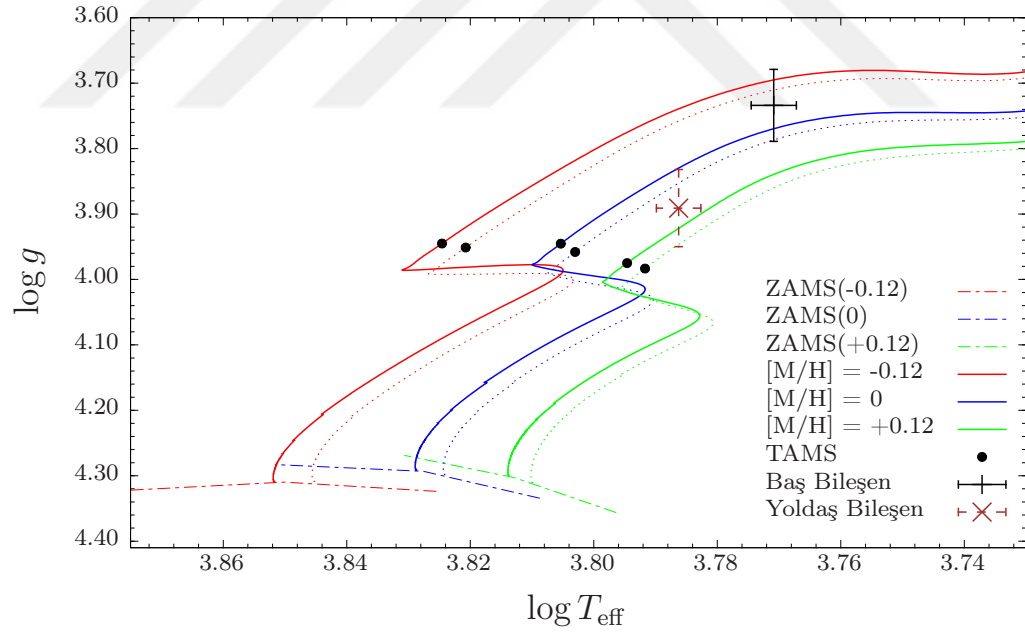
Evrime analize göre AN Cam'ın baş ve yoldaş bileşeni TAMS'ı geçmiş ve çekirdekleri etrafındaki ince bir katmanda hidrojen yakma evresindelerdir. AN Cam sistemindeki bileşenlerin konumları ve en uygun evrim yolları $\log T_{\text{eff}} - \log L$, $\log T_{\text{eff}} - \log R$ ve $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemlerinde Şekil 4.25-28'de gösterilmiştir. Şekil 4.26-28'de siyah noktalar her bir evrim yolu için hesaplanan TAMS'ı belirtmektedir. AN Cam sisteminin yaşı, çift yıldız evrim hesapları bölümünde hesaplanmıştır.



Şekil 4.26. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



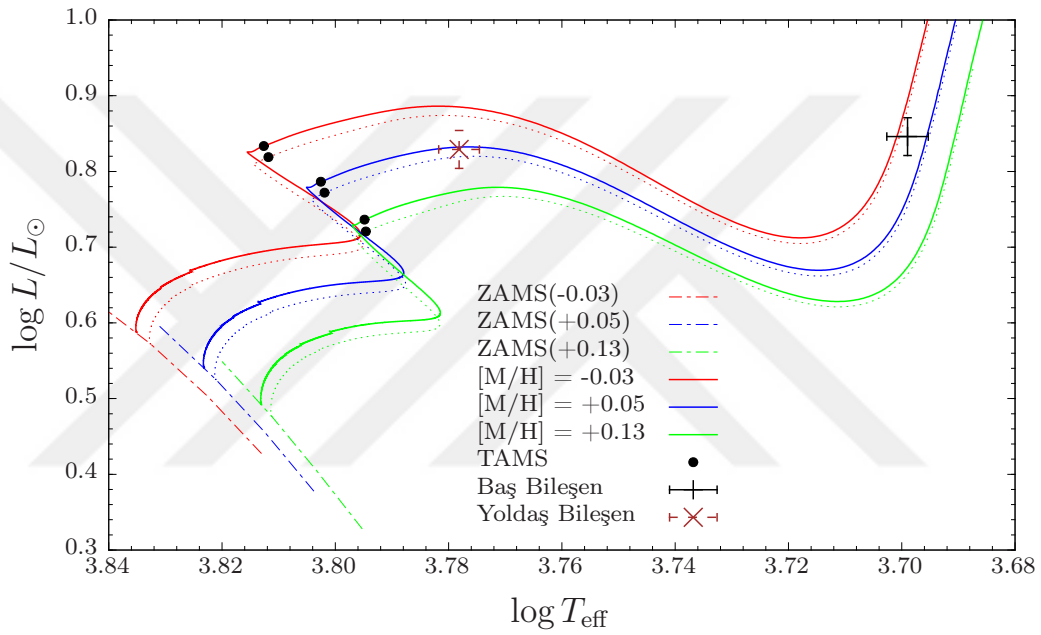
Şekil 4.27. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



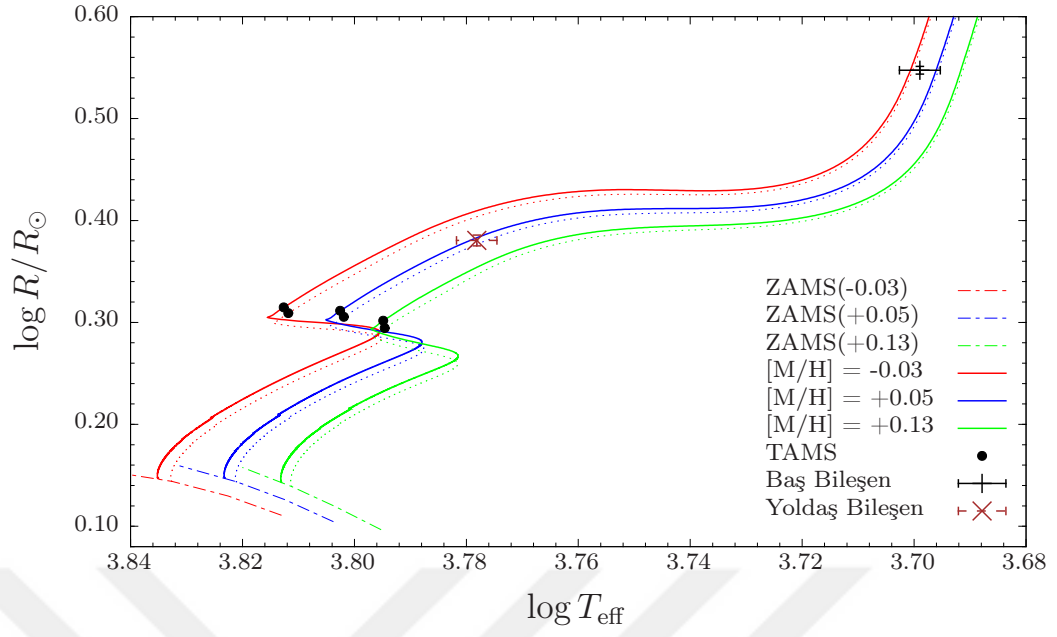
Şekil 4.28. AN Cam bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

4.5.3. RS Arietis

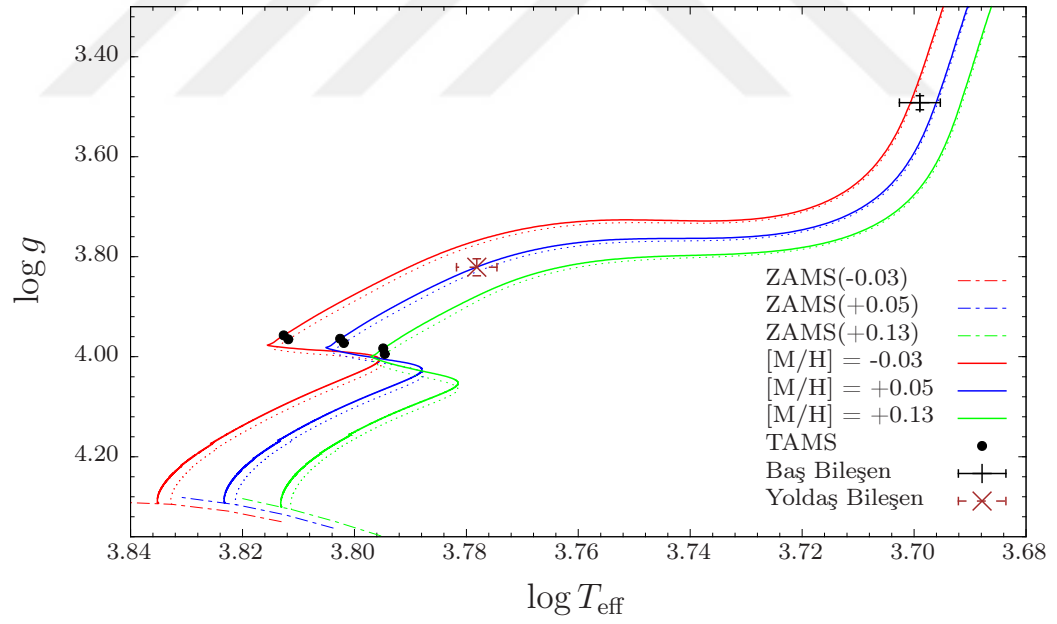
Evrime analizine göre RS Ari'nin baş bileşeni devler koluna girmiş ve kırmızı dev olması aşamasındadır. Yoldaş bileşeni ise TAMS'ı geçmiş ve çekirdeğin etrafındaki kalın hidrojen kabuğu yanma aşamasındadır. RS Ari için oluşturulan evrim yolları $\log T_{\text{eff}} - \log L$, $\log T_{\text{eff}} - \log R$ ve $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemlerinde gösterilmiş ve sistemin bileşenlerinin şu anki konumları bu düzlemler üzerinde gösterilmiştir. Oluşturulan düzlemler Şekil 4.28-31'de verilmiştir. Şekil 4.28-31'de siyah noktalar her bir evrim yolu için hesaplanan TAMS'ı belirtmektedir. RS Ari sisteminin yaşı, çift yıldız evrim hesapları bölümünde hesaplanmıştır.



Şekil 4.29. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



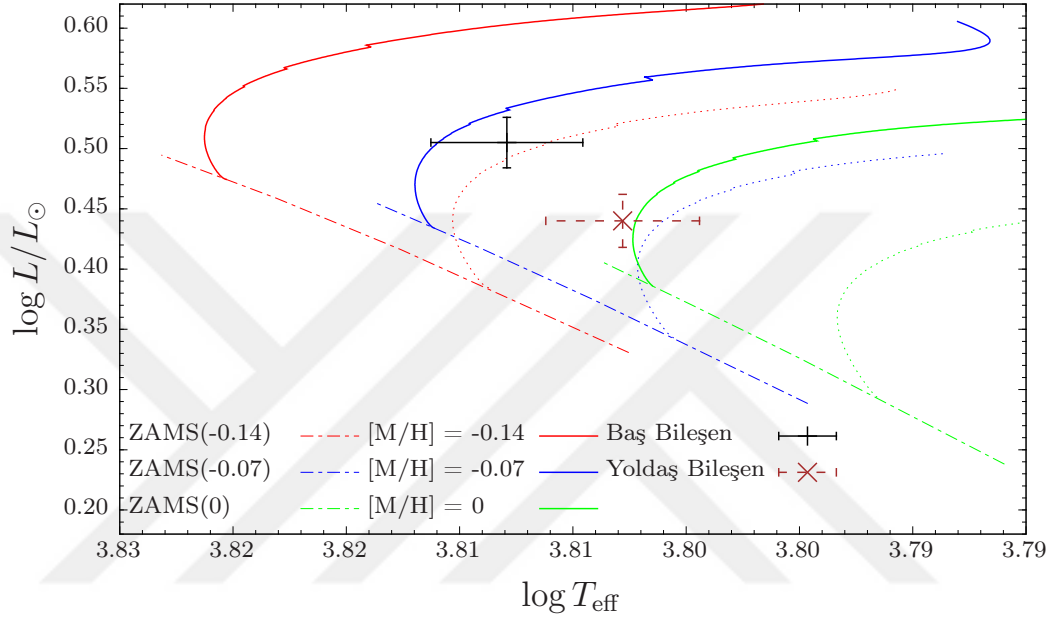
Şekil 4.30. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



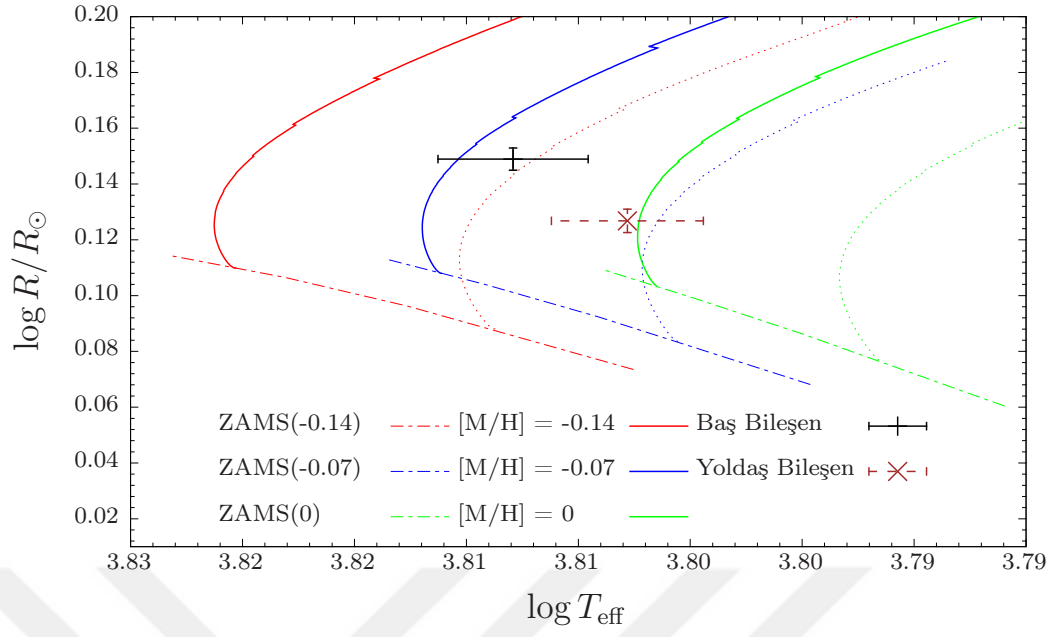
Şekil 4.31. RS Ari bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

4.5.4. V455 Aurigea

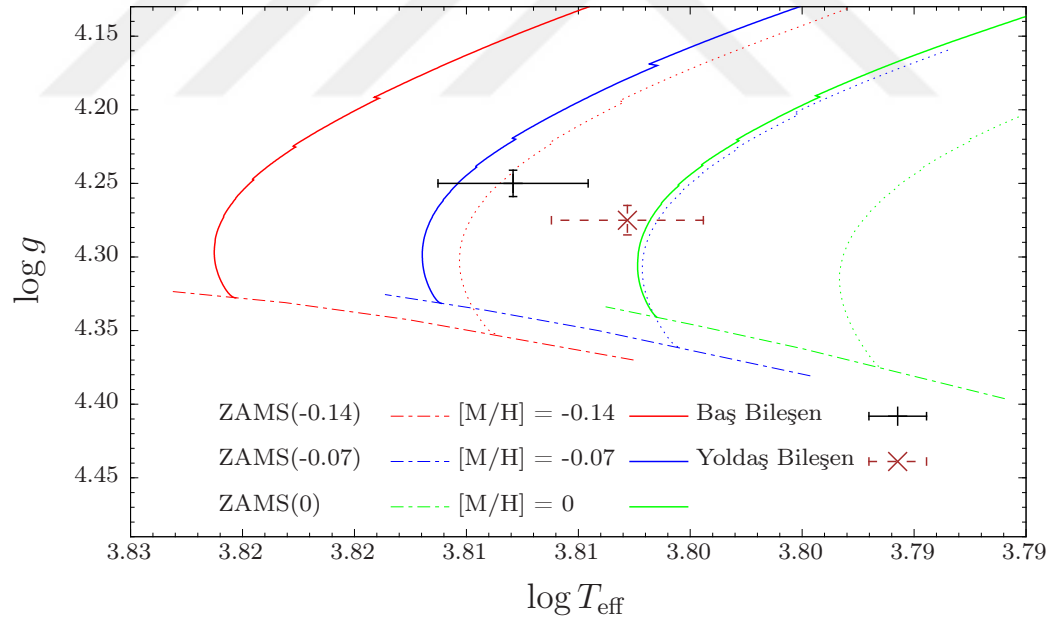
Evrime analizine göre V455 Aur'un her iki bileşeni de anakoldadır. V455 Aur için oluşturulan evrim yolları $\log T_{\text{eff}} - \log L$, $\log T_{\text{eff}} - \log R$ ve $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemlerinde gösterilmiş ve sistemin bileşenlerinin şu anki konumları bu düzlemler üzerinde gösterilmiştir. Oluşturulan düzlemler Şekil 4.32-34'te verilmiştir. V455 Aur sisteminin yaşı, çift yıldız evrim hesapları bölümünde hesaplanmıştır.



Şekil 4.32. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log L$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



Şekil 4.33. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log R$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları



Şekil 4.34. V455 Aur bileşenlerinin $\log T_{\text{eff}} - \log g$ düzlemi üzerindeki konumları ve evrim yolları

4.6. Çift Yıldız Evrimi Hesapları

Bu tez çalışmasında detaylı evrim analizi yapılacak olan sistemlerin ayrık olması tek yıldız evrim analizi ile yapılmasına olanak verse de, bu sistemlerin oluştukları andaki yörüngelerini, evrim basamaklarındaki adımlarını, bu adımları hangi zamanda geçecekleri ve evrim basamaklarındaki adımları geçtiği andaki fiziksel parametreleri vb. detaylı evrim analizlerinin yapılabilmesi için bu sistemleri ayrı birer yıldız gibi değil, beraber evrimleşen iki yıldızdan oluşan bir sistem olarak değerlendirmek gerekir. MESA'nın *binary* modülü bu olanağı sunmaktadır. Sistemlerin başlangıç yörünge parametrelerini ve bazı fiziksel parametrelerini (kütle, metal bolluğu) girdi olarak sunulmasıyla beraber sistemi, iki yıldızın aynı anda evrimleştiği bir sistem olarak analiz etme imkanı sağlar. MESA'nın bu özelliği kullanılarak yapılan detaylı çift yıldız sistemi analizleri literatürde mevcuttur (Streamer vd. 2018; Rosales vd; 2019; Soyduğan vd. 2020).

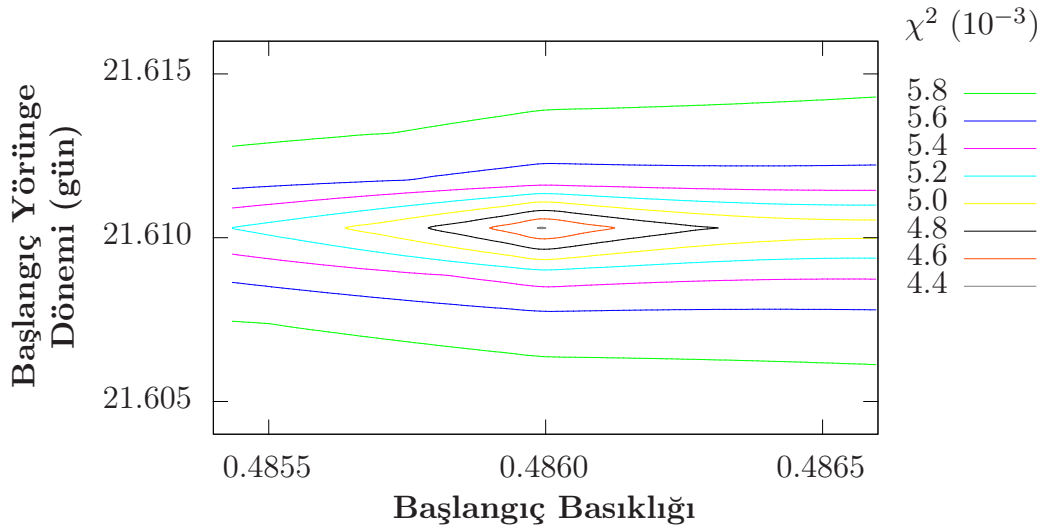
Çift yıldız sistemlerinin MESA ile evrim yollarının doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için çift yıldız sisteminin başlangıcındaki yörünge parametrelerinin iyi bir şekilde bilinmesi gereklidir. Çift yıldız sistemlerinin bileşenleri anakola girdikleri andan itibaren kütlelerine bağlı olarak yıldız rüzgarı ($M > 1.5M_{\odot}$) veya manyetik aktivite ($M < 1.5M_{\odot}$) bakımından açısal momentum kaybı yaşar. Açısal momentum kaybı sistemin yörünge periyodunda küçülmeye ve eğer sistem basık bir yörüngeye sahip ise basıklığın azalarak sistemin çember bir yörüngeye sahip olmasına neden olur. Bundan dolayı çift yıldız sistemlerinin yörüngesindeki bu değişimleri ve sistemdeki bileşenlerin evrim durumları göz önünde alındığında herhangi bir çift yıldız sisteminin başlangıç yörünge parametreleri hesaplanabilir. MESA kodunun *binary* modu ile yapılan hesaplamalarda kullanılan evrim seçenekleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, çift yıldız evrim analizi yapılacak sistemlerin yörünge başlangıç parametrelerinin tespiti için farklı yörünge başlangıç dönemi ve varsa farklı başlangıç basıklık değerleri ile ilgili bir dizi evrim modeli hesabı yapıldı ve yörünge parametrelerinden biri (basıklık veya yörünge dönemi) durdurma koşulu olarak kabul edildi. Evrim hesabının durdurulduğu anda analiz edilen çift sistemin yörünge parametreleri ile bileşenlerin yarıçap ve sıcaklık parametrelerini içeren beş değişkenli bir χ^2 hesabı yapıldı. En küçük χ^2 değerini veren başlangıç yörünge parametreleri, analiz edilen çift sistemin başlangıç yörünge parametreleri olarak kabul edilerek, evrim analizi için girdi parametresi olarak kullanıldı. Evrim hesaplamaları, ikiz çift yıldız sistemleri için baş bileşenden yoldaş bileşene kütle aktarımı başlayıncaya kadar yapıldı.

4.6.1. AN Camelopardalis

AN Cam'ın yörünge başlangıç parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, başlangıç basırlık değeri 0.4820 ile 0.4900 arasında 0.002 adımlı ve başlangıç yörünge dönemi 21.50 ile 21.80 gün arasında 0.01 gün adımlı çift yıldız evrim hesaplamaları yapılmıştır. AN Cam'ın yörünge başlangıç parametrelerinin belirlenmesi için evrimin durdurma koşuluk olarak sistemin şu anki basırlık değeri olan 0.47001 kullanıldı. Evrim analizine göre en küçük χ^2 değerini (0.0044) veren başlangıç basırlık değeri 0.4860, yörünge dönemi değeri ise 21.61 gün olan evrim modeli oldu. Şekil 4.35'te her bir başlangıç basırlığı için en küçük χ^2 değerini veren başlangıç yörünge dönemini gösteren grafik verilmiştir.

Çizelge 4.25'te, AN Cam'ın belirlenen başlagıç parametreleri kullanılarak, kütle aktarınca kadar yürütölen evrimin sonucu olarak sistemin önemli evrelerindeki zaman adımları ve o zaman adımlarındaki yörünge parametreleri ile bileşenlerin fiziksel parametreleri verilmiştir. Evrim analizine göre AN Cam 3.00 ± 0.15 milyar yaşında ve 411 milyon yıl sonra kütle aktarmaya başlayacaktır. AN Cam'ın baş bileşeninin Roche şişimi doldurma çarpanı (Roche lobe filling factor) (R/R_L) 0.156; yoldaş bileşenin Roche şişimi doldurma çarpanı ise 0.129'dur. Kütle aktarmaya başladığı anda baş bileşen termal zonklama aşamasında olan bir yıldız olacak ve yoldaş bileşen de devler koluna girmiş bir yıldız olacaktır.

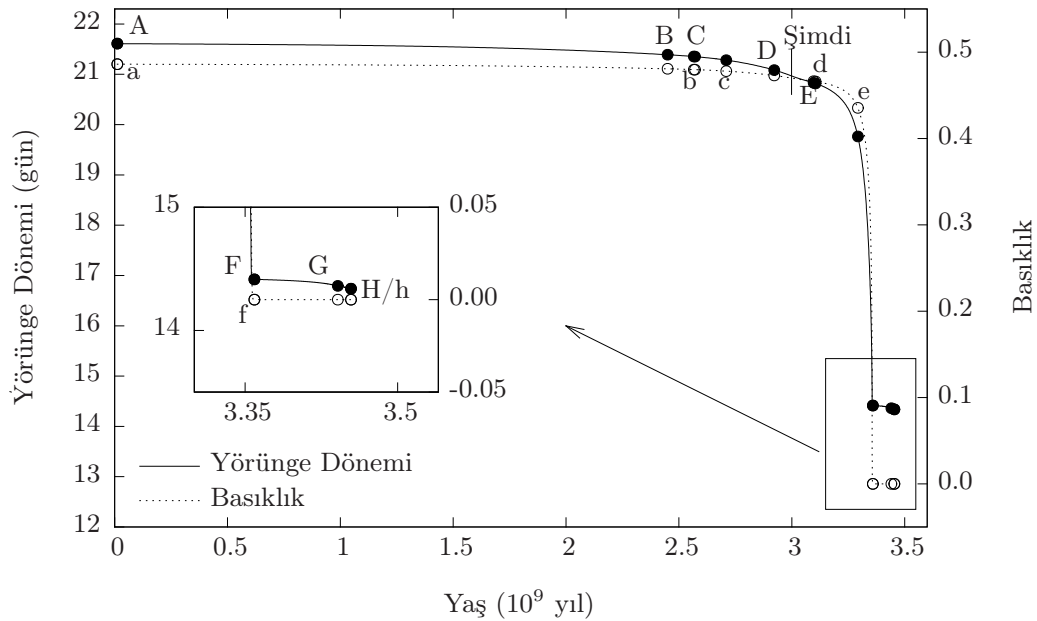


Şekil 4.35. AN Cam'ın çift yıldız evrimi için yapılan farklı başlangıç basırlığı için en küçük χ^2 'yi veren başlangıç yörünge dönemleri

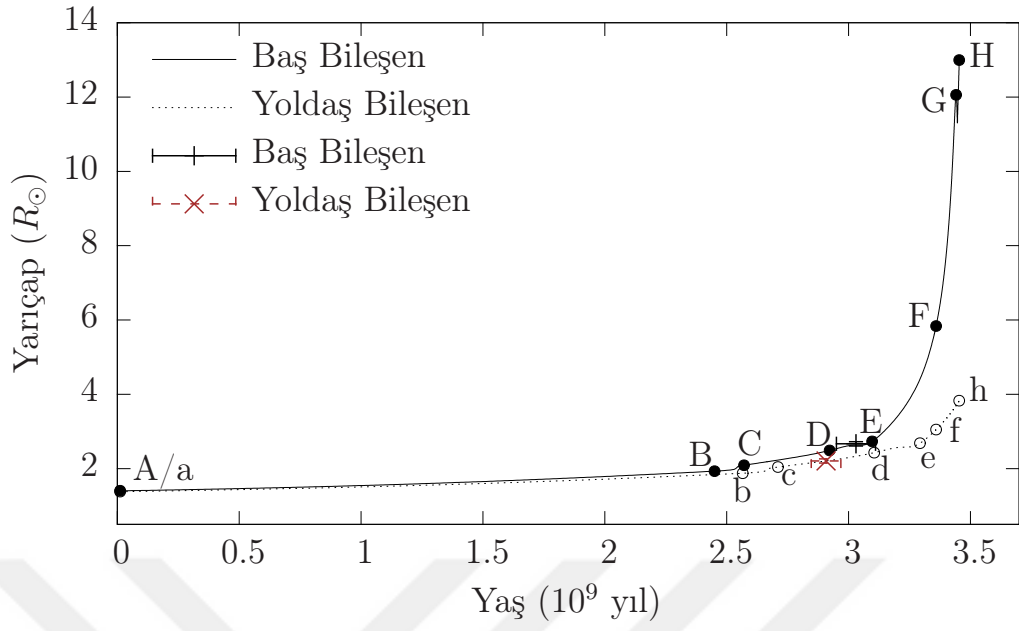
Çizelge 4.25. AN Cam'ın her bir evrim aşamasını zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi

Harf	Evrim basamağı	Yaş (Myıl)	Dönem (gün)	Basıklık	Baş Bileşen			Yoldaş Bileşen		
					$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)	$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)
Baş Bileşen	A	0	21.610	0.4860	3.829	0.563	1.403	3.824	0.531	1.380
	B	2450	21.389	0.4806	3.792	0.692	1.932	3.793	0.653	1.841
	C	2571	21.352	0.4797	3.805	0.815	2.090	3.791	0.664	1.879
	D	2922	21.084	0.4729	3.778	0.859	2.489	3.789	0.814	2.220
	E	3097	20.829	0.4662	3.716	0.690	2.731	3.778	0.832	2.418
	F	3359	14.415	0	3.684	1.222	5.839	3.703	0.734	3.050
	G	3441	14.362	0	3.651	1.720	12.060	3.696	0.874	3.695
	H	3454	14.338	0	3.646	1.766	13.099	3.695	0.900	3.826
Yoldaş Bileşen	a	0	21.610	0.4860	3.829	0.563	1.403	3.824	0.531	1.380
	b	2566	21.354	0.4798	3.806	0.814	2.085	3.791	0.663	1.877
	c	2710	21.282	0.4780	3.797	0.823	2.188	3.803	0.786	2.041
	d	3105	20.818	0.4659	3.797	0.837	2.230	3.774	0.833	2.429
	e	3293	19.766	0.4355	3.692	1.008	4.400	3.716	0.674	2.682
	f	3359	14.415	0	3.684	1.222	5.839	3.703	0.734	3.050
	g	3441	14.362	0	3.651	1.720	12.060	3.696	0.874	3.695
	h	3454	14.338	0	3.646	1.766	13.099	3.695	0.900	3.826

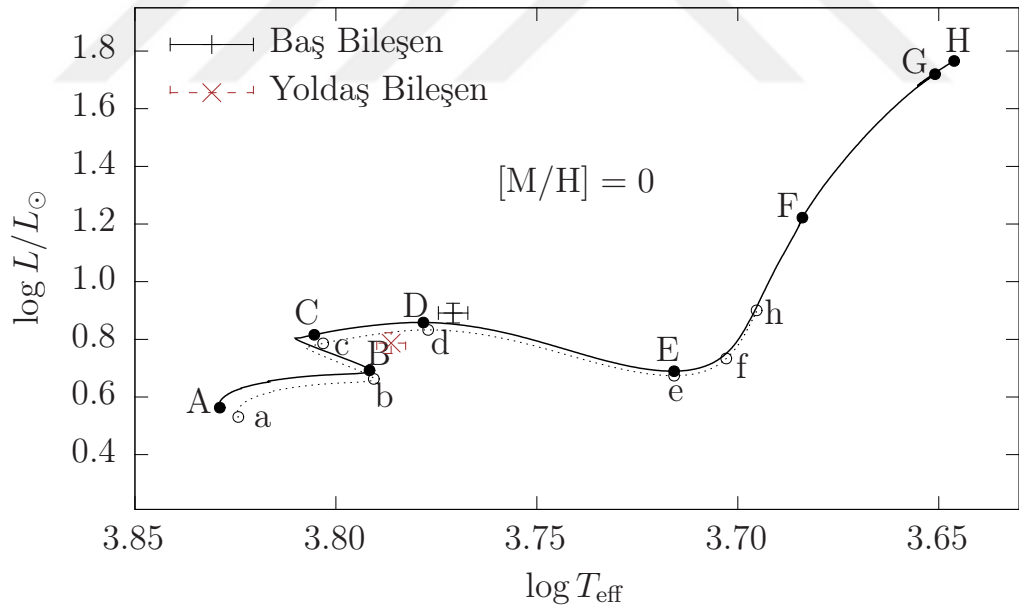
Şekil 4.36'da, zamana karşı yörünge parametrelerinin değişimi, şekil 4.37'de, zamana karşı AN Cam'ın bileşenlerinin yarıçap değişimleri ve şekil 4.38'de evrim basamaklarının HR diyagramı üzerindeki konumları gösterilmiştir. Şekil 4.36 ve 4.37'den de görülebileceği üzere, baş bileşen devler koluna girip yarıçapı çok hızlı bir şekilde artmaya başladığında sistemin yörünge açısal momentumundaki kayıp miktarına bileşenlere aktarılan oran da eklenince sistemdeki bileşenler arası uzaklık hızla azalmakta, sistemin yörünge dönemi hızla küçülmekte ve sistemin yörüngesi de çok hızlı bir şekilde çemberleşmektedir.



Şekil 4.36. AN Cam'ın yörünge parametrelerinin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi



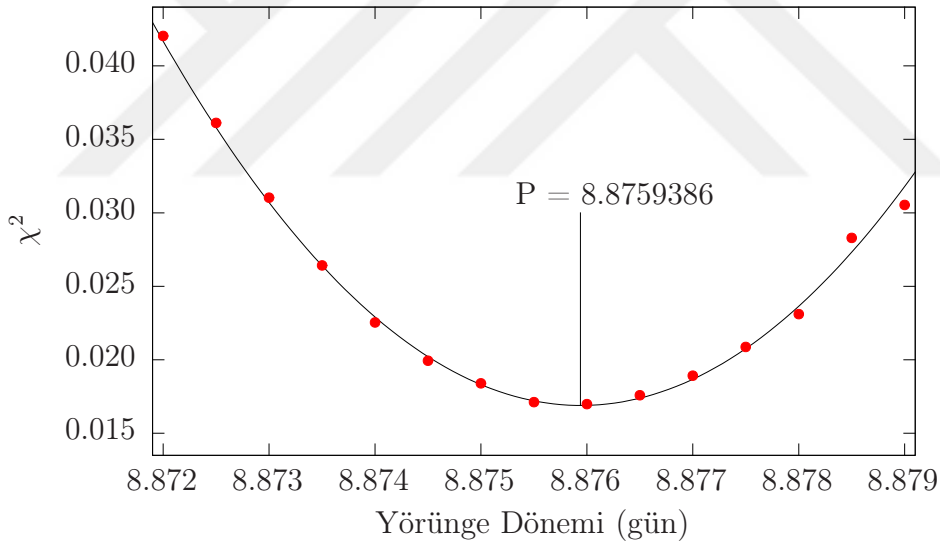
Şekil 4.37. AN Cam sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi



Şekil 4.38. AN Cam sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları

4.6.2. RS Arietis

Analiz sonuçlarına göre RS Ari çember bir yörüngeye sahiptir. Bundan dolayı sistemin yörüngesinde herhangi bir basıklık değeri olup olmadığı, olsa dahi ne zaman yörünge çemberleştiği hakkında bir bilgi olmadığından evrim analizi için RS Ari'nin olduğu andan itibaren çember bir yörüngeye sahip olduğu varsayıldı. Bundan dolayı başlangıç yörünge parametresi olarak sadece başlangıç yörünge dönemi parametresi evrim hesaplamalarında girdi olarak kullanıldı. RS Ari'nin başlangıç yörünge dönemini hesaplayabilmek için başlangıç yörünge dönemi 8.87 ile 8.88 gün arasında 0.0005 günlük adımlar ile değişen evrim hesaplamaları yapıldı. Evrim hesabı, RS Ari'nin şu anki yörünge dönemi olan 8.803172 gün değerine ulaşınca durduruldu. Sonraki adımda, bileşenlerin mutlak parametreleri kullanılarak her bir başlangıç yörünge dönem parametresi için elde edilen evrim modellerindeki mutlak parametreler ile χ^2 değerleri hesaplandı. Daha sonra bu χ^2 değerlerine bir fit geçirilerek en olası başlangıç yörünge dönemi $P = 8.8759386 \pm 0.000016$ gün olarak hesaplandı. Şekil 4.39'da başlangıç yörünge dönemi hesaplaması için yapılan χ^2 fiti gösterilmiştir.



Şekil 4.39. RS Ari'nin başlangıç döneminin belirlenmesi için yapılan χ^2 fiti

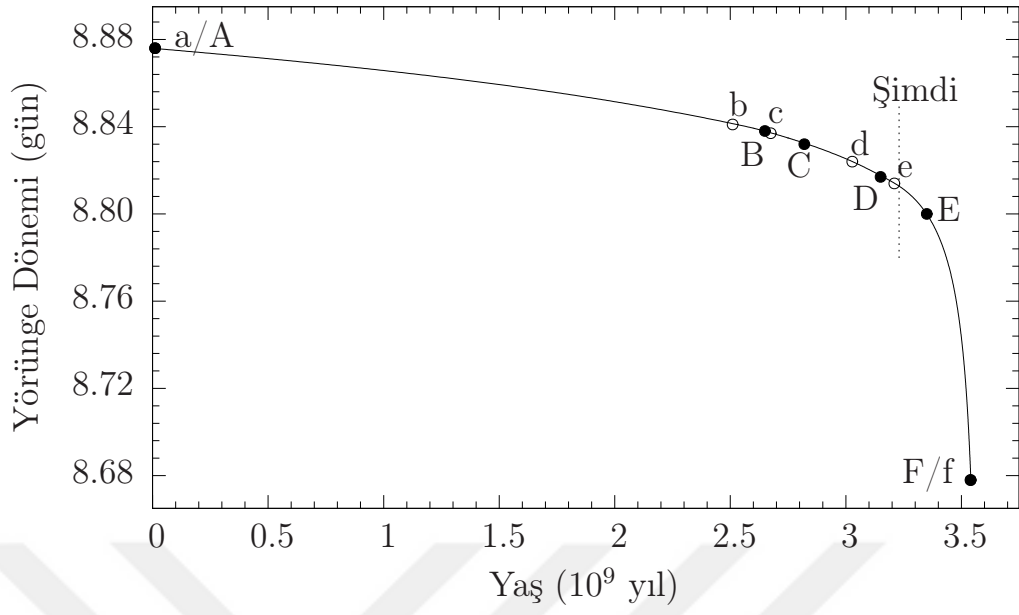
Çizelge 4.26'da, RS Ari'nin belirlenen başlangıç yörünge dönemi parametresi kullanılarak, kütle aktarıncaya kadar yapılan evrimin sonucu olarak sistemin önemli evrim basamakları, zaman adımları ve zaman adımlarındaki yörünge parametreleri ile bileşenlerin fiziksel parametreleri verilmiştir. Evrim analizine göre RS Ari 3.3 ± 0.2 milyar yaşında ve 263 milyon yıl sonra kütle aktarmaya başlayacaktır. RS Ari'nin baş bileşeninin Roche şişimi doldurma çarpanı 0.368; yoldaş bileşeninin Roche şişimi doldurma çarpanı ise 0.251'dir. Kütle aktarmaya başladığı anda baş bileşen kırmızı dev

aşamasında olan bir yıldız olacak ve yoldaş bileşen de devler koluna girmiş bir yıldız olacaktır.

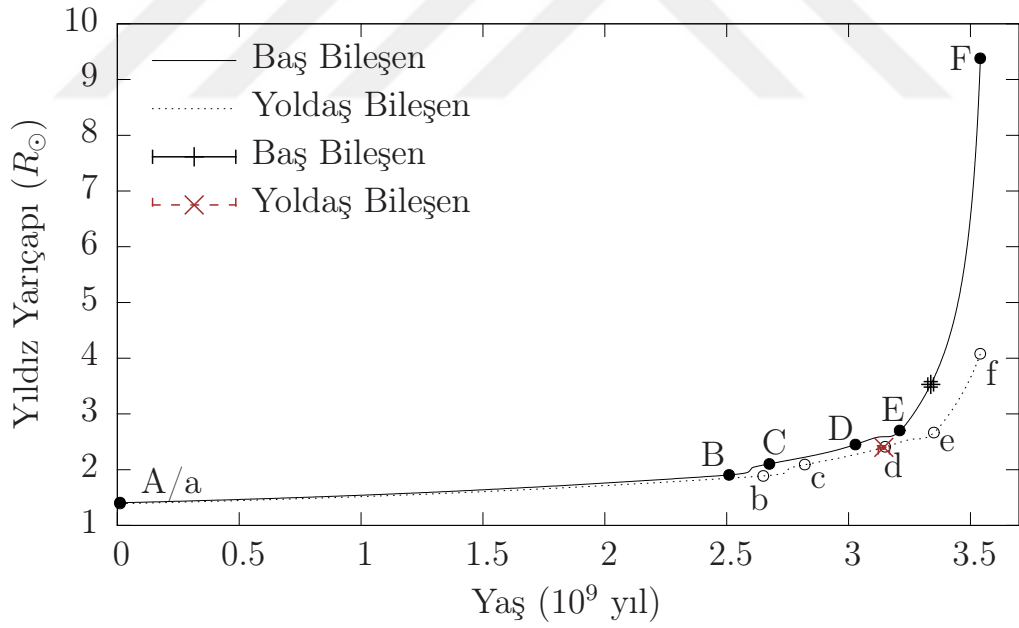
Çizelge 4.26. RS Ari'nin her bir evrim aşamasını zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi

Harf	Evrim basamağı	Yaş	Dönem	Baş Bileşen			Yoldaş Bileşen			
		(Myıl)	(gün)	$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)	$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)	
Baş Bileşen	A	Anakola giriş	0	8.876	3.824	0.546	1.408	3.821	0.525	1.392
	B	Çekirdek büzülmesi	2508	8.841	3.789	0.670	1.905	3.789	0.644	1.846
	C	Anakoldan çıkış	2675	8.837	3.800	0.800	2.104	3.787	0.658	1.897
	D	İnce kabuk yanması	3028	8.824	3.776	0.838	2.452	3.786	0.810	2.271
	E	Devler koluna giriş	3213	8.814	3.714	0.672	2.702	3.766	0.810	2.493
	G	Kütle aktarmanın başlangıcı	3541	8.678	3.657	1.526	9.382	3.691	0.940	4.079
Yoldaş Bileşen	a	Anakola giriş	0	8.876	3.824	0.546	1.408	3.821	0.525	1.392
	b	Çekirdek büzülmesi	2651	8.838	3.806	0.779	2.000	3.787	0.653	1.888
	c	Anakoldan çıkış	2823	8.832	3.792	0.817	2.226	3.798	0.785	2.092
	d	İnce kabuk yanması	3152	8.817	3.741	0.745	2.591	3.775	0.819	2.410
	e	Devler koluna giriş	3351	8.800	3.695	0.857	3.648	3.713	0.661	2.665
	g	Kütle aktarmanın başlangıcı	3541	8.678	3.657	1.526	9.382	3.691	0.940	4.079

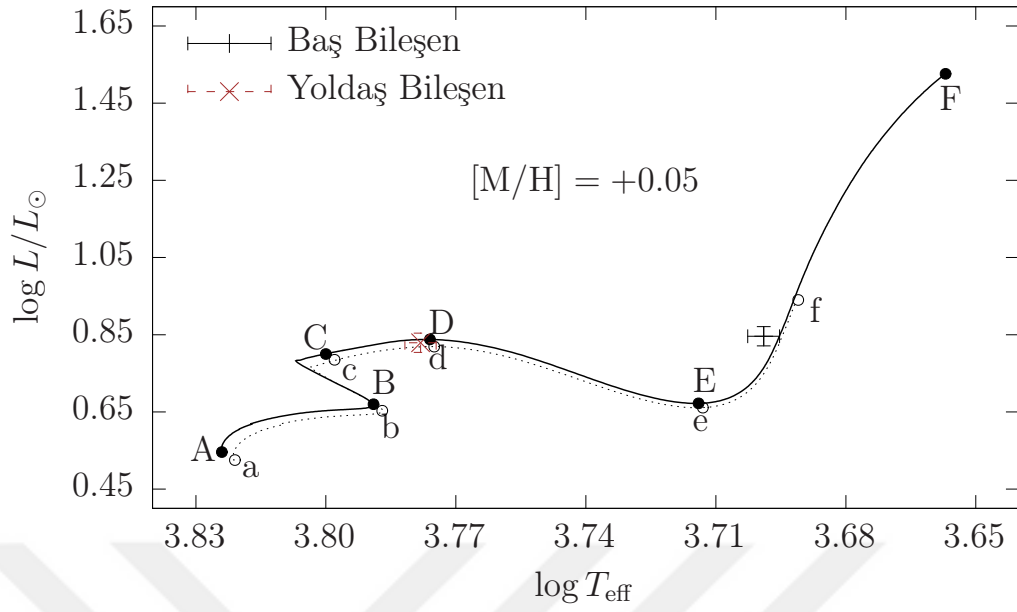
Şekil 4.40'da, zamana karşı yörünge döneminin değişimi; şekil 4.41'de, zamana karşı RS Ari'nin bileşenlerinin yarıçap değişimleri ve şekil 4.42'de evrim basamakları HR diyagramı üzerindeki konumları gösterilmiştir. Şekil 4.40 ve 4.41'den de görülebileceği üzere, tıpkı AN Cam'da hesaplandığı gibi, baş bileşen devler koluna girip yarıçapı çok hızlı bir şekilde artmaya başladığında sistemin yörünge açısal momentumundaki kayıp miktarına bileşenlere aktarılan oran da eklenince sistemdeki bileşenler arası uzaklık azalmakta ve sistemin yörüngesi de hızlı bir şekilde küçülmektedir.



Şekil 4.40. RS Ari'nin yörünge döneminin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi



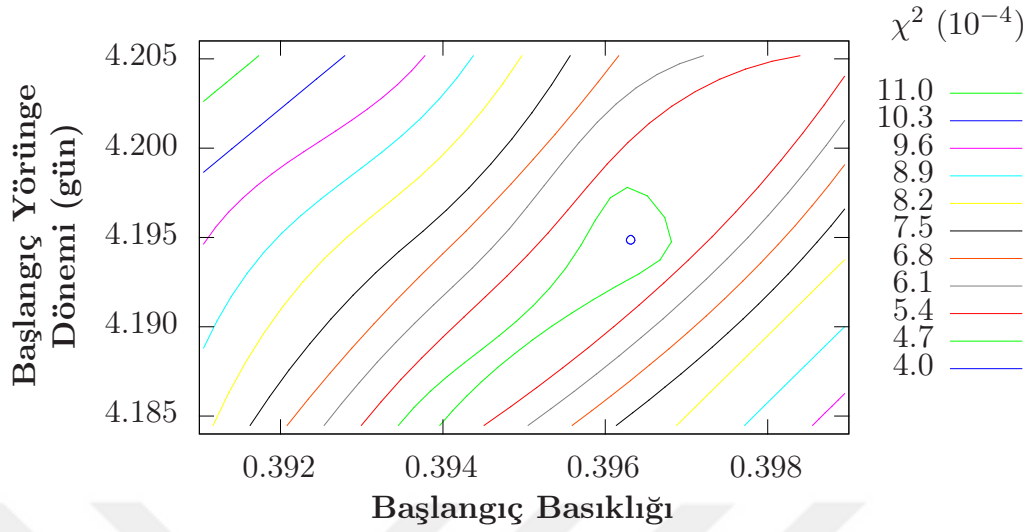
Şekil 4.41. RS Ari sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi



Şekil 4.42. RS Ari sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları

4.6.3. V455 Aurigea

Bu tez çalışmasında çift yıldız evrim hesaplamaları yapılan sistemlerden biri olan V455 Aur'un yörünge başlangıç parametrelerinin belirlenmesi amacıyla, başlangıç basınlık değeri 0.370 ile 0.420 arasında 0.002 adımlı ve başlangıç yörünge dönemi 4.050 ile 4.350 gün arasında 0.005 gün adımlı aralıklarla çift yıldız evrim hesaplamaları yapılmıştır. V455 Aur'un yörünge başlangıç parametrelerinin belirlenmesi için evrim hesabının durdurma koşulu olarak sistemin şu anki basınlık değeri olan 0.000930 kullanıldı. Evrim analizine göre en küçük χ^2 değerini (0.0003678) veren başlangıç basınlık değeri 0.396, yörünge dönemi değeri ise 4.195 gün olan evrim modeli oldu. Şekil 4.43'te her bir başlangıç başlangıç basınlık değeri için en küçük χ^2 değerini veren başlangıç yörünge dönemini gösteren grafik verilmiştir.



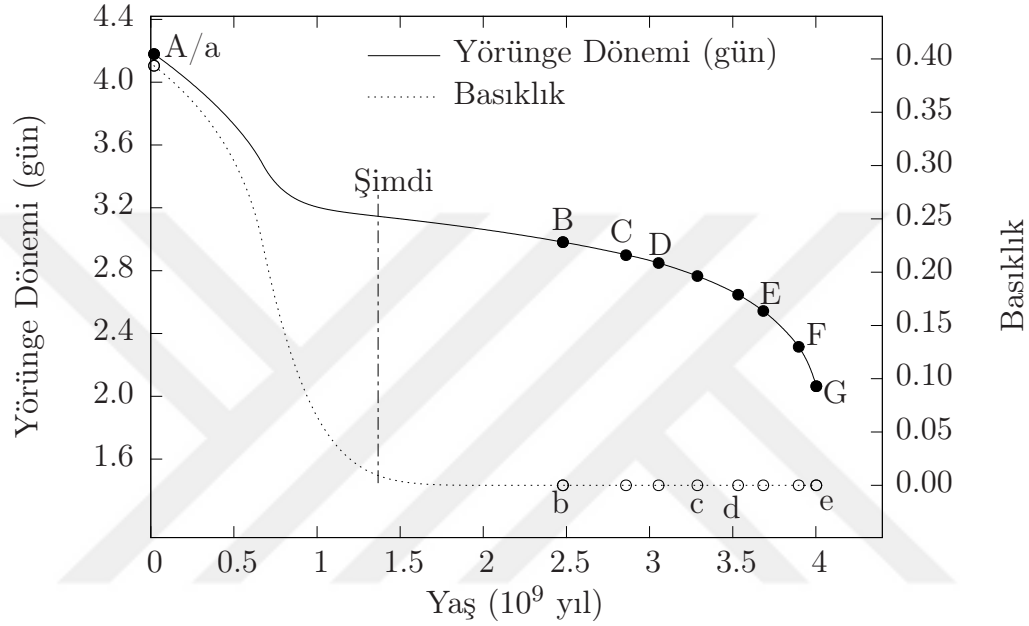
Şekil 4.43. V455 Aur'un çift yıldız evrimi içi yapılan farklı başlangıç basınlık değerleri için en küçük χ^2 değerini veren başlangıç yörünge dönemleri

Çizelge 4.27'de V455 Aur'un belirlenen başlangıç basınlık değeri ve başlangıç yörünge dönemi değerleri kullanılarak, kütle aktarıncaya kadar yapılan evrimin sonucu olarak sistemin önemli evrim basamakları, zaman adımları ve zaman adımlarındaki yörünge parametreleri ile bileşenlerin fiziksel parametreleri verilmiştir. Evrim analizine göre V455 Aur 1.37 ± 0.25 milyar yaşındadır ve yaklaşık 3 milyar yıl sonra sistemde, baş bileşenden yoldaş bileşene kütle aktarımı başlayacaktır. V455 Aur'un baş bileşeninin Roche şişimi doldurma çarpanı 0.299; yoldaş bileşenin Roche şişimi doldurma çarpanı ise 0.292'dir. Kütle aktarımı başladığı anda baş bileşen devler koluna girmiş olacaktır ve yoldaş bileşen de helyum çekirdeğinin etrafındaki kalın hidrojen kabuğunu yakma evresinde olacaktır.

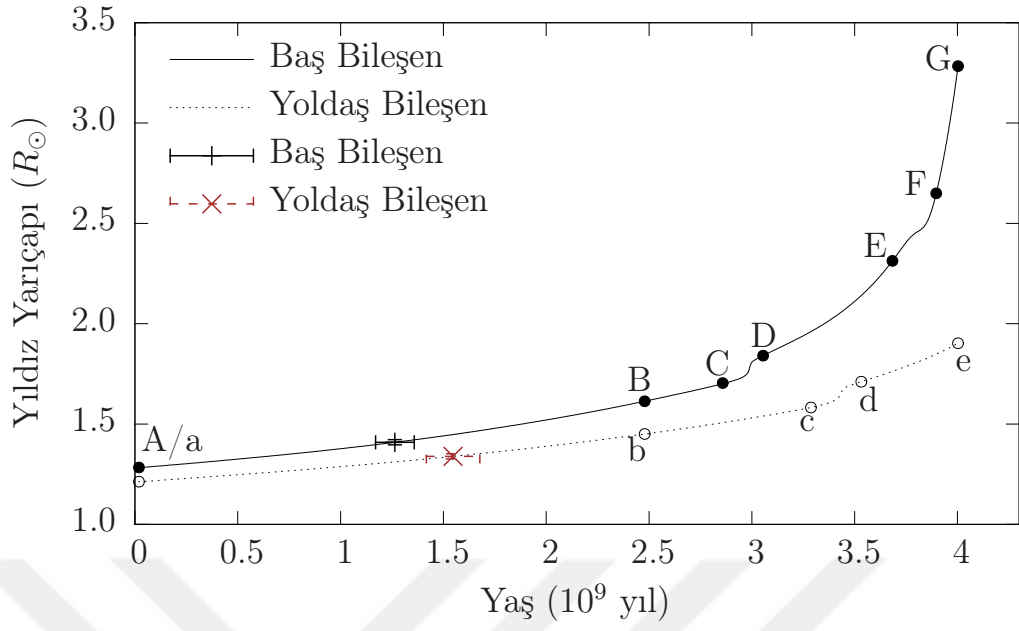
Çizelge 4.27. V455 Aur'un her bir evrim basamağının zaman adımlarıyla vurgulanan detaylı çift yıldız evrim analizi

Harf	Evrin basamağı	Yaş (Myıl)	Dönem (days)	Basıklık	Baş bileşen			Yoldaş bileşen			
					$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)	$\log T_{\text{eff}}$ (K)	$\log L$ ($L_{\odot}$)	Yarıçap ($R_{\odot}$)	
Baş Bileşen	A	Anakola giriş	0	4.195	0.396	3.816	0.434	1.283	3.805	0.343	1.213
	B	Yörüngein çemberleşmesi	2479	2.982	0	3.800	0.569	1.613	3.800	0.479	1.450
	C	Çekirdek büzülmesi	2859	2.899	0	3.793	0.587	1.704	3.795	0.492	1.507
	D	Anakoldan çıkış	3055	2.849	0	3.803	0.696	1.841	3.792	0.497	1.539
	E	İnce kabuk yanması	3684	2.543	0	3.772	0.770	2.313	3.794	0.621	1.762
	F	Devler koluna giriş	3897	2.315	0	3.711	0.646	2.650	3.789	0.643	1.848
	G	Kütle aktarımının başlangıcı	4002	2.064	0	3.694	0.764	3.284	3.786	0.657	1.903
Yoldaş Bileşen	a	Anakola giriş	0	4.195	0.396	3.816	0.434	1.283	3.805	0.343	1.213
	b	Yörüngein çemberleşmesi	2479	2.982	0	3.800	0.569	1.613	3.800	0.479	1.450
	c	Çekirdek büzülmesi	3287	2.766	0	3.795	0.720	1.961	3.789	0.510	1.582
	d	Anakoldan çıkış	3533	2.647	0	3.785	0.755	2.141	3.797	0.609	1.711
	e	Kütle aktarımının başlangıcı	4002	2.064	0	3.694	0.764	3.284	3.786	0.657	1.903

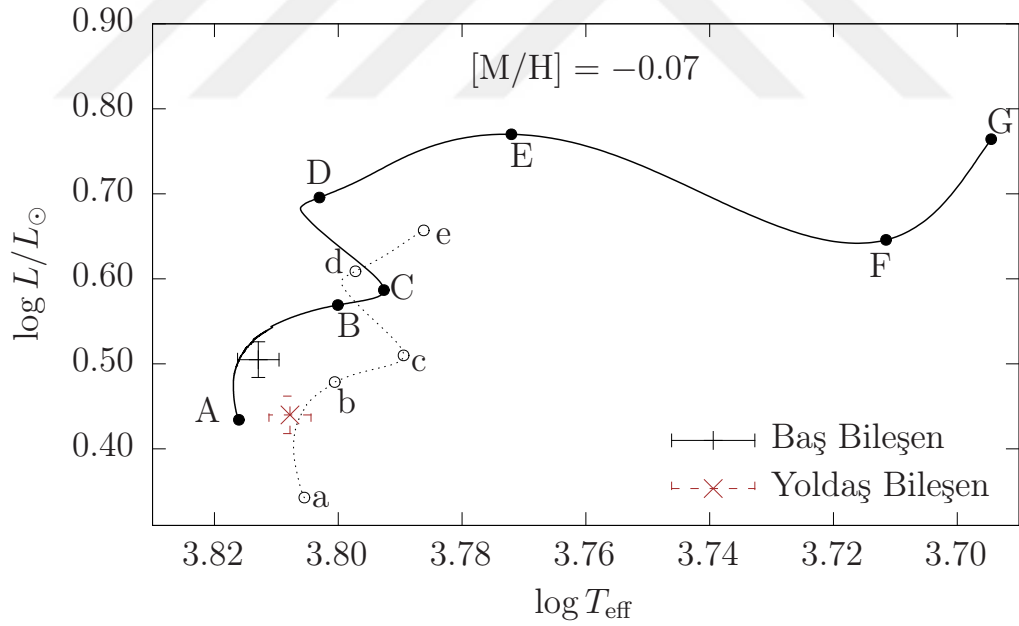
Şekil 4.44'te, zamana karşı basıklık ve yörünge döneminin değişimi; şekil 4.45'te, zamana karşı V455 Aur'un bileşenlerinin yarıçap değişimleri ve şekil 4.46'da evrim basamakları HR diyagramı üzerindeki konumları verilmiştir. Şekil 4.44 ve 4.45'den görülebileceği üzere, AN Cam ve RS Ari'den farklı olarak V455 Aur kısa yörünge dönemine sahip bir sistem olduğundan manyetik frenleme etkisi ve dolayısıyla da yörünge açısal momentumundaki kayıp, sistemin yörünge dönemini küçültmekte ancak daha çok sistemin yörüngesinin çemberleşmesine etki etmektedir.



Şekil 4.44. V455 Aur'un basıklık ve yörünge döneminin zamana bağlı olarak her bir evrim basamağındaki değişimi



Şekil 4.45. V455 Aur sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarındaki yarıçap değişimi



Şekil 4.46. V455 Aur sistemindeki baş ve yoldaş bileşenlerin farklı evrim aşamalarında HR diyagramı üzerindeki konumları

4.6.4. Başlangıç parametreleri belirlenecek sistemlerin evrim analizi

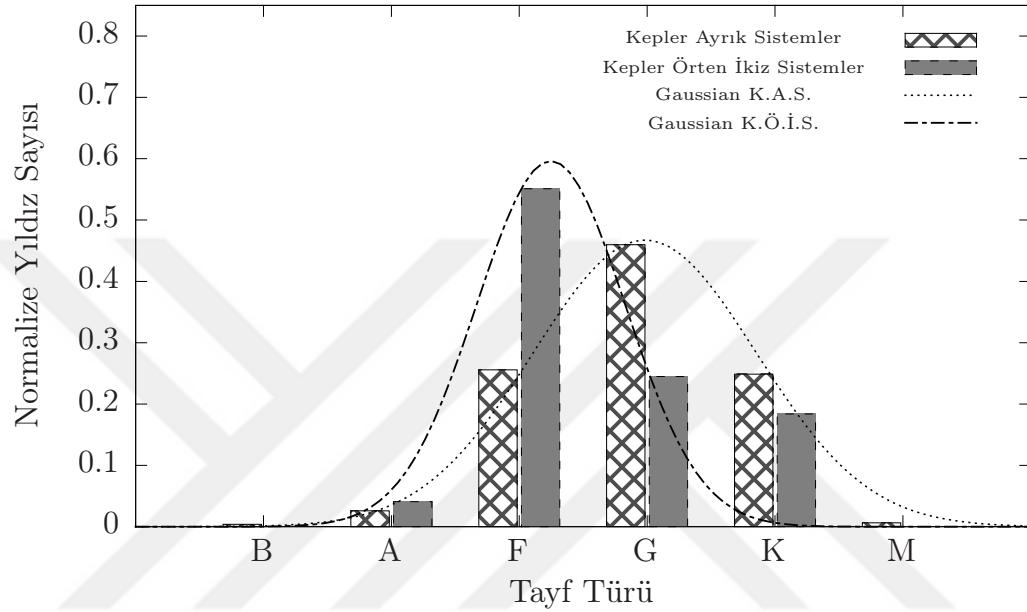
Bu tez çalışmasının bir parçası olarak, Eker vd. (2018)'nin kataloğundan seçilen astrofizik parametreleri iyi belirlenmiş örten ikiz çift yıldız sistemlerin MESA kodu kullanarak, sistemlerin oluştuğu andaki yörünge parametreleri elde edildi. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.28'de verilmiştir. Yıldız ile işaretlenmiş olan sistemlerde herhangi bir metal bolluğu analizi yapılmadığı için evrim hesaplarında Güneş metal bolluğu kullanılmıştır. Çizelge 4.28'in son iki sütunundaki yörünge dönemi ve basıklık değerleri, sistemlerin günümüzdeki yörünge parametrelerini; üçüncü ve dördüncü sütunundaki değerler her bir sistemin anakola girdikleri zamanki yörünge parametrelerini belirtmektedir.

Çizelge 4.28. Başlangıç yörünge parametreleri çift yıldız evrimi ile elde edilecek sistemler ve sonuçları

İsim	Kütle Oranı	$P_{baş}$	$e_{baş}$	[M/H]	M_1	M_2	$P_{şimdi}$	$e_{şimdi}$
AG Ari	0.995	1.9805	0.0940	-0.700	2.160	2.150	1.963110	0.091
β Aur	0.964	4.0402	0	-0.125	2.376	2.291	3.960047	0
BF Dra	0.972	12.1930	0.4390	-0.170	1.414	1.375	11.211000	0.387
BS Dra	0.986	3.4546	0	-0.500	1.294	1.276	3.364015	0
CO And	0.981	3.8913	0	-0.090	1.289	1.264	3.655336	0
CV Vel	0.984	6.8935	0	0	6.066	5.972	6.889494	0
DM Vir	0.996	4.7780	0	0.120	1.454	1.448	4.669434	0
EP Cru	0.962	11.0846	0.1870	0.030	5.020	4.830	11.077470	0.187
η Mus*	0.997	2.3978	0	0	3.300	3.290	2.396316	0
EW Ori	0.957	6.7277	0.0850	0.050	1.173	1.123	6.936843	0.076
FM Leo	0.976	6.7766	0	-0.046	1.318	1.287	6.728606	0
GX Gem	0.986	4.2699	0	-0.450	1.488	1.467	4.037936	0
HD 132553	1.000	6.6041	0	0.020	1.769	1.766	5.976930	0
HS Hya	0.971	1.6477	0	-0.120	1.255	1.219	1.568041	0
IT Cas*	1.000	6.2196	0.5165	0	1.330	1.328	3.896672	0.085
KIC 4247791*	0.969	4.1234	0.0170	0	2.020	1.960	4.100871	0.006
LV Her	0.981	18.6326	0.6160	0.080	1.193	1.170	18.435950	0.613
MU Cas	0.981	9.6713	0.1930	0.097	4.660	4.570	9.652929	0.193
PV Cas*	0.982	1.8633	0.0350	0	2.810	2.760	1.750467	0.032
PV Pup	0.993	1.7386	0.0500	0	1.565	1.554	1.660728	0.010
RT Crb*	0.988	13.9100	0.3850	0	1.359	1.343	5.117143	0.001
UW LMi*	0.983	4.0070	0	0	1.156	1.136	3.874307	0
UX Men	0.968	4.2546	0.0100	-0.040	1.238	1.198	4.181100	0.003
V364 Lac	0.984	8.9948	0.4410	0	2.333	2.296	7.351546	0.287
V392 Car*	0.975	3.2099	0	0	1.900	1.853	3.174990	0
V453 Cep	0.961	1.3755	0	0	2.580	2.480	1.184725	0
V459 Cas	0.970	8.4707	0.0240	-0.070	2.020	1.960	8.458254	0.024
V505 Per	0.986	4.2312	0	-0.120	1.270	1.251	4.222020	0
V541 Cyg	0.968	15.3454	0.4791	-0.180	2.335	2.260	15.337910	0.479
V785 Cep	0.980	6.5791	0	-0.100	1.103	1.081	6.504297	0
V799 Cas	0.964	7.7695	0.4345	-0.400	3.080	2.970	7.703004	0.4345
V2080 Cyg	0.980	5.079	0	-0.070	1.197	1.173	4.933566	0
WW Cam	0.976	2.4126	0.0094	0	1.920	1.873	2.274363	0.009
WZ Oph	0.994	4.2602	0	-0.270	1.227	1.220	4.183507	0

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında KEBC kullanılarak örten ikiz çift yıldız sistemi olduğu belirlenmiş tayf türü tespit edilmiş 49 sistem ile KEBC'deki ayırık sistemlerin tayf türü dağılımları, normalize edilmiş olarak Şekil 5.1'de gösterilmiştir. KEBC'deki ayırık çift sistemlerin tayf türleri Pinsonneault vd. (2012)'deki sıcaklıklara göre belirlenmiştir.

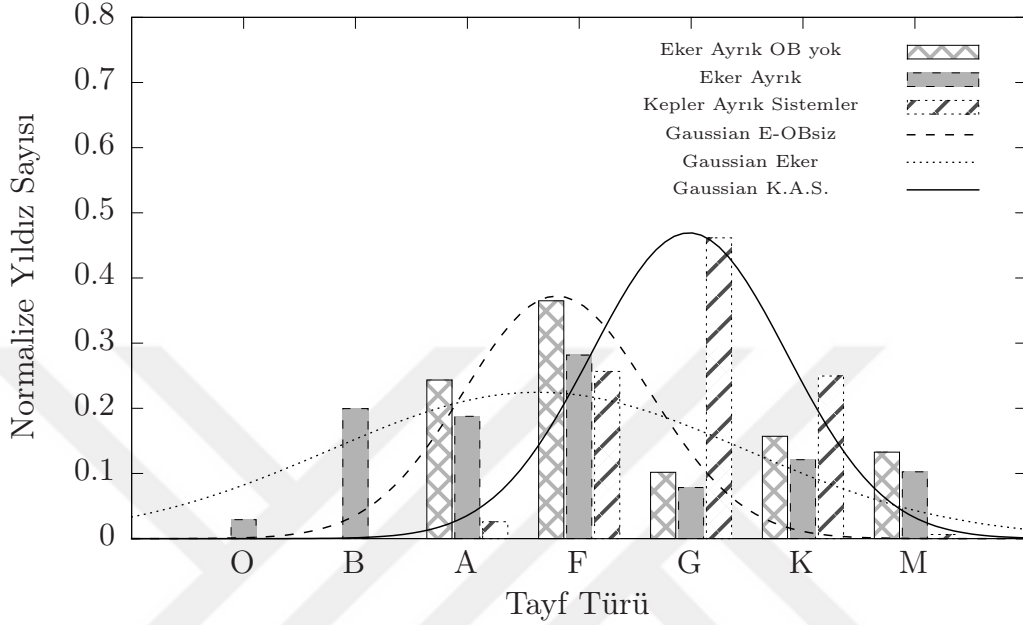


Şekil 5.1. Bu çalışmada belirlenen örten ikiz çift yıldız sistemlerin tayf türü dağılımının KEBC'de bulunan ayırık çift yıldızların sistemlerin tayf türü dağılımı ile karşılaştırılması

Şekil 5.1'den de görüleceği üzere, *Kepler* uzay teleskobunun verileri kullanılarak oluşturulan KEBC'den belirlenen örten ikiz çift yıldız sistemleri, F tayf türünde baskın olacak şekilde bir dağılım göstermektedir. Buna karşılık ayırık sistemlerin G tayf türünde tepe yaptığı göze çarpmaktadır.

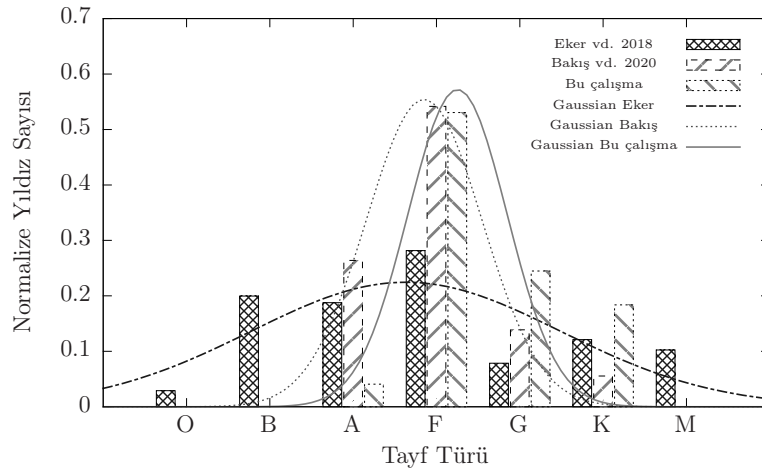
Bir başka önemli detay da *Kepler* uzay teleskobu geri tayf türünden yıldızları gözlediği için, gözlemlerinde bir seçim etkisinin bulunmasıdır. Bu seçim etkisini ortadan kaldırmak için tayf türünden bağımsız olarak bütün tayf türlerinde örten ikiz çift yıldız sistemleri içeren Eker vd. (2018) çalışmasındaki sistemlerden, ön tayf türü olanları çıkarılarak bir Gaussian fiti yapılarak seçim etkisinin tayf türü zirvesinde ne kadarlık bir fark yaptığı incelendi. Analiz sonuçlarına göre Eker vd. (2018)'de bulunan bütün tayf türlerinden örten ikiz çift yıldız sistemler ile O ve B tayf türü çıkarılan örten ikiz çift yıldız sistemleri arasında sadece iki (2) alt-tayf türü farkı vardır. Bundan dolayı benzer miktarda alt-tayf türünde kayma KEBC'den belirlenen örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türlerinde görülebilir ancak bu kayma dahil edilse bile KEBC'den belirlenen

ikizlerin F tayf türünde baskın olduğu gerçeğini değiştirmez. Şekil 5.2’de Eker vd. (2018) çalışmasından seçilen örten ikiz çift sistemlerin O ve B tayf türleri dahil edilmiş ve çıkarılmış olarak iki ayrı örnek içeren analizi ve KEBC’de bulunan ayırık sistemlerin tayf türü dağılımı verilmiştir.



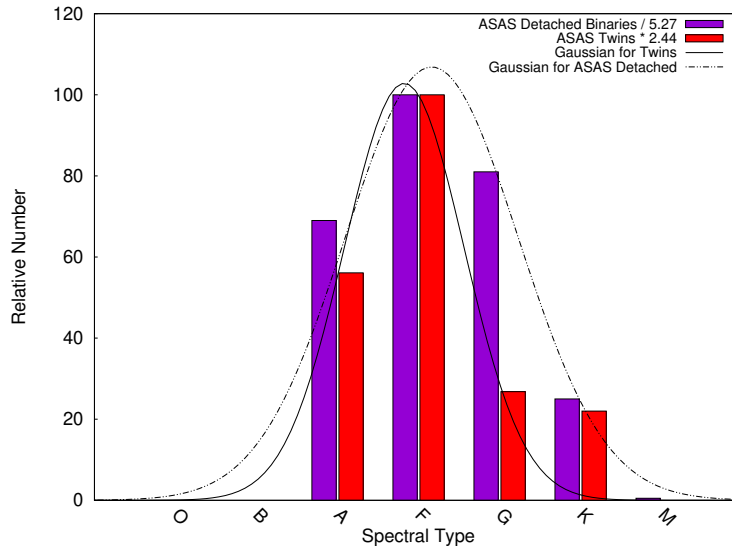
Şekil 5.2. Eker vd. (2018)’deki O-B tayf türü çıkarılmış ve dahil edilmiş iki ayrı örnek ile KEBC’deki ayırık sistemlerin tayf türü dağılımı

Literatürde örten ikiz çift yıldızların tespitine ve tayf türlerinin belirlenmesine dair bir başka çalışma Bakış vd. (2020) tarafından yapılmıştır. The All Sky Automated Survey (ASAS) verilerinin kullanarak dik açıklığı 20°’den küçük olan sistemleri analiz eden Bakış vd. (2020), 72 tane sistemi örten bir ikiz çift yıldız sistemi olarak belirlediler ve bunların tayf türlerini hem tayfsal hem de fotometrik veriler sayesinde hesapladılar. Şekil 5.3’te literatürde bilinen bütün örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımı verilmiştir.



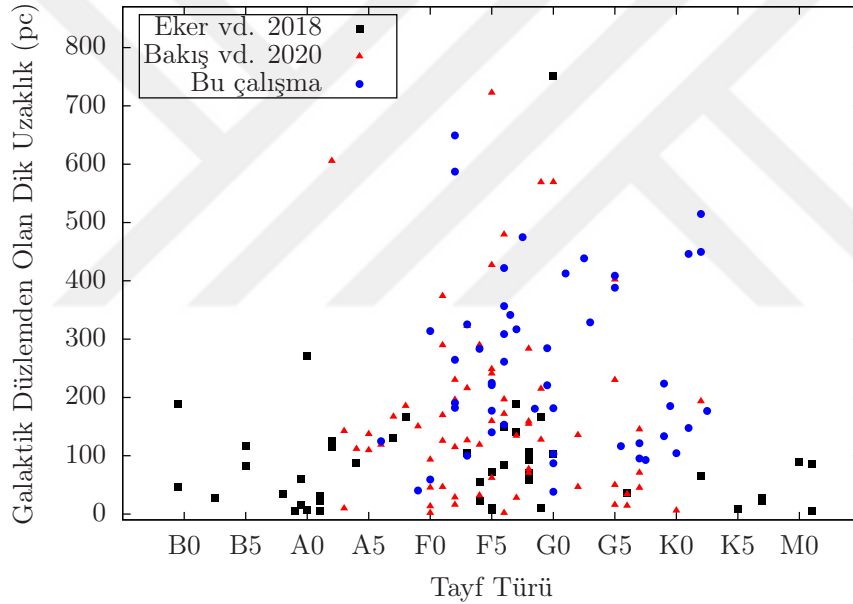
Şekil 5.3. Literatürde bilinen örten ikiz çift yıldız sistemlerin tayf türü dağılımı

Şekil 5.3'ten de görülebileceği üzere, örten ikiz çift yıldız sistemleri F tayf türünde baskın olan bir dağılım göstermektedir. Bakış vd. (2020), Eker vd. (2018) kataloğundaki örten çift yıldızların baş bileşenleri ile yoldaş bileşenlerinin tayf türleri dağılımını, örten ikiz çift yıldızların tayf türü ile dağılımını inceleyerek, örten ikiz çift sistemlerinin tayf türü dağılımının örten çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımından farklı olmadığını belirtmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen *Kepler* teleskobuyla belirlenmiş örten ikiz çift yıldız sistemlerin tayf dağılımı da bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 5.4'te Bakış vd. (2020)'nin elde ettiği ayırık örten çift sistemlerin tayf türü dağılımının, örten ikiz çift sistemlerin tayf türü dağılımı ile karşılaştırılması gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Literatürde bilinen örten ayırık çift yıldız sistemlerin normalize edilmiş tayf türü dağılımı ile örten ikiz çift yıldız sistemlerin normalize edilmiş tayf türü dağılımının karşılaştırılması (Bakış vd. 2020)

Şekil 5.5'te tayf türü belirlenmiş örten ikiz çift yıldız sistemlerin Galaktik düzlemde dik uzaklıkları gösterilmiştir. Şekil 5.5'den de görülebileceği üzere ön tayf türüne sahip ikiz sistemler Galaktik düzleme çok yakın konumlanmışlardır. Ön tayf türü yıldızların yıldız oluşum bölgelerinde (oymak) oluştuğu ve yıldız oluşum bölgelerinin Galaksimizin sarmal kollarında oluştuğu düşünüldüğünde bu durum beklenen bir sonuçtur. Geri tayf (F, G ve K) türüne sahip örten ikizler ise Galaktik düzlemde 900 pc'ye kadar olan uzaklıklarda bulunmaktadır. En geri tayf türüne sahip ($>K5$) örten ikizler ise tıpkı ön tayf türüne sahip örten ikizler civarında bulunmaktadır. Literatürde M tayf türüne sahip yıldızlar ile ilgili çalışmalara bakıldığında M tayf türü yıldızların Galaksi içindeki farklı uzaklıklarda bulunduğu görülebilmektedir. Bundan dolayı M tayf türüne sahip örten ikiz çift yıldız sistemlerin sadece Galaktik düzleme yakın konumda bulunmaları ilgi çekicidir. Bunun bir nedeni olarak bilinen M tayf türü örten ikiz çift yıldız sistemlerinin sayısının az olması yani bir nevi seçim etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 5.5. Literatürde bilinen örten ikiz çift yıldız sistemlerin Galaktik düzlemde dik uzaklıkları

V396 Gem (EPIC 202072991), KEBC'den seçilen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinden örnek seçilen bir sistemdir. UBT60 teleskobu ile alınan tayfsal verilerin indirgenmesi sonucu olarak sistemin tayfsal yörüngesi elde edilmiş ve *Kepler* fotometrik verileri ile ortak çözüm yapılarak sistemin mutlak parametreleri hesaplanmış ve sistemin evrim analizi gerçekleştirilmiştir. V396 Gem'in mutlak parametreleri literatürde ilk defa bu tez çalışmasının bir parçası olarak bulunmuştur. Analizlere göre V396 Gem'in bileşenleri, çekirdek büzülmesi aşamasındadır. Çekirdek büzülmesi olayı temel olarak, kütlesi $1.2 M_{\odot}$ 'den büyük olan yıldızların sahip olduğu konvektif

çekirdekdeki hidrojen yanmasının çok hızlı bir şekilde gerçekleşmesi sonucu enerji üretiminin verimsiz olması (kendini destekleyememesi) dolayısıyla nükleer reaksiyonların devamı için gerekli olan sıcaklık ve basıncın artması için çekideğin küçülmesidir. Evrimsel anlamda özel bir noktada bulunan V396 Gem'in yüksek çözünürlüklü tayfları alınarak detaylı atmosfer özellikleri belirlenmesi, sistemin bileşenleri hakkında yeni bilgiler edinilmesini sağlayacaktır. V396 Gem her ne kadar özel bir geçiş konumunda olarak analiz edilse de, hesaplanan mutlak parametreleri içerisindeki en büyük belirsizlik bileşenlerin yüzey çekim ivmelerinde görülmüştür. Bundan dolayı sistemin yaşı, bu değer üzerinden hesaplanmıştır. V396 Gem 1.168 ± 0.149 milyar yaşındadır.

Tez kapsamında mutlak parametrelerinin belirlenmesi ve çift yıldız evrim analizi yapılarak başlangıç yörünge parametreleri belirlenmesi için, SB9'dan seçilen örten ikiz çift yıldız sistemlerinden biri olan AN Cam'ın mutlak parametreleri belirlenmiştir. AN Cam'ın mutlak parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili olarak literatürdeki en kapsamlı çalışma Southworth (2021a) tarafından yapılmıştır. Southworth (2021a), bu tez çalışmasında da kullanıldığı gibi sistemin tayfsal yörünge parametrelerini elde edebilmek için Imbert (1987) tarafından ölçülen dikine hız hızları kullanmış. Daha sonra da TESS fotometrik verileri ile ortam çözüm yaparak AN Cam'ın bileşenlerinin kütle, yarıçap ve yüzey çekim ivmesi değerlerini hesaplamıştır. Bileşenlerin sıcaklıklarını belirlemek için ise *Gaia* eDR3'te verilen optik ve kızılötesi renkleri kullanmıştır. Bu tez çalışmasında AN Cam'ın bileşenlerinin sıcaklıkları ve sistemin metal bolluğu ise UBT60 teleskobu ile alınan tayf verileri kullanılarak, yıldız atmosfer modelleme yöntemiyle elde edilmiştir. Fotometrik veriler ile elde edilen kalibrasyonlar sonucu elde edilen sıcaklıklar iyi bir yaklaşım sunsa da tayfsal veriler ile elde edilen sıcaklıklar kadar güvenilir ve hassas değildir. Southworth (2021a) sistemin metal bolluğunu, önceden belirlenmiş evrim yolları olan Padova-Trieste (PARSEC) evrim yollarına göre belirlerken bu tez çalışmasında yıldız atmosferi modelleme yöntemi tercih edilmiştir. AN Cam'a ait mutlak parametreler ile Southworth (2021a)'nın elde ettiği mutlak parametrelerin karşılaştırılması Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1'den de görülebileceği üzere, hesaplanan temel parametreler uyum içerisinde. Yalnız, AN Cam'ın sıcaklık ve metal bolluğu bu tez çalışmasında tayfsal analiz ile belirlendiğinden daha güvenilirdir.

Çizelge 5.1. Bu tez çalışmasında hesaplanan AN Cam’ın mutlak parametreleri ile Southworth (2021a)’nın hesapladığı mutlak parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler	Bu çalışma		Southworth (2021a)	
	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ($M_{\odot}$)	1.406 ± 0.024	1.383 ± 0.025	1.402 ± 0.025	1.380 ± 0.021
Yarıçap ($R_{\odot}$)	2.667 ± 0.059	2.206 ± 0.058	2.646 ± 0.014	2.159 ± 0.012
Yarı-büyük eksen ($R_{\odot}$)	45.065 ± 0.252		45.05 ± 0.24	
$\log g$ (cgs)	3.734 ± 0.055	3.892 ± 0.059	3.7400 ± 0.0037	3.9095 ± 0.0030
T_{eff} (K)	5900 ± 100	6050 ± 100	5750 ± 150	6050 ± 150
$\log L$ ($L_{\odot}$)	0.891 ± 0.034	0.787 ± 0.036	0.839 ± 0.046	0.750 ± 0.043
[M/H] (dex)	0.00 ± 0.12		0.00 ± 0.07	
Yaş (Milyar yıl)	3.00 ± 0.15		3.3	

RS Ari’nin mutlak parametreleri ilk defa bu tez çalışmasıyla belirlenmiştir. Analize göre RS Ari’nin baş bileşeni devler kolunda bulunurken, yoldaş bileşeni TAMS’ı geçmiş ve helyum çekirdeğinin etrafındaki kalın hidrojen kabuğunu yakma aşamasındadır. Literatürde TAMS’ı geçmiş ve bileşenlerinin mutlak parametreleri belirlenmiş olan örten çift yıldız sistemi az sayıda bulunduğundan RS Ari’nin analiz sonuçları, dev yıldızların evrimlerini daha iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır.

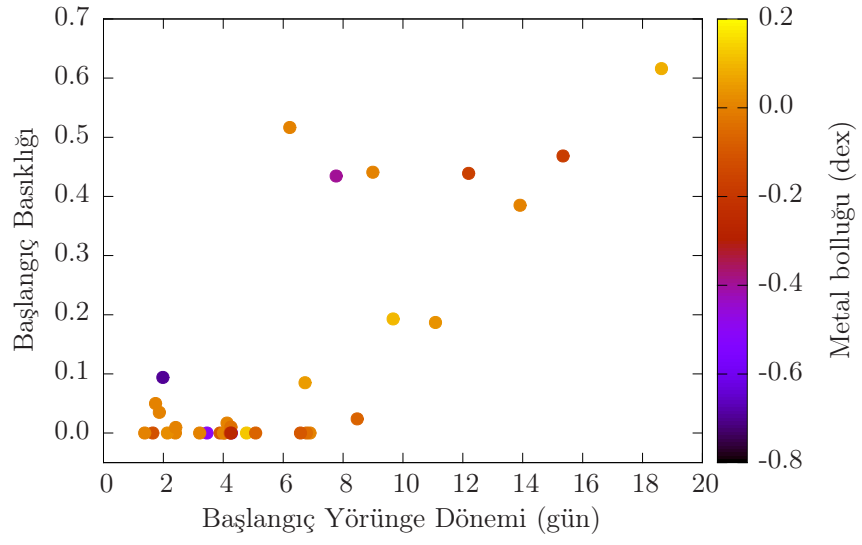
V455 Aur’un mutlak parametrelerinin belirlenmesi açısından literatürdeki en detaylı çalışma Southworth (2021b) tarafından yapılmıştır. Southworth (2021b), Griffin (2013) çalışmasındaki dikine hızlar ile TESS fotometrik verilerinin ortak çözümünü yaparak V455 Aur’un bileşenlerinin kütle, yarıçap ve yüzey çekim ivmesini hesaplamıştır. Bileşenlerinin sıcaklıklarını *Gaia* eDR3’te verilen renklere göre hesaplamıştır. V455 Aur sisteminde üçüncü bir cisim bulunmaktadır. Southworth (2021b) üçüncü cismin kütle, yarıçap ve sıcaklık değerlerini, hesaplamış olduğu baş bileşen ve yoldaş bileşen mutlak parametrelerini kullanarak oluşturduğu sentetik tayfların TESS’in etkin olduğu dalgaboyundaki ışık katkı oranlarına en uygun çözümü veren üçüncü bileşenin tayfına göre hesaplamıştır. Bu tez çalışmasındaki odak noktası üçlü sistemin içinde bulunan örten ikiz çift yıldız sistemi olduğu için üçüncü cismin sadece ışık katkısı bulunmuştur. Çünkü sistemdeki üçüncü cisim, ışık eğrisindeki tutulum derinliklerini etkileyeceğinden, üçüncü cismin ışık katkısı ihmal edilirse baş bileşen ve yoldaş bileşenin sıcaklık ve yarıçap oranlarının yanlış hesaplanmasına neden olur. Southworth (2021b) V455 Aur sisteminin metal bolluğunu, PARSEC evrim yollarını kullanarak hesaplamıştır. Bu tez çalışmasında V455 Aur’un bileşenlerinin sıcaklıkları ve sistemin metal bolluğu UBT60 teleskobu kullanılarak elde edilen tayf verileri kullanılarak, yıldız atmosfer modelleme yöntemiyle elde edilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen V455 Aur’un baş bileşeni ve yoldaş bileşenine ait mutlak

parametreler ile Southworth (2021b)'nin elde ettiği mutlak parametrelerin karşılaştırılması Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelge 5.2'den de görülebileceği üzere, bu çalışma ile hesaplanan temel parametreler literatür ile uyum içeresindedir. Bu çalışmada hesaplanan sıcaklık ve metal bolluğu değerleri tayfsal analiz ile gerçekleştirildiğinden daha duyarlıdır.

Çizelge 5.2. Bu tez çalışmasında hesaplanan V455 Aur'un mutlak parametreleri ile Southworth (2021b)'nin hesapladığı mutlak parametrelerin karşılaştırılması

Parametreler	Bu çalışma		Southworth (2021b)	
	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ($M_{\odot}$)	1.287 ± 0.003	1.231 ± 0.003	1.2887 ± 0.0063	1.2316 ± 0.0050
Yarıçap ($R_{\odot}$)	1.409 ± 0.013	1.339 ± 0.013	1.389 ± 0.011	1.318 ± 0.014
Yarı-büyük eksen ($R_{\odot}$)	12.286 ± 0.007		12.295 ± 0.017	
$\log g$ (cgs)	4.250 ± 0.009	4.275 ± 0.010	4.2626 ± 0.0070	4.2887 ± 0.0089
T_{eff} (K)	6500 ± 50	6424 ± 50	6500 ± 200	6400 ± 200
$\log L$ ($L_{\odot}$)	0.505 ± 0.021	0.440 ± 0.022	0.492 ± 0.054	0.419 ± 0.055
$l_3/l_{\text{topl}}m$	0.032 ± 0.004		0.028 ± 0.002	
[M/H] (dex)	-0.07 ± 0.07		-0.07 ± 0.07	
Yaş (Milyar yıl)	1.37 ± 0.25		1.8 ± 0.2	

Bu tez çalışmasının bir parçası olarak, çift yıldız evrim analizi yapılarak başlangıç yörünge parametreleri belirlenecek olan ve Eker vd. (2018)'den seçilen sistemlerin analiz sonuçları Çizelge 4.28'te verilmiştir. Elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Şekil 5.6'dan da görülebileceği üzere, yörünge dönemi büyük çift yıldız sistemlerde görülen basıklığın, ikiz çift yıldızlarda da görülmesidir. Bu durum, bir anlamda örten ikiz çift yıldız sistemlerin, örten çift yıldız sistemlerinin oluşumlarından pek farklı olmadığını da doğrulamaktadır. Bunun sebeblerinden biri, kısa dönemli sistemlerde senkronizasyonun daha hızlı olması olabilir.



şekil 5.6. Eker vd. (2018)'den seçilen örten ikiz çift yıldız sistemlerinin başlangıç yörünge parametreleri

6.SONUÇLAR

Çift yıldız sistemlerinin tek yıldızlara göre gözlemsel avantajları vardır. Özellikle ayırık örten çift çizgili sistemler, bileşen yıldızların parametrelerinin çok duyarlı bir şekilde elde edilmesine olanak sağlarlar. Gelişen teknoloji ile beraber son yıllarda astrofizik çalışmalarının odağı öte gezegen keşiflerine doğru kaymış olsa da öte gezegen keşfi için kullanılan teknikler, hali hazırda örten çift yıldız sistemlerinin analizi için kullanıldıklarından öte gezegen keşfine özel yapılan uzaya konumlandırılmış teleskoplar, örten çift yıldızlar için de önemli kaynak durumundadırlar (Prša 2011, 2022). Bu tez çalışmasında da temelde öte gezegen keşfi için planlanmış *Kepler* uzay teleskobunun topladığı verilerin analizinden oluşturulan KEBC'den yararlanılmıştır.

Örten ikiz çift yıldız sistemleri hakkındaki çalışmalar beş yıl öncesine kadar sadece analiz sonucu mutlak parametresi belirlenmiş sistemler üzerinden yapılmıştı. Bakış vd. (2020) çalışması ile bu algı değişti ve yeni örten ikiz çift yıldız sistemlerinin keşfi, sürekli olarak gözlem yapan robotik teleskopların elde ettiği fotometrik verilerin ışık eğrisi analizlerinin yapılması ile mümkün oldu. Bakış vd. (2020) çalışmasında ASAS veritabanını kullanarak dik açıklığı 20°'den küçük olan 72 ikiz çift yıldız sistemi keşfetti ve tayf türü dağılımları inceledi. Bu tez çalışmasında da bu çalışmanın bir devamı olarak *Kepler* uzay teleskobunun gözlediği Kuğu ve Çalgı takımı yıldızları ile tutulum (ekliptik) düzleminde yer alan, 43 çember yörüngeli ve 15 basık yörüngeli olmak üzere toplamda 58 örten ikiz çift yıldız sistemi tespit edildi. 43 çember yörüngeli örten ikiz çift sistemin T100 ve UBT60 teleskopları ile fotometrik yöntemle ikiz sistemin tayf türleri belirlendi ve belirlenen tayf türleri kullanılarak her sistemin fotometrik uzaklıkları belirlendi. Tayf türlerinin doğruluğunu test etmek amacıyla *Gaia* uydusunun belirlediği uzaklıklar ile elde edilen fotometrik uzaklıklar karşılaştırıldı. Karşılaştırma sonucunda 43 sistemden 34 sisteminin fotometrik uzaklıklarının belirlenen tayf türüne göre *Gaia* uzaklıkları ile uyumlu olduğu gözlemlendi. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türlerini belirlemek için fotometrik gözlemler yapılmadı. Basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türlerinin belirlenmesi için; *Kepler* uydusunun gözlediği gök cisimlerini, SDSS filtrelerindeki parlaklık değerlerini kullanarak bir sıcaklık kalibrasyonu yapan Pinsonneault vd. (2012)'nin belirlediği sıcaklık değerleri kullanıldı. Elde edilen sonuçlara göre *Kepler* uydusunun gözlediği örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımı, F tayf türünde bir tepe yapacak şekilde, geç tayf türlerinde baskın olan bir dağılımdır (Şekil 5.3). Bu tayf türü dağılımı, daha önceki örten ikiz çift sistemlerin tayf türü dağılımları ile uyumludur. Örten ayırık çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımı ile örten ikiz çift yıldız sistemlerinin tayf türü dağılımını karşılaştıran Bakış vd. (2020), dağılımların benzer bir yapı gösterdiğini bu anlamda örten çift yıldız sistemleri ile örten ikiz çift sistemlerin oluşum senaryosu anlamında bir fark göstermediğini belirtmiştir. Bu çalışma ile elde edilen tayf türü

dağılımı sonucu da bu bulguyu destekler niteliktedir. Çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistemleri arasından V396 Gem (EPIC 20207291) sistemi, mutlak parametrelerinin belirlenmesi açısından bir örnek çalışma olarak seçilmiş ve UBT60 teleskobu kullanılarak tayfsal gözlemleri yapılmıştır. Elde edilen tayf gözlemleri analiz edilerek sistemin dikine hız eğriler elde edilmiş, dikine hız eğrileri ile *Kepler* fotometrik verilerinin ortak çözülmesi ile sistemin mutlak parametreleri belirlenmiş, elde edilen tayflara atmosferik modelleme ile üretilmiş sentetik tayfların fit edilmesiyle de her iki bileşenin sıcaklıkları ile sistemin metal bolluğu belirlenmiştir. MESA kodu ile evrim yolları hesaplanarak, sistemin evrimi incelenmiştir. Evrim analizinden sistemdeki bileşen yıldızların hangi evrimsel aşamada olduğu ve sistemdeki bileşen yıldızların yaşları elde edilmiştir.

Tez çalışmasının bir parçası olarak SB9'dan seçilen üç örten ikiz çift yıldız sistemin (AN Cam, RS Ari ve V455 Aur) literatürdeki dikine hız verileri, TESS fotometrik verileri ve UBT60 ile alınan tayfları kullanılarak sistemlerin mutlak parametreleri, bileşenlerin sıcaklıkları ve metal bollukları belirlenmiştir. MESA evrim kodu kullanılarak, sistemlerin anakola girdikleri andaki başlangıç yörünge parametreleri belirlenmiştir. Bu başlangıç yörünge parametreleri kullanılarak sistemlerin çift yıldız evrimleri kütle aktarımına kadar hesaplanmış ve sistemlerdeki bileşenlerin her bir evrim adımındaki önemli parametreleri zaman çizelgesine göre belirlenmiştir.

Tez çalışmasının son kısmında Eker vd. (2018) çalışmasından seçilen mutlak parametreleri iyi belirlenmiş 34 adet örten ikiz çift yıldız sistemin MESA evrim kodu ile evrim analizi gerçekleştirilerek sistemi oluşturan bileşenler anakola girdikleri andaki yörünge parametreleri elde edilmiştir. Genellikle uzun yörünge dönemine sahip çift yıldızlarda görülen yörünge basıklığının, ikiz çift yıldızlarda da geçerli olduğu gösterilmiştir. Sistemlerin evrimleri, yörünge açısal momentumu değişimi açısından değerlendirilecek olursa kütlesi $1.5 M_{\odot}$ 'dan düşük kütleler için manyetik frenleme baskın olurken, kütlesi $1.5 M_{\odot}$ 'dan büyük sistemlerde ise manyetik frenlemenin etkisinin bitmesi ile diğer etkenlerden (kütle çekimsel ısıma vb.) kaynaklanan yörünge açısal momentumun azalması baskın olmaktadır. Bu da Çavuşoğlu (2018) doktora tezindeki elde ettiği bileşenleri 0-4 ile $1.5 M_{\odot}$ kütleleri arasında değişen ayrık çift yıldızların yörünge açısal momentum değişimindeki asıl katkının manyetik aktiviteden kaynaklandığı; kütle çekimsel ısımadan kaynaklı açısal momentum kayıplarının, manyetik frenlemeye göre etkisinin %0.1 ile %0.001 arasında olduğu sonuçlarını doğrulamaktadır.

Bu doktora çalışmasında her ne kadar örten ikiz çift yıldız sistemlerin oluşum açısından, diğer çift yıldız sistemlerden farklı olmadığı gösterilmiş olsa da hala ikizliğe sebep olan başlıca etmenler bilinmemektedir. Bundan dolayı daha fazla sayıda örten ikiz çift yıldız sistemlerinin analizinin -özellikle metal bolluğu belirlenmesi-

gerçekleştirilmesi ve başlangıç yörünge şartlarının belirlenmesinin ikiz olma nedenlerinin belirlenmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



7. KAYNAKLAR

- Anonim 1: <http://keplerebs.villanova.edu/> [Son erişim tarihi 12.08.2019]
- Anonim 2: <https://wwwuser.oats.inaf.it/castelli/> [Son erişim tarihi 18.06.2021]
- Baker, R. H. 1910. The spectroscopic binary [beta] Aurigae. *Publications of the Allegheny Observatory of the University of Pittsburgh*, 1, 163-190.
- Bakış, V., Bakış, H., Eker, Z. and Demircan, O. 2007. η Muscae: a young detached binary with two identical components. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 382(2), 609-620.
- Bakış, V., Bakış, H. and Eker, Z. 2013. GSC 4019 3345: An A-Type Twin Binary. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 30, e026.
- Bakış, V., Yücel, G. and Bakış, H. 2018. V1719 Aql: A solar-type twin binary. *New Astronomy*, 65, 16-20.
- Bakış, V., Eker, Z., Sarı, O., Yücel, G. and Sonbaş, E. 2020. ASAS census of twins. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 496(3), 2605-2612.
- Baranne, A., Mayor, M. and Poncet, J. L. 1979. Coravel—a new tool for radial velocity measurements. *Vistas in Astronomy*, 23, 279-316.
- Bate, M. R. 1998. Collapse of a molecular cloud core to stellar densities: the first three-dimensional calculations. *The Astrophysical Journal*, 508(1), L95.
- Bate, M. R. 2000. Predicting the properties of binary stellar systems: the evolution of accreting protobinary systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 314, 33-53.
- Batten, A. H. 1967. Sixth Catalogue of The Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria*, 13, 119-251.
- Batten, A. H., Fletcher, J. M. and Mann, P. J. 1978. Seventh Catalogue of The Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria*, 15, 121-295.
- Batten, A. H., Fletcher, J. M. and MacCarthy, D. G. 1989. Catalogue of The Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems: 8: 1989. *Publications of the Dominion Astrophysical Observatory Victoria*, 17, 1.
- Benedict, G. F. et al. 2016. The Solar Neighborhood. XXXVII: The Mass-Luminosity Relation for Main-sequence M Dwarfs. *The Astronomical Journal*, 152(5), 141.

- Bonanos, A. Z. et al. 2004. WR 20a Is an Eclipsing Binary: Accurate Determination of Parameters for an Extremely Massive Wolf-Rayet System. *The Astrophysical Journal Letters*, 611(1), L33.
- Borucki, W. et al. 2008. KEPLER: Search for Earth-Size Planets in the Habitable Zone. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 4(S253), 289-299.
- Borucki, W. J. et al. 2010. Kepler planet-detection mission: introduction and first results. *Science*, 327(5968), 977-980.
- Brancewicz, H. K. and Dworak, T. Z. 1980. A catalogue of parameters for eclipsing binaries. *Acta Astronomica*, 30, 501-524.
- Bulut, S., Hoyman, B., Dervişoğlu, A., Özdarcan, O. and Çakırlı, Ö. 2021. Twin stars as tracers of binary evolution in the Kepler era. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 503(1), 1036-1050.
- Campbell, W. W. and Curtis, H. D. 1905. First Catalogue of Spectroscopic Binaries. *Lick Observatory Bulletin*, 3, 136-146.
- Campbell, W. W. 1910. Second Catalogue of Spectroscopic Binary stars. *Lick Observatory Bulletin*, 6, 17-54.
- Cannon, A. J. 1934. Spectra of Ninety-four Variable Stars. *Harvard College Observatory Bulletin*, 897, 12-12.
- Castelli, F. and Kurucz, R. L. 2004. New grids of ATLAS9 model atmospheres. *arXiv preprint astro-ph/0405087*.
- Çavuşoğlu, F. 2018. Ayırık çift yıldız bileşenleri üzerine atmosfer ve evrim modelleri uygulamaları. Doktora tezi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, 153s.
- David, T. J., Hillenbrand, L. A., Cody, A. M., Carpenter, J. M. and Howard, A. W. 2015. K2 discovery of young eclipsing binaries in upper scorpius: direct mass and radius determinations for the lowest mass stars and initial characterization of an eclipsing brown dwarf binary. *The Astrophysical Journal*, 816(1), 21.
- De Loore, C. W. H. and Doom, C. 1992. Structure and Evolution of Single and Binary Stars. Kluwer Academic Publishers, London, 458s.
- Demircan, O. and Kahraman, G. 1991. Stellar Mass-Luminosity and Mass-Radius Relations. *Astrophysics and Space Science*, 181(2), 313-322.
- Dworetzky, M. M. (1983). A period-finding method for sparse randomly spaced observations or "How long is a piece of string?". *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 203(4), 917-924.

- Duchêne, G. and Kraus, A. 2013. Stellar Multiplicity. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 51, 269-310.
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., Soyduğan, F., Steer, I., Soyduğan, E., Bakış, H., Aliçavuş, F., Aslan, G. and Alpsoy, M. 2018. Interrelated main-sequence mass–luminosity, mass–radius, and mass–effective temperature relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479(4), 5491-5511.
- Eker, Z., Soyduğan, F., Bilir, S., Bakış, V., Aliçavuş, F., Özer, S., Aslan, G., Alpsoy, M. and Köse, Y. 2020. Empirical bolometric correction coefficients for nearby main-sequence stars in the Gaia era. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 496(3), 3887-3905.
- El-Badry, K., Rix, H. W., Tian, H., Duchêne, G. and Moe, M. 2019. Discovery of an equal-mass ‘twin’ binary population reaching 1000+ au separations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 489(4), 5822-5857.
- European Space Agency. 1997. The Hipparcos and Tycho catalogues: astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA Hipparcos Space Astronomy Mission. 11. Hipparcos variability annex: periodic and unsolved variables and spectral types. *ESA Publ. Division*.
- Fitzpatrick, E. L., Massa, D., Gordon, K. D., Bohlin, R. and Clayton, G. C. 2019. An analysis of the shapes of interstellar extinction curves. VII. Milky Way spectrophotometric optical-through-ultraviolet extinction and its R-dependence. *The Astrophysical Journal*, 886(2), 108.
- Fofi, M., Maceroni, C., Maravalle, M. and Paolicchi, P. 1983. Statistics of binary stars. I-Multivariate analysis of spectroscopic binaries. *Astronomy and Astrophysics*, 124, 313-321.
- Gaia collaboration et al. 2016. The Gaia Mission. *Astronomy and Astrophysics*, 595, 36.
- Gaposchkin, S. 1932. Die bedeckungsveränderlichen. *Veröffentlichungen der Universitätssternwarte zu Berlin-Babelsberg*, 9, 1-141
- Gray, R. O. and Corbally, C. J. 1994. The calibration of MK spectral classes using spectral synthesis. 1: The effective temperature calibration of dwarf stars. *The Astronomical Journal*, 107, 742-746.
- Griffin, R. F. 2001. Spectroscopic binary orbits from photoelectric radial velocities. Paper 160: HD 44192, HD 45191, and HD 92823. *The Observatory*, 121, 315-338.

- Griffin, R. F. 2013. Spectroscopic binary orbits from photoelectric radial velocities-Paper 230: Five Short-Period Double-Lined Binaries: HD 25788, HD 32704, HD 45191 (V455 Aur), and HD 213896 (LL Aqr). *The Observatory*, 133, 156-184.
- Halbwachs, J. L. 1983. Binaries among the bright stars-Estimation of the bias and study of the main-sequence stars. *Astronomy and Astrophysics*, 128, 399-404.
- Halbwachs, J. L., Mayor, M., Udry, S. and Arenou, F. 2003. Multiplicity among solar-type stars-III. Statistical properties of the F7-K binaries with periods up to 10 years. *Astronomy and Astrophysics*, 397, 159-175.
- Heney, L. G., Lelevier, R. and Levee, R. D. 1959. Evolution of Main-Sequence Stars. *The Astrophysical Journal*, 129, 2-19.
- Hilditch, R. W., Howarth, I. D. and Harries, T. J. 2005. Forty eclipsing binaries in the Small Magellanic Cloud: fundamental parameters and Cloud distance. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 357(1), 304-324.
- Hiltner, W. A. and Johnson, H. L. 1956. The Law of Interstellar Reddening and Absorption. *The Astrophysical Journal*, 124, 367.
- Hoffleit, D. and Jaschek, C. 1982. The Bright Star Catalogue. Fourth revised edition. Yale University Observatory. New Haven, CT(USA), 487 s.
- Hogeveen, S. J. 1991. The mass-ratio distribution of binary stars. PhD Thesis, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, 132s.
- Hogeveen, S. J. 1992. The mass-ratio distribution of spectroscopic binary stars. *Astrophysics and Space Science*, 196(2), 299-336.
- Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P. and Wicenec, A. 2000. The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars. *Astronomy and Astrophysics*, 355, L27-L30.
- Hurley, J. R., Pols, O. R. and Tout, C. A. 2000. Comprehensive analytic formulae for stellar evolution as a function of mass and metallicity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 315(3), 543-569.
- Hurley, J. R., Tout, C. A. and Pols, O. R. 2002. Evolution of binary stars and the effect of tides on binary populations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 329(4), 897-928.
- Iben Jr, I. 1965a. Stellar Evolution. I. The Approach to the Main Sequence. *The Astrophysical Journal*, 141, 993-1018.

- Iben Jr, I. 1965b. Stellar Evolution. II. The Evolution of a $3 M_{\odot}$ Star from the Main Sequence Through Core Helium Burning. *The Astrophysical Journal*, 142, 1447-1467.
- Iben Jr, I. 1966a. Stellar Evolution. III. The Evolution of a $5 M_{\odot}$ Star from the Main Sequence Through Core Helium Burning. *The Astrophysical Journal*, 143, 483-504.
- Iben Jr, I. 1966b. Stellar Evolution. IV. The Evolution of a $9 M_{\odot}$ Star from the Main Sequence Through Core Helium Burning. *The Astrophysical Journal*, 143, 505-515.
- Iben Jr, I. 1966c. Stellar Evolution. V. The Evolution of a $15 M_{\odot}$ Star from the Main Sequence Through Core Helium. *The Astrophysical Journal*, 143, 516-526.
- Iben Jr, I. 1967a. 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, 624-649.
- Iben Jr, I. 1967b. 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 Jr, I. 1967c. Stellar evolution within and off the main sequence. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 5(1), 571-626.
- Imbert, M. 1987. Vitesses radiales photoélectriques de binaires à éclipses. III. Elements orbitaux de AN Cam. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 67, 161-167.
- Imbert, M. 2002. Vitesses radiales photoélectriques de binaires à éclipses-VI. Orbites spectroscopiques et éléments physiques de 12 étoiles doubles Photoelectric radial velocities of eclipsing binaries VI. Orbital and physical elements of 12 double stars. *Astronomy and Astrophysics*, 387(3), 850-860.
- Isles, J. E. 1985. Eclipsing Binaries, Andromeda To Camelopardalis, in 1972-1983. *Journal of the British Astronomical Association*, 96, 27.
- Johnson, D. O. 2004. Spectroscopic Binary Solver. *Journal of Astronomical Data*, 10.
- Johnson, H. L. and Morgan, W. W. 1953. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas. *The Astrophysical Journal*, 117, 313.
- Kazarovets, E. V., Samus, N. N., Durlevich, O. V., Frolov, M. S., Antipin, S. V., Kireeva, N. N. and Pastukhova, E. N. 1999. The 74th special name-list of variable stars. *Information Bulletin on Variable Stars*, 4659.

- Kirk, B. et al. 2016. Kepler eclipsing binary stars. VII. The catalog of eclipsing binaries found in the entire Kepler data set. *The Astronomical Journal*, 151(3), 68.
- Kjurkchieva, D., Vasileva, D. and Atanasova, T. 2017. Orbital parameters of the eclipsing detached Kepler binaries with eccentric orbits. *The Astronomical Journal*, 154(3), 105.
- Koch, D. G. et al. 2010. Kepler mission design, realized photometric performance, and early science. *The Astrophysical Journal Letters*, 713(2), L79.
- Koo, J. R., Lee, J. W. and Hong, K. 2017. The Kepler eclipsing binary V2281 Cygni with twin stars. *The Astronomical Journal*, 154(6), 235.
- Kolb, U. and Ritter, H. 1990. A comparative study of the evolution of a close binary using a standard and an improved technique for computing mass transfer. *Astronomy and Astrophysics*, 236, 385-392.
- Kounkel, M. et al. 2019. Close companions around young stars. *The Astronomical Journal*, 157(5), 196.
- Kraitcheva, Z. T., Popova, E. I., Tutukov, A. V. and Iungelson, L. R. 1978. Some properties of spectroscopic binary stars. *Soviet Astronomy*, 22, 670-677.
- Kraus, A. L., Cody, A. M., Covey, K. R., Rizzuto, A. C., Mann, A. W. and Ireland, M. J. 2015. The mass-radius relation of young stars. I. USCO 5, an M4. 5 eclipsing binary in upper Scorpius observed by K2. *The Astrophysical Journal*, 807(1), 3.
- Kreiken, E. A. 1953. The Density of Stars of Different Spectral Types. With 1 figure. *Zeitschrift fur Astrophysik*, 32, 125.
- Krumholz, M. R. and Thompson, T. A. 2007. The relationship between molecular gas tracers and kennicutt-schmidt laws. *The Astrophysical Journal*, 669(1), 289.
- Kurucz, R. L. 1970. ATLAS: A computer program for calculating model stellar atmospheres. *SAO Special report*, 309.
- Kurucz, Robert L. 1993. A new opacity-sampling model atmosphere program for arbitrary abundances. In: International Astronomical Union Colloquium. *Cambridge University Press*, 138, 87-97.
- Lacy, C. H. S., Claret, A. and Sabby, J. A. 2004. Absolute properties of the upper main-sequence eclipsing binary star MU Cassiopeiae. *The Astronomical Journal*, 128(4), 1840.
- Landolt, A. U. 1992. UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator. *The Astronomical Journal*, 104, 340-371.

- Lee, Y. N., Offner, S. S. R., Hennebelle, P., André, P., Zinnecker, H., Ballesteros-Paredes, J., Inutsuka, S. and Kruijssen, J. D. M. 2020. The origin of the stellar mass distribution and multiplicity. *Space Science Reviews*, 216, 1-56.
- Lehmann-Filhés, R. 1894. Über die Bestimmung einer Doppelsternbahn aus spektroskopischen Messungen der im Visionsradius liegenden Geschwindigkeitskomponente. *Astronomische Nachrichten*, 136, 17.
- Levenberg, K. 1944. A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Quarterly of applied mathematics*, 2(2), 164-168.
- Lindgren, L. et al. 1997. Double star data in the HIPPARCOS Catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323, 53-56.
- Lomb, N. R. 1976. Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and space science*, 39(2), 447-462.
- Lucy, L. B. and Ricco, E. 1979. The significance of binaries with nearly identical components. *The Astronomical Journal*, 84, 401-412.
- Lucy, L. B. 2006. Spectroscopic binaries with components of similar mass. *Astronomy and Astrophysics*, 457(2), 629-635.
- Maeder, A. and Meynet, G. 1989. Grids of evolutionary models from 0.85 to 120 solar masses-Observational tests and the mass limits. *Astronomy and Astrophysics*, 210, 155-173.
- Malkov, O. Y. 2007. Mass–luminosity relation of intermediate-mass stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 382(3), 1073-1086.
- Marquardt, D. W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics*, 11(2), 431-441.
- Marraco, H. G. and Muzzio, J. C. 1980. An improved method to derive periods of cyclic phenomena. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 92(549), 700.
- Marrese, P. M., Munari, U., Siviero, A., Milone, E. F., Zwitter, T., Tomov, T., Boschi, F. and Boeche, C. 2004. Evaluating GAIA performances on eclipsing binaries-III. Orbits and stellar parameters for UW LMi, V432 Aur and CN Lyn. *Astronomy and Astrophysics*, 413(2), 635-642.
- Mazeh, T., Simon, M., Prato, L., Markus, B. and Zucker, S. 2003. The Mass Ratio Distribution in Main-Sequence Spectroscopic Binaries Measured by Infrared Spectroscopy. *The Astrophysical Journal*, 599(2), 1344.

- Moore, J. H. 1924. Bulletin Number 355-Third Catalogue of Spectroscopic Binary Stars. *Lick Observatory Bulletin*, 11, 141-185.
- Moore, J. H. 1936. Fourth Catalogue of Spectroscopic Binary Stars. *Lick Observatory Bulletin*, 18.
- Moore, J. H. and Neubauer, F. J. 1948. Fifth Catalogue of The Orbital Elements of Spectroscopic Binary Stars. *Lick Observatory Bulletin*, 20.
- Moya, A., Zuccarino, F., Chaplin, W. J. and Davies, G. R. 2018. Empirical relations for the accurate estimation of stellar masses and radii. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 237(2), 21.
- Nelder, J. A. and Mead, R. 1965. A simplex method for function minimization. *The computer journal*, 7(4), 308-313.
- Otero, S. A. 2008. New eclipsing binaries found in the NSVS database II. *Open European Journal on Variable Stars*, 83(1), 1.
- Paxton, B., Bildsten, L., Dotter, A., Herwig, F., Lesaffre, P. and Timmes, F. 2011. Modules for experiments in stellar astrophysics (MESA). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 192(1), 3, 35.
- Paxton, B. et al. 2013. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Planets, Oscillations, Rotation, and Massive Stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 4, 42.
- Paxton, B. et al. 2015. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Binaries, Pulsations, and Explosions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 220(1), 15, 44.
- Paxton, B. et al. 2018. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Convective Boundaries, Element Diffusion, and Massive Star Explosions. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 234(2), 34, 50.
- Paxton, B. et al. 2019. Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA): Pulsating Variable Stars, Rotation, Convective Boundaries, and Energy Conservation. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 243(1), 10, 44.
- Pecaut, M. J. and Mamajek, E. E. 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 9.
- Pickering, E. C. 1889. Variable Star in Cluster G.C. 3636. *Astronomische Nachrichten*, 123, 207.

- Pickering, E. C. 1890. On the spectrum of zeta Ursae Majoris. *The Observatory*, 13, 80-81.
- Pinsonneault, M. H. and Stanek, K. Z. 2006. Binaries like to be twins: Implications for doubly degenerate binaries, the type Ia supernova rate, and other interacting binaries. *The Astrophysical Journal Letters*, 639(2), L67.
- Pinsonneault, M. H., An, D., Molenda-Żakowicz, J., Chaplin, W. J., Metcalfe, T. S. and Bruntt, H. 2012. A revised effective temperature scale for the Kepler input catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 199(2), 30.
- Pojmanski, G. 1997. The All Sky Automated Survey. *Acta Astronomica*, 47, 467-481.
- Pourbaix D., Tokovinin, A. A., Batten, A. H., Fekel, F. C., Hartkopf, W. I., Levato, H., Morrell, N. I., Torres, G. and Udry, S. 2004. S_B : The Ninth Catalogue of Spectroscopic Binary Orbits. *Astronomy and Astrophysics*, 424(2), 727-732.
- Prato, L. 2007. A survey for young spectroscopic binary k7-m4 stars in ophiuchus. *The Astrophysical Journal*, 657(1), 338.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. and Vetterling, W. T. 1992. Numeric recipes in C: the art of scientific computing. Cambridge University Press, Cambridge, 1018 s.
- Prša, A. and Zwitter, T. 2005. A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. Demonstrations and perspectives. *The Astrophysical Journal*, 628(1), 426.
- Prša, A. et al. 2011. Kepler Eclipsing Binary Stars. I. Catalog and Principal Characterization of 1879 Eclipsing Binaries in the First Data Release. *The Astronomical Journal*, 141(3), 83.
- Prša, A. et al. 2022. TESS Eclipsing Binary Stars. I. Short-cadence Observations of 4584 Eclipsing Binaries in Sectors 1–26. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 258(1), 16.
- Rambaut, A. A. 1891. On the Determination of Double Star Orbits from Spectroscopic Observations of the Velocity in the Line of Sight. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 51, 316.
- Rauw, G., De Becker, M., Nazé, Y., Crowther, P. A., Gosset, E., Sana, H., van der Hucht, K. A., Vreux, J.-M. and Williams, P. M. 2004. WR 20a: A massive cornerstone binary system comprising two extreme early-type stars. *Astronomy and Astrophysics*, 420(2), L9-L13.
- Ricker, G. R. et al. 2015. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003.

- Rosales, J. A., Mennickent, R. E., Schleicher, D. R. G. and Senhadji, A. A. 2019. Evolutionary process of the interacting binary V495 Centauri. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 483(1), 862-872.
- Rosero, V., Prato, L., Wasserman, L. H. and Rodgers, B. 2011. Orbital Solutions for Two Young, Low-Mass Spectroscopic Binaries in Ophiuchus. *The Astronomical Journal*, 141(1), 13.
- Sbordone, L., Bonifacio, P., Castelli, F. and Kurucz, R. L. 2004. ATLAS and SYNTHE under Linux. *arXiv preprint astro-ph/0406268*.
- Scargle, J. D. 1982. Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *The Astrophysical Journal*, 263, 835-853.
- Serenelli, A. et al. 2021. Weighing stars from birth to death: mass determination methods across the HRD. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 29(1), 1-141.
- Simon, M. and Obbie, R. C. 2009. Twins Among the Low-Mass Spectroscopic Binaries. *The Astronomical Journal*, 137(2), 3442.
- Slawson, R. W. et al. 2011. Kepler eclipsing binary stars. II. 2165 eclipsing binaries in the second data release. *The Astronomical Journal*, 142(5), 160.
- Southworth, J. 2021a. Rediscovery of eclipsing binaries. Paper IV. The evolved G-type system AN Camelopardalis. *The Observatory*, 141, 122-133.
- Southworth, J. 2021b. Rediscovery of eclipsing binaries. Paper 5: The triple system V455 Aurigae. *The Observatory*, 141, 190-203.
- Soydugan, F., Soydugan, E. and Aliçavuş, F. 2020. Investigation of near-contact semi-detached binary WUMi through observations and evolutionary models. *Research in Astronomy and Astrophysics*, 20(4), 052.
- Stetson, P. B. 1987. DAOPHOT: A computer program for crowded-field stellar photometry. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 99(613), 191.
- Stetson, P. B. 1990. On the growth-curve method for calibrating stellar photometry with CCDs. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 102(654), 932.
- Stetson, P. B. 1992. More experiments with DAOPHOT II and WF/PC images. In *Astronomical Data Analysis Software and Systems I*, 25, 297.
- Streamer, M., Ireland, M. J., Murphy, S. J. and Bento, J. 2018. A window into δ Sct stellar interiors: understanding the eclipsing binary system TT Hor. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 480(1), 1372-1383.

- Tobin, J. J. et al. 2016. A triple protostar system formed via fragmentation of a gravitationally unstable disk. *Nature*, 538(7626), 483-486.
- Tody, D. 1986. The IRAF Data Reduction and Analysis System. *Instrumentation in astronomy VI*, 627, 733-748.
- Tokovinin, A. A. 2000. On the origin of binaries with twin components. *Astronomy and Astrophysics*, 360, 997-1002.
- Tokovinin, A. 2018. Dancing Twins: Stellar Hierarchies That Formed Sequentially?. *The Astronomical Journal*, 155(4), 160.
- Tonry, J. and Davis, M. 1979. A survey of galaxy redshifts. I-Data reduction techniques. *The Astronomical Journal*, 84, 1511-1525.
- Torres, G. and Ribas, I. 2002. Absolute dimensions of the M-type eclipsing binary YY Geminorum (Castor C): a challenge to evolutionary models in the lower main sequence. *The Astrophysical Journal*, 567(2), 1140.
- Torres, G., Andersen, J. and Giménez, A. 2010. Accurate masses and radii of normal stars: modern results and applications. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 18(1), 67-126.
- Van Hamme, W. and Wilson, R. E. 2007. Third-body parameters from whole light and velocity curves. *The Astrophysical Journal*, 661(2), 1129.
- Wilson, R. E. 1979. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *The Astrophysical Journal*, 234, 1054-1066.
- Wilson, R. E. 1990. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *The Astrophysical Journal*, 356, 613-622.
- Wilson, R. E. 1993. Computation Methods and Organization for Close Binary Observables. *New Frontiers in Binary Star Research*, 38, 91.
- Wilson, R. E. 2008. Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation. *The Astrophysical Journal*, 672(1), 575.
- Wilson, R. E. 2012. Spotted star light curves with enhanced precision. *The Astronomical Journal*, 144(3), 73.
- Wilson, R. E. and Devinney, E. J. 1971. Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. *The Astrophysical Journal*, 166, 605.
- Wilson, R. E., Van Hamme, W. and Terrell, D. 2010. Flux calibrations from nearby eclipsing binaries and single stars. *The Astrophysical Journal*, 723(2), 1469.

- Wilson, R. E. and Van Hamme, W. 2014. Unification of Binary Star Ephemeris Solutions. *The Astrophysical Journal*, 780(2), 151.
- Woźniak, P. R. et al. 2004. Northern sky variability survey: Public data release. *The Astronomical Journal*, 127(4), 2436.
- Xia, F., Ren, S. and Fu, Y. 2008. The empirical mass-luminosity relation for low mass stars. *Astrophysics and Space Science*, 314(1), 51-58.
- Zhang, J., Qian, S. B., Wang, S. M., Wu, Y. and Jiang, L. Q. 2017. Two twin binaries with nearly identical components: KIC 4826439 and KIC 6045264. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69(3), 49.



8.EKLER

EK-1. KEBC'den seçilen çember yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistem adayları ve parametreleri

Sayı	KIC/EPIC Numarası	Parlaklık K_{mag}	Yörünge Dönemi (gün)	BJD ₀ (-2400000)	Baş Bileşen Minimum Derinliği	Yoldaş Bileşen Minimum Derinliği
1	2305543	12.545	1.3622735 ± 0.0000019	55003.400909 ± 0.017121	0.1078	0.1052
2	3248019	15.387	2.6682217 ± 0.0000050	55098.773000 ± 0.019924	0.0475	0.0462
3	3654950	15.858	8.1347246 ± 0.0000226	55003.927327 ± 0.036104	0.0559	0.0585
4	4037163	16.675	0.6354440 ± 0.0000016	55000.227976 ± 0.012090	0.1386	0.1373
5	4157488	13.961	5.1974199 ± 0.0000114	54968.137425 ± 0.042039	0.0893	0.0895
6	4365461	13.309	3.4288300 ± 0.0000063	54964.865358 ± 0.032011	0.1054	0.1052
7	4445630	13.858	5.6279121 ± 0.0000128	54968.881486 ± 0.040216	0.3985	0.3960
8	4758368	10.805	3.7499354 ± 0.0000070	54958.206761 ± 0.065651	0.0362	0.0346
9	4826439	13.82	2.4742946 ± 0.0000039	54965.657054 ± 0.040069	0.4206	0.4157
10	4832197	11.51	1.8954655 ± 0.0000026	54954.965798 ± 0.011438	0.0118	0.0102
11	4912589	12.869	68.3766074 ± 0.0004415	54965.141492 ± 0.018804	0.0877	0.0828
12	4912991	11.297	8.8850348 ± 0.0000246	54971.049805 ± 0.015974	0.0224	0.0215
13	5024450	15.063	3.0518511 ± 0.0000067	55188.478488 ± 0.020404	0.0223	0.0182
14	5090690	13.252	24.0233248 ± 0.0001005	54961.588331 ± 0.024263	0.0132	0.0136
15	5263802	11.494	6.7005059 ± 0.0000163	54958.146746 ± 0.025699	0.0286	0.0286
16	5285607	11.419	3.8994011 ± 0.0000074	54959.576010 ± 0.027380	0.0408	0.0403
17	5384802	13.705	6.0830927 ± 0.0000144	54966.988768 ± 0.021647	0.0197	0.0196
18	5565486	14.964	2.8250473 ± 0.0000060	55001.432884 ± 0.034903	0.1741	0.1701
19	5598639	10.201	1.2975514 ± 0.0000016	54955.013385 ± 0.025718	0.1071	0.1087
20	5636642	16.428	0.9335000 ± 0.0000029	54999.628184 ± 0.010246	0.0116	0.0108
21	5649206	17.991	4.8934740 ± 0.0000312	54998.774821 ± 0.029543	0.1959	0.2009
22	5738698	11.941	4.8087739 ± 0.0000101	54956.591698 ± 0.043652	0.2993	0.3042
23	5817566	11.684	8.4121982 ± 0.0000226	54961.017551 ± 0.071903	0.1525	0.1558
24	6531485	15.553	0.6769904 ± 0.0000006	54964.798481 ± 0.011728	0.0203	0.0164
25	6543674	13.535	2.3910305 ± 0.0000037	54965.303847 ± 0.034581	0.3725	0.3744
26	6620003	15.686	3.4285506 ± 0.0000063	54966.315240 ± 0.014010	0.0277	0.0276
27	6629332	13.997	4.3105565 ± 0.0000087	54968.730786 ± 0.014116	0.0190	0.0169
28	6891512	11.388	3.5051258 ± 0.0000064	54955.206280 ± 0.036054	0.3419	0.3466
29	6960446	16.798	10.1490000 ± 0.0000881	54999.452809 ± 0.035357	0.0392	0.0344
30	6965293	12.847	5.0778199 ± 0.0000109	54957.473848 ± 0.020853	0.0169	0.0138
31	7377033	15.533	3.9136205 ± 0.0000076	54968.471285 ± 0.014339	0.0252	0.0212
32	7818448	13.894	0.6189517 ± 0.0000005	54964.591429 ± 0.018791	0.0982	0.0977
33	7842610	15.289	1.9438654 ± 0.0000028	54964.909680 ± 0.013799	0.0128	0.0114
34	7947631	15.179	2.5165557 ± 0.0000040	54966.960660 ± 0.012985	0.0141	0.0119
35	7970629	14.541	2.0510691 ± 0.0000030	54966.523747 ± 0.021798	0.1105	0.1058
36	7971389	14.098	26.3496135 ± 0.0001163	54969.462453 ± 0.021616	0.0672	0.0660
37	8075618	15.674	17.5612071 ± 0.0000650	54970.923039 ± 0.020011	0.0849	0.0856
38	8145789	15.314	1.6706295 ± 0.0000022	54964.956491 ± 0.016225	0.0189	0.0146
39	8211824	16.055	0.8411262 ± 0.0000008	55000.480600 ± 0.012559	0.0761	0.0781
40	8243263	12.984	3.5185527 ± 0.0000065	54966.833553 ± 0.020618	0.0348	0.0313
41	8302455	11.535	4.8839763 ± 0.0000103	54957.805712 ± 0.024656	0.0897	0.0897
42	8330575	13.484	1.9141584 ± 0.0000027	54964.773530 ± 0.024261	0.0551	0.0557
43	8444552	13.643	1.1780996 ± 0.0000013	54964.589475 ± 0.014623	0.0610	0.0594
44	8445775	13.876	26.5082709 ± 0.0001163	54982.621176 ± 0.027782	0.0430	0.0427
45	8939650	14.268	3.6553208 ± 0.0000069	54965.820660 ± 0.025180	0.0468	0.0498
46	9143254	15.452	2.2750493 ± 0.0000035	54965.667429 ± 0.017644	0.0180	0.0168
47	9179531	15.091	6.5107804 ± 0.0000158	54968.742940 ± 0.034430	0.1278	0.1271
48	9243795	12.732	14.4431301 ± 0.0000492	54957.947084 ± 0.052587	0.0403	0.0403
49	9652632	11.576	4.9776238 ± 0.0000106	54955.175512 ± 0.036093	0.1229	0.1240

(Devamı arkada)

EK-1'in devamı

Sayı	KIC/EPIC Numarası	Parlaklık K_{mag}	Yörünge Dönemi (gün)	BJD ₀ (-2400000)	Baş Bileşen Minimum Derinliği	Yoldaş Bileşen Minimum Derinliği
50	9786017	12.502	4.4980033 ± 0.0000092	54956.640472 ± 0.064060	0.0740	0.0691
51	9881258	13.281	4.0570249 ± 0.0000079	54955.695831 ± 0.030830	0.1228	0.1178
52	9906590	12.429	1.6863376 ± 0.0000022	54954.659859 ± 0.020608	0.0378	0.0357
53	9911112	14.99	2.3336500 ± 0.0000325	55001.091678 ± 0.014452	0.0169	0.0161
54	10191056	10.811	2.4274949 ± 0.0000038	54955.031469 ± 0.034813	0.1820	0.1831
55	10258558	14.492	20.8678557 ± 0.0000845	54969.403096 ± 0.035651	0.0720	0.0711
56	10275074	14.182	4.3628836 ± 0.0004415	54999.250399 ± 0.028269	0.0838	0.0820
57	10480952	12.22	4.0749064 ± 0.0000080	54954.364164 ± 0.032594	0.2605	0.2632
58	10491031	13.245	4.3981385 ± 0.0000089	54957.266300 ± 0.037967	0.2066	0.2063
59	10547685	12.309	2.7770216 ± 0.0000046	54956.454223 ± 0.018225	0.0362	0.0346
60	10987439	10.81	10.6745992 ± 0.0000322	54971.883920 ± 0.025080	0.0164	0.0131
61	11457191	14.554	2.2983953 ± 0.0000035	54965.967089 ± 0.025103	0.0483	0.0446
62	11704044	15.749	13.7653453 ± 0.0000479	55015.229115 ± 0.031926	0.3293	0.3297
63	12645761	13.368	5.4191379 ± 0.0000120	54961.669259 ± 0.035210	0.0125	0.0117
64	201810513	15.255	1.6466409 ± 0.0001407	1978.786728 ± 0.011437	0.0471	0.0442
65	202065543	10.2	1.4465161 ± 0.0004153	56774.510843 ± 0.032425	0.1105	0.1057
66	202065879	12.7	7.8384894 ± 0.0038107	56777.569717 ± 0.035819	0.0182	0.0177
67	202071293	10.8	0.5729344 ± 0.0001106	56774.626426 ± 0.020832	0.0512	0.0501
68	202072991	10.1	5.4956923 ± 0.0022831	56778.327677 ± 0.062835	0.2290	0.2312
69	202073445	14.4	2.8355008 ± 0.0010505	56775.005665 ± 0.032666	0.0191	0.0159
70	202085014	14.7	0.5478504 ± 0.0001029	56769.852878 ± 0.016393	0.1681	0.1644
71	202094234	13.7	2.4207775 ± 0.0008402	56769.723262 ± 0.045145	0.1682	0.1638
72	202126847	12.4	8.3439012 ± 0.0050535	56778.272661 ± 0.042274	0.0157	0.0151
73	202139294	11.4	1.0433530 ± 0.0002586	56774.341334 ± 0.024762	0.0158	0.0148
74	203294831	11.571	3.7180741 ± 0.0004710	56897.379506 ± 0.021616	0.0463	0.0435
75	204649811	11.61	5.2907529 ± 0.0007653	56900.150916 ± 0.017597	0.0129	0.0126
76	205463986	10.919	4.6481535 ± 0.0006381	56898.278218 ± 0.023923	0.1463	0.1442
77	206081536	13.459	0.7146711 ± 0.0000553	2456979.972360 ± 0.015100	0.3103	0.3109
78	210744182	12.377	0.7683451 ± 0.0000589	2457062.896450 ± 0.029933	0.0799	0.0767
79	210925707	9.519	3.3737610 ± 0.0004710	2457063.917520 ± 0.034726	0.0408	0.0371
80	211413463	17.303	6.5037736 ± 0.0010505	2457140.679520 ± 0.019224	0.0220	0.0268
81	211578677	14.291	0.5542943 ± 0.0000332	2457140.304050 ± 0.012323	0.0576	0.0563
82	211623903	15.08	1.6155899 ± 0.0001540	2457139.863980 ± 0.010137	0.0285	0.0262
83	211732801	10.655	4.2629700 ± 0.0005905	2457141.405860 ± 0.031979	0.0728	0.0751
84	211936444	12.916	4.9290312 ± 0.0007653	2457143.572080 ± 0.023604	0.0586	0.0572
85	211944856	11.018	2.7705960 ± 0.0003296	2457139.960530 ± 0.014582	0.0517	0.0508
86	211995966	11.899	0.5585121 ± 0.0000336	2457139.930120 ± 0.010578	0.1175	0.1214
87	211997641	12.821	3.4886636 ± 0.0004415	2457140.510170 ± 0.031521	0.2578	0.2541
88	211999656	12.233	1.9483560 ± 0.0002024	2457140.520720 ± 0.020030	0.1263	0.1235

EK-2. Kjurkchieva vd. (2017)'den seçilen basık yörüngeli örten ikiz çift yıldız sistem adayları ve parametreleri

Sayı	KIC Numarası	T_{eff} (K)	T_{eff1} (K)	T_{eff2} (K)	T_1/T_2	q	r_1/r_2	r_1	r_2	Basıklık	Enberinin Boylamı (°)
1	2306740	5647	5647	5554	1.017	0.972	1.020	0.0612	0.0600	0.299	274.77
2	3098194	5328	5328	5375	0.991	1.015	0.990	0.0208	0.0210	0.306	48.81
3	3644542	8075	8075	7805	1.035	0.944	1.047	0.0135	0.0129	0.585	30.83
4	3865298	5295	5295	5129	1.032	0.947	1.041	0.0330	0.0317	0.251	155.94
5	4054905	4702	4702	4532	1.038	0.939	1.048	0.0286	0.0273	0.356	210.87
6	4076952	6228	6228	6167	1.010	0.983	1.013	0.0686	0.0677	0.044	65.90
7	4281895	5309	5309	5346	0.993	1.012	0.989	0.0267	0.0270	0.303	6.26
8	4375101	5661	5661	5680	0.997	1.006	0.992	0.0122	0.0123	0.231	25.63
9	4736208	5778	5778	5782	0.999	1.001	1.000	0.0126	0.0126	0.356	44.65
10	4847832	5648	5648	5498	1.027	0.955	1.035	0.0117	0.0113	0.372	80.78
11	4851217	6694	6694	6550	1.022	0.964	1.028	0.1566	0.1523	0.031	205.85
12	4937143	6705	6705	6464	1.037	0.940	1.049	0.0341	0.0325	0.212	1.27
13	5021732	6119	6119	6119	1.000	1.000	1.000	0.0223	0.0223	0.078	322.22
14	5347784	5392	5392	5290	1.019	0.968	1.024	0.0389	0.0380	0.02	236.91
15	5473556	5932	5932	5774	1.027	0.955	1.036	0.0465	0.0449	0.137	53.08
16	5632781	5786	5786	5717	1.012	0.980	1.016	0.0633	0.0623	0.273	22.50
17	5955321	6169	6169	6126	1.007	0.988	1.006	0.0181	0.0180	0.453	90.91
18	6147573	5503	5503	5405	1.018	0.970	1.020	0.0154	0.0151	0.367	6.42
19	6301030	5727	5727	5853	0.978	1.038	0.973	0.0324	0.0333	0.312	346.70
20	6431670	5103	5103	4945	1.032	0.948	1.042	0.0125	0.0120	0.334	172.38
21	6610219	5986	5986	5785	1.035	0.944	1.047	0.0379	0.0362	0.192	93.47
22	6949550	5718	5718	5631	1.015	0.974	1.019	0.0523	0.0513	0.266	186.64
23	7132542	5389	5389	5287	1.019	0.968	1.026	0.0159	0.0155	0.388	175.22
24	7877824	5534	5534	5358	1.033	0.947	1.041	0.0428	0.0411	0.206	338.85
25	8301013	6479	6479	6289	1.030	0.951	1.039	0.0726	0.0699	0.076	89.00
26	8314801	5449	5449	5425	1.004	0.992	1.005	0.0206	0.0205	0.378	174.42
27	8553907	6425	6425	6280	1.023	0.962	1.031	0.0099	0.0096	0.529	151.22
28	8572936	5706	5706	5670	1.006	0.989	1.009	0.0107	0.0106	0.597	64.70
29	8690001	5938	5938	5813	1.022	0.965	1.029	0.0355	0.0345	0.212	219.47
30	8700506	6608	6608	6774	0.975	1.043	0.966	0.0114	0.0118	0.483	56.09
31	8760135	5494	5494	5434	1.011	0.982	1.000	0.0041	0.0041	0.253	8.73
32	8973000	5294	5294	5099	1.038	0.938	1.050	0.0339	0.0323	0.463	300.29
33	8984706	5642	5642	5525	1.021	0.965	1.028	0.0296	0.0288	0.014	0.00
34	9284741	5085	5085	5076	1.002	0.997	1.000	0.0121	0.0121	0.354	38.98
35	9344623	6312	6312	6186	1.020	0.966	1.026	0.0355	0.0346	0.189	191.50
36	9474969	6085	6085	5952	1.022	0.963	1.028	0.0400	0.0389	0.408	351.67
37	9658118	6225	6225	6220	1.001	0.999	1.000	0.0267	0.0267	0.382	64.95
38	9785454	5162	5162	4974	1.038	0.939	1.043	0.0048	0.0046	0.497	177.75
39	9837544	4886	4886	4934	0.990	1.017	1.000	0.0066	0.0066	0.659	0.93
40	10026457	5222	5222	5220	1.000	0.999	1.000	0.0455	0.0455	0.128	322.62
41	10292238	5512	5512	5535	0.996	1.007	0.985	0.0067	0.0068	0.599	346.67
42	10352603	5884	5884	5733	1.026	0.957	1.038	0.0163	0.0157	0.472	136.26
43	10420279	5512	5512	5349	1.030	0.950	1.042	0.0074	0.0071	0.492	46.41
44	10490960	5787	5787	5740	1.008	0.986	1.010	0.0516	0.0511	0.102	41.00
45	10491544	4835	4835	4665	1.036	0.941	1.044	0.0239	0.0229	0.35	17.82
46	10751515	4838	4838	4689	1.032	0.948	1.044	0.0141	0.0135	0.143	148.33
47	11671429	7363	7363	7100	1.037	0.940	1.051	0.0164	0.0156	0.4	336.85

EK-3. Pecaut ve Mamajek (2013)'in anakol yıldızları için verdiği etkin sıcaklık, mutlak parlaklık ve optik renkler

Tayf Türü	T_{eff} (K)	M_V (mag)	$(U - B)$ (mag)	$(B - V)$ (mag)	$(V - R)$ (mag)	$(V - I)$ (mag)
O3V	46000	-5.7	-1.22	-0.320	—	—
O4V	43000	-5.5	-1.20	-0.320	—	—
O5V	41500	-5.4	-1.19	-0.320	—	—
O5.5V	40000	-5.2	-1.18	-0.320	—	—
O6V	39000	-5.1	-1.17	-0.320	—	—
O6.5V	37300	-4.9	-1.16	-0.320	—	—
O7V	36500	-4.8	-1.15	-0.320	—	—
O7.5V	35000	-4.6	-1.14	-0.320	—	—
O8V	34500	-4.5	-1.13	-0.320	—	—
O8.5V	33000	-4.3	-1.12	-0.320	—	—
O9V	32500	-4.2	-1.11	-0.318	—	-0.369
O9.5V	32000	-4.1	-1.09	-0.312	—	-0.361
B0V	31500	-4.0	-1.07	-0.307	—	-0.355
B0.5V	29000	-3.6	-1.03	-0.295	—	-0.338
B1V	26000	-3.1	-1.00	-0.278	-0.115	-0.325
B1.5V	24500	-2.8	-0.91	-0.252	-0.114	-0.281
B2V	20600	-1.7	-0.79	-0.210	-0.094	-0.230
B2.5V	18500	-1.4	-0.73	-0.198	-0.087	-0.210
B3V	17000	-1.1	-0.67	-0.178	-0.080	-0.192
B4V	16700	-1.0	-0.62	-0.165	-0.074	-0.176
B5V	15700	-0.9	-0.58	-0.156	-0.070	-0.165
B6V	14500	-0.5	-0.50	-0.140	-0.062	-0.145
B7V	14000	-0.4	-0.46	-0.128	-0.058	-0.133
B8V	12500	-0.2	-0.36	-0.109	-0.048	-0.108
B9V	10700	0.7	-0.20	-0.070	-0.028	-0.061
B9.5V	10400	0.8	-0.13	-0.050	-0.017	-0.035
A0V	9700	1.1	-0.01	0.000	0.001	0.004
A1V	9200	1.3	0.03	0.040	0.019	0.044
A2V	8840	1.5	0.06	0.070	0.042	0.091
A3V	8550	1.6	0.08	0.090	0.050	0.108
A4V	8270	1.8	0.10	0.140	0.078	0.164
A5V	8080	1.8	0.10	0.160	0.089	0.186
A6V	8000	1.9	0.10	0.170	0.094	0.197
A7V	7800	2.1	0.09	0.210	0.117	0.242

(Devamı arkada)

EK-3'ün devamı

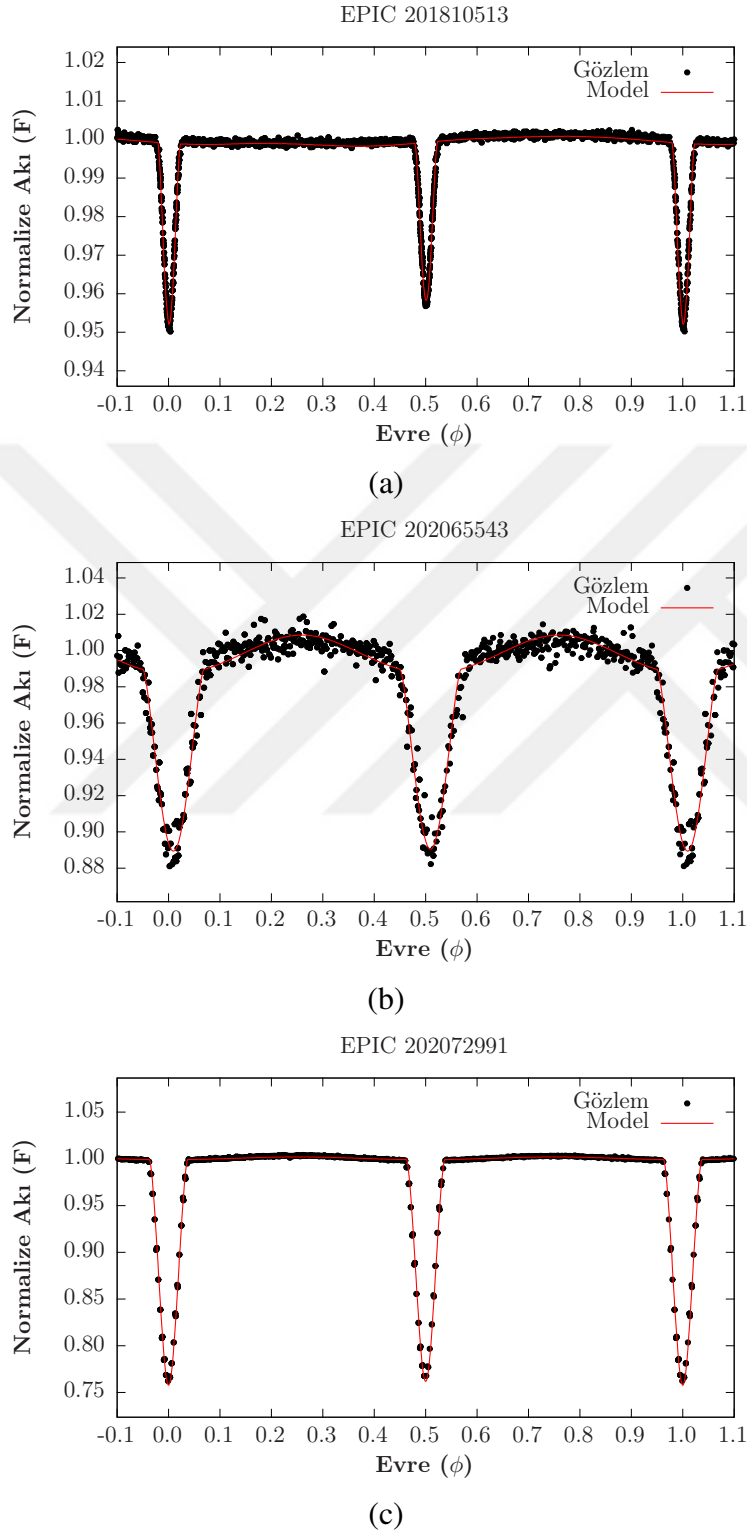
Tayf Türü	T_{eff} (K)	M_V (mag)	$(U - B)$ (mag)	$(B - V)$ (mag)	$(V - R)$ (mag)	$(V - I)$ (mag)
A8V	7500	2.3	0.08	0.250	0.140	0.288
A9V	7440	2.3	0.08	0.255	0.143	0.294
F0V	7220	2.5	0.05	0.290	0.166	0.339
F1V	7030	2.8	0.02	0.330	0.190	0.385
F2V	6810	3.0	-0.01	0.370	0.213	0.432
F3V	6720	3.1	-0.02	0.390	0.222	0.449
F4V	6640	3.2	-0.03	0.410	0.236	0.476
F5V	6510	3.4	-0.03	0.440	0.252	0.506
F6V	6340	3.7	-0.02	0.484	0.276	0.553
F7V	6240	3.9	-0.01	0.510	0.290	0.579
F8V	6170	4.0	0.00	0.530	0.300	0.599
F9V	6060	4.2	0.01	0.552	0.312	0.620
F9.5V	6000	4.3	0.03	0.572	0.323	0.640
G0V	5920	4.5	0.06	0.596	0.336	0.664
G1V	5880	4.5	0.07	0.625	0.340	0.672
G2V	5770	4.8	0.13	0.650	0.363	0.713
G3V	5720	4.9	0.15	0.660	0.368	0.722
G4V	5680	4.9	0.18	0.670	0.374	0.733
G5V	5660	5.0	0.19	0.680	0.377	0.738
G6V	5590	5.1	0.23	0.700	0.388	0.758
G7V	5530	5.2	0.24	0.710	0.393	0.766
G8V	5490	5.3	0.28	0.730	0.404	0.786
G9V	5340	5.6	0.36	0.775	0.423	0.820
K0V	5280	5.8	0.44	0.816	0.443	0.853
K0.5V	5240	5.8	0.46	0.825	0.448	0.862
K1V	5170	5.9	0.49	0.842	0.457	0.879
K1.5V	5140	6.0	0.53	0.860	0.467	0.895
K2V	5040	6.2	0.58	0.884	0.482	0.920
K2.5V	4990	6.3	0.69	0.938	0.513	0.974
K3V	4830	6.6	0.78	0.986	0.537	1.013
K3.5V	4700	6.8	0.92	1.050	0.592	1.108
K4V	4600	7.0	1.00	1.100	0.640	1.190
K4.5V	4540	7.0	1.03	1.116	0.654	1.216
K5V	4410	7.4	1.08	1.150	0.685	1.272
K5.5V	4330	7.6	1.14	1.200	0.728	1.357

(Devamı arkada)

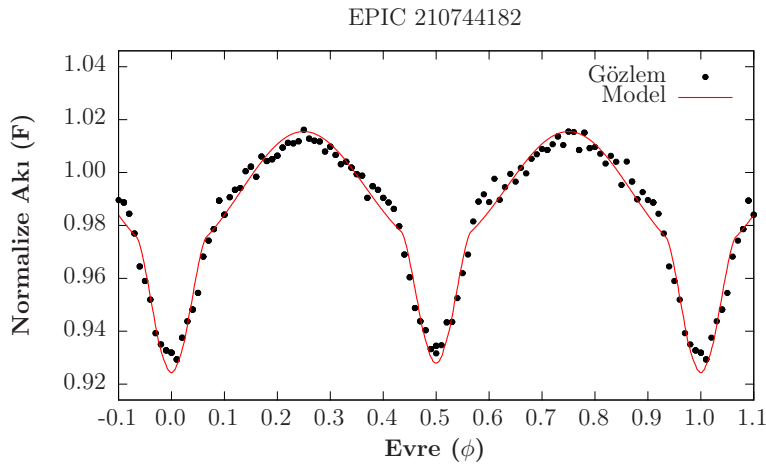
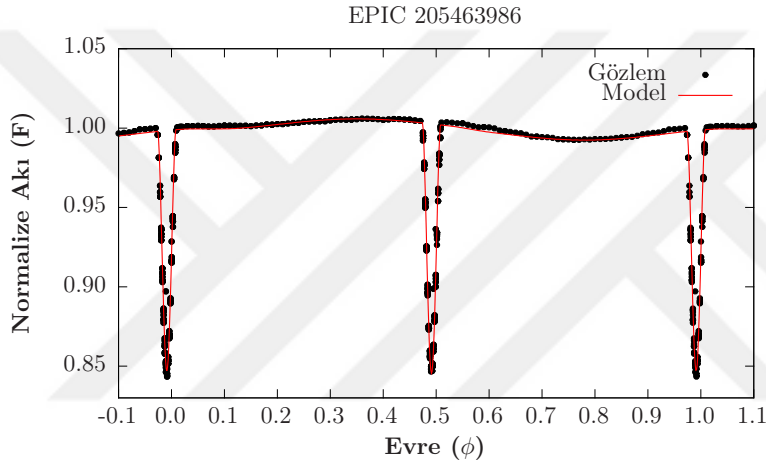
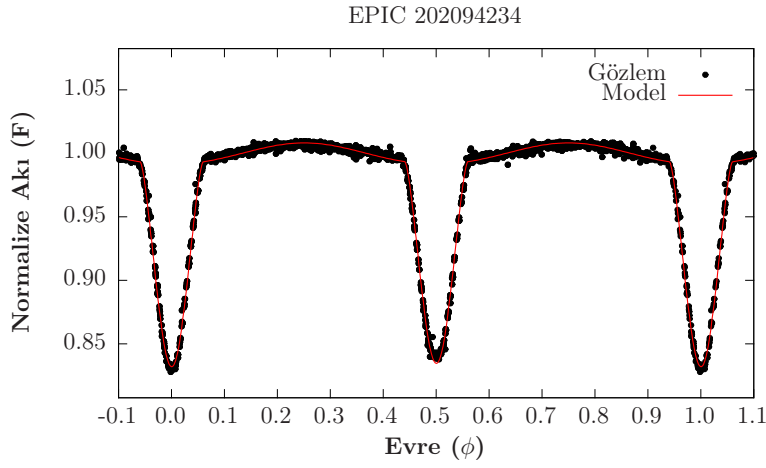
EK-3'ün devamı

Tayf Türü	T_{eff} (K)	M_V (mag)	$(U - B)$ (mag)	$(B - V)$ (mag)	$(V - R)$ (mag)	$(V - I)$ (mag)
K6V	4230	7.8	1.18	1.240	0.759	1.420
K6.5V	4190	8.0	1.21	1.310	0.796	1.505
K7V	4070	8.2	1.22	1.330	0.806	1.529
K8V	4000	8.5	1.22	1.380	0.843	1.632
K9V	3940	8.7	1.21	1.420	0.866	1.699
M0V	3870	8.9	1.20	1.408	0.889	1.766
M1V	3700	9.7	1.17	1.475	0.959	2.019
M1.5V	3650	10.0	1.17	1.486	0.978	2.089
M2V	3550	10.3	1.17	1.500	1.001	2.173
M2.5V	3500	10.7	1.18	1.522	1.041	2.306
M3V	3410	11.1	1.18	1.544	1.079	2.420
M3.5V	3250	12.2	1.20	1.602	1.178	2.680
M4V	3200	12.8	1.22	1.661	1.241	2.831
M4.5V	3100	13.6	1.23	1.720	1.345	3.073
M5V	3030	14.3	1.24	1.874	1.446	3.277
M5.5V	3000	15.5	1.30	1.910	1.656	3.664
M6V	2850	16.6	1.30	2.000	1.950	4.130
M6.5V	2710	17.1	–	2.060	2.003	4.310
M7V	2650	17.8	–	2.060	2.180	4.450
M7.5V	2600	18.4	–	2.170	2.160	4.560
M8V	2500	18.8	–	2.200	2.150	4.640

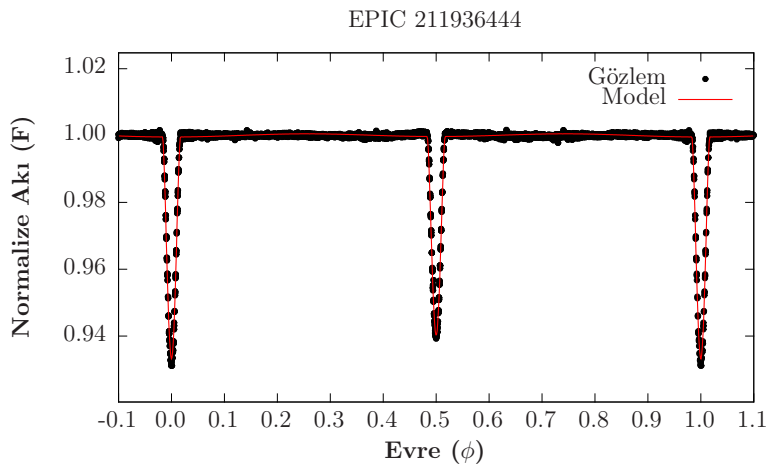
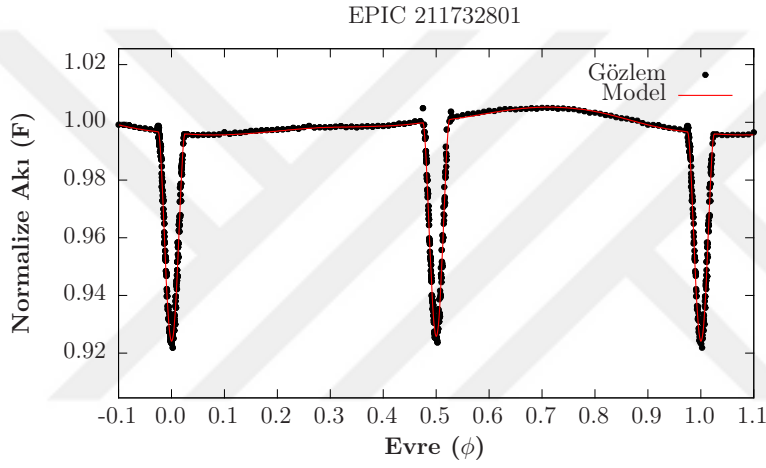
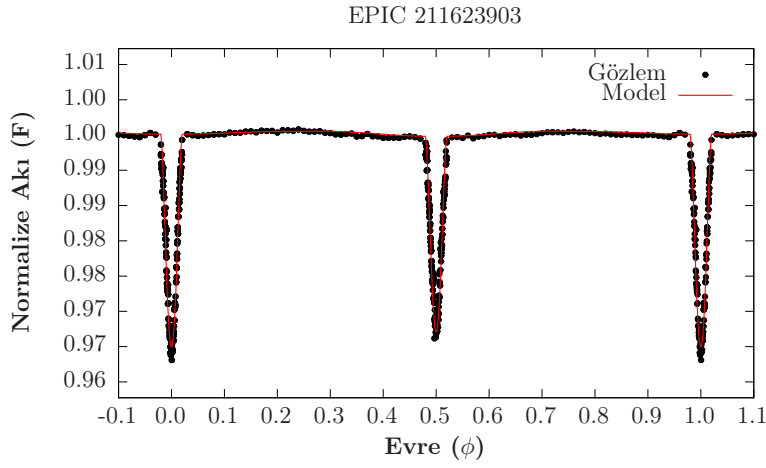
EK-4. İkiz oldukları belirlenen çember yörüngeli örten çift yıldız sistemlerinin ışık eğrisi modelleri



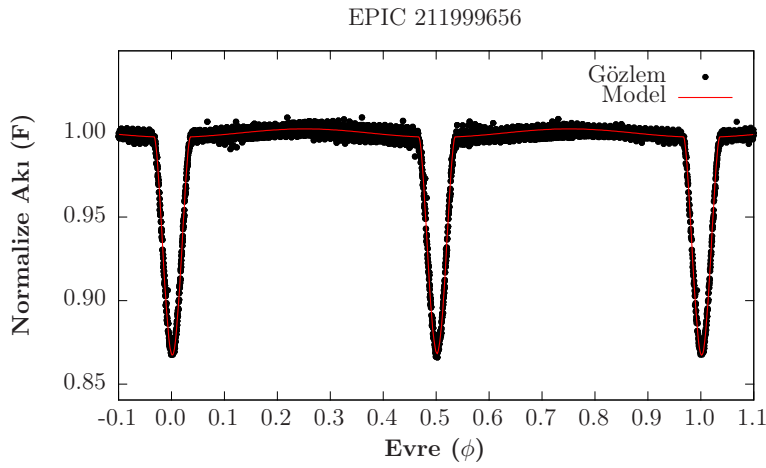
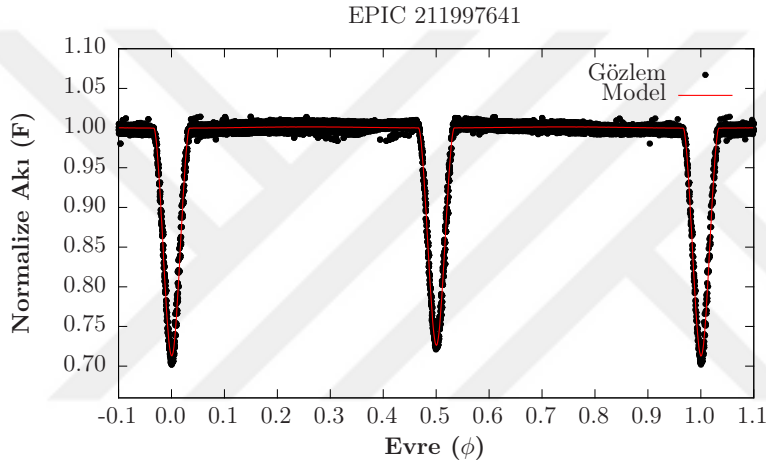
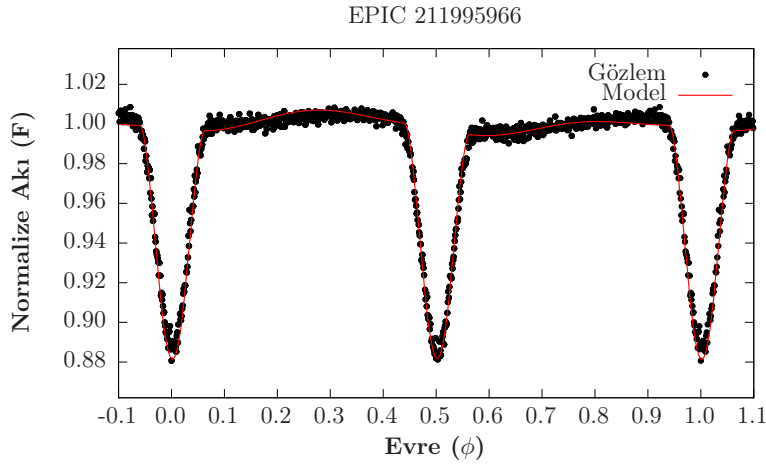
Şekil 8.1. (a) EPIC 201810513 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 2012065543 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 202072991 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



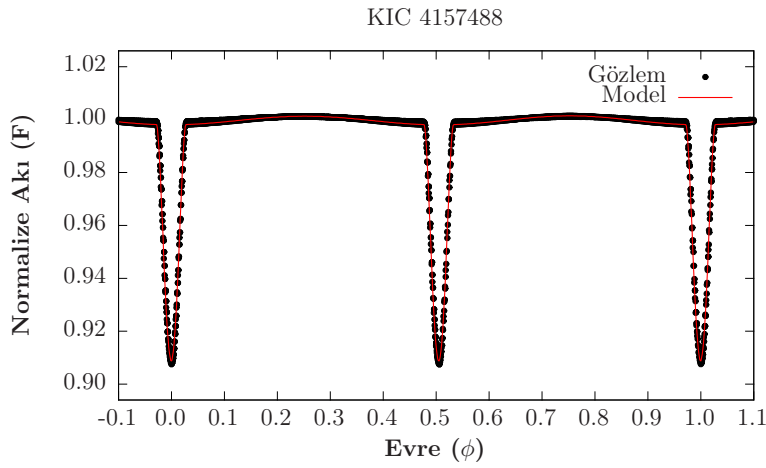
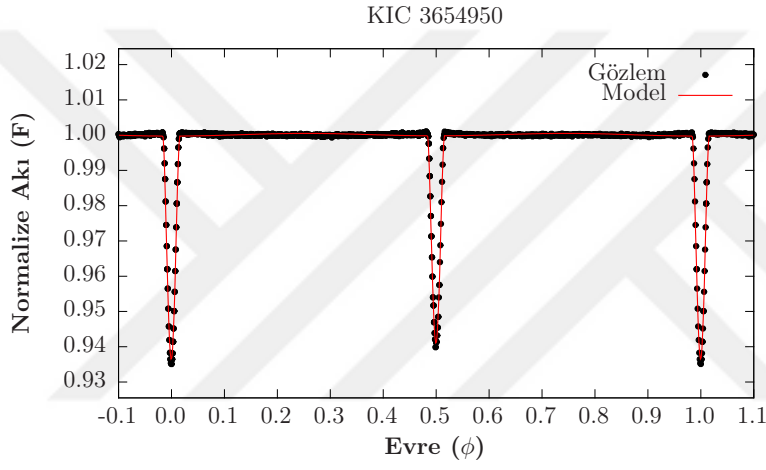
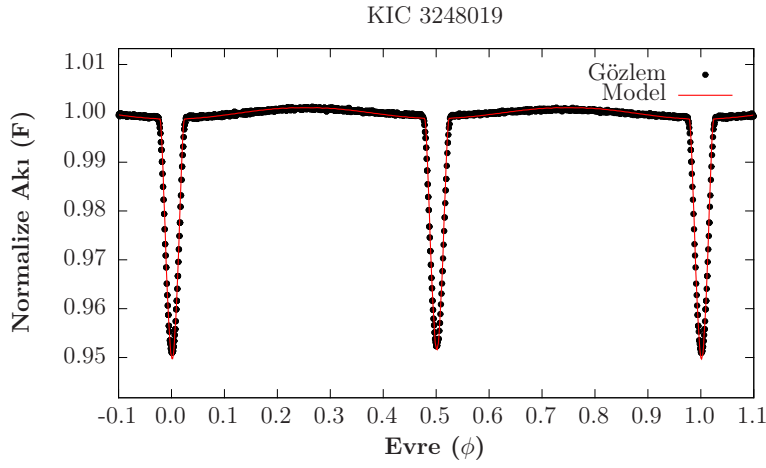
Şekil 8.2. (a) EPIC 202094234 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 205463986 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 210744182 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



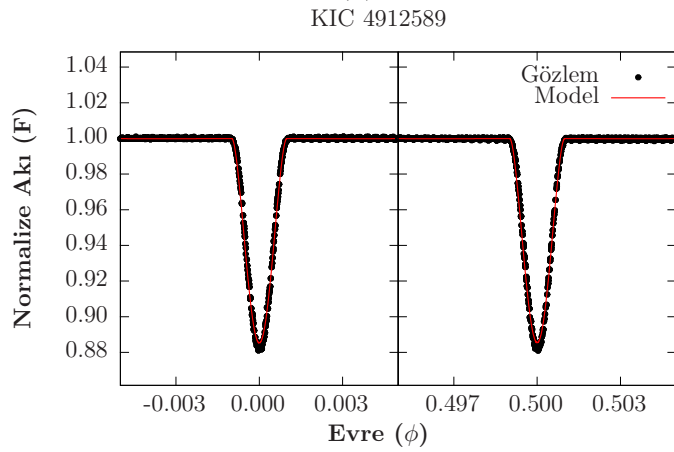
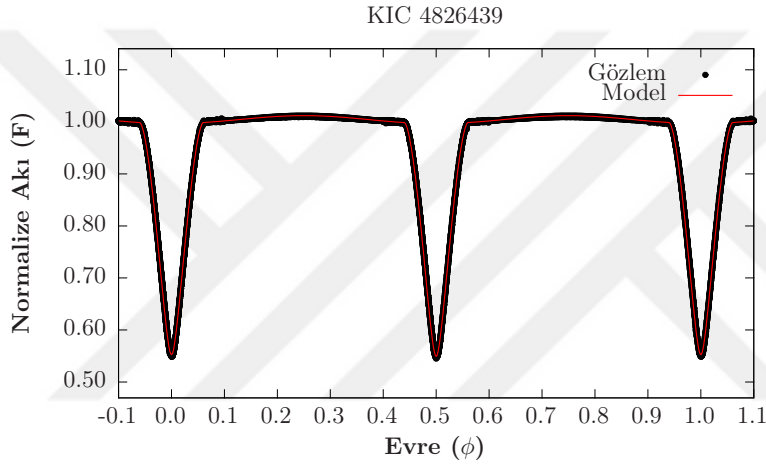
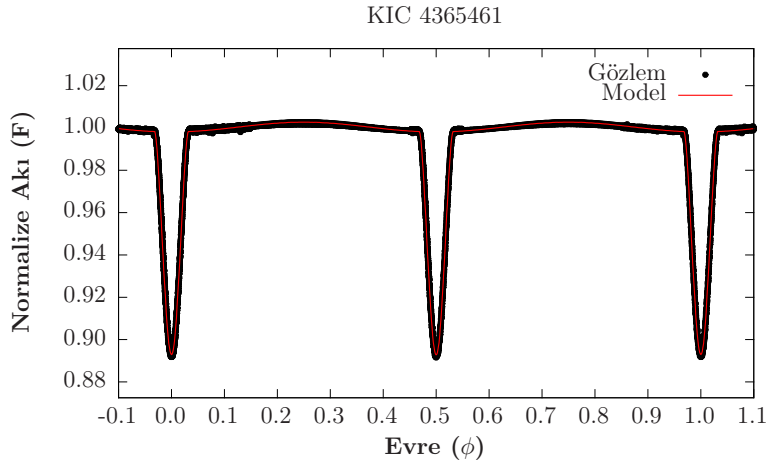
Şekil 8.3. (a) EPIC 211623903 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 211732801 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 211936444 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



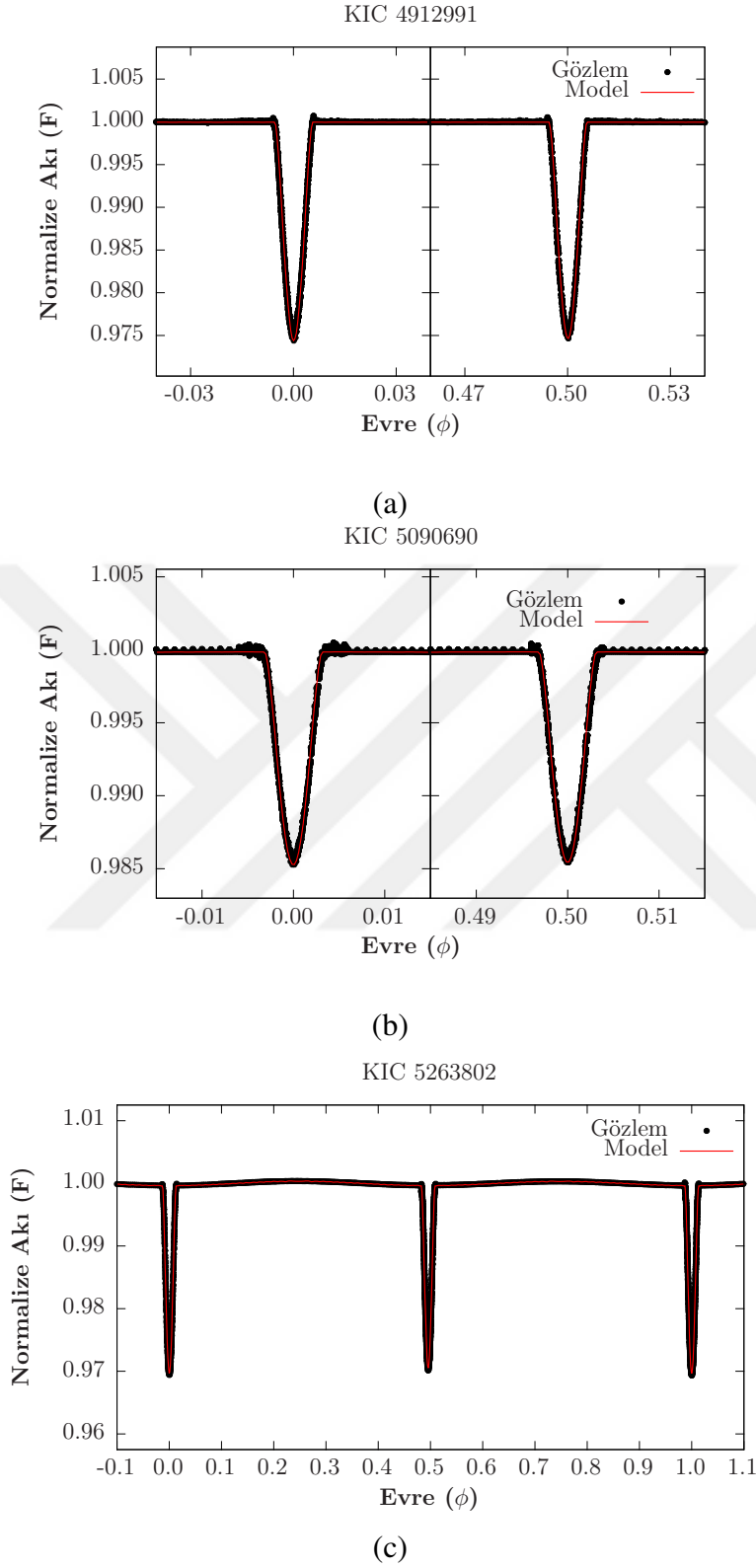
Şekil 8.4. (a) EPIC 211995966 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) EPIC 211997641 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) EPIC 211999656 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



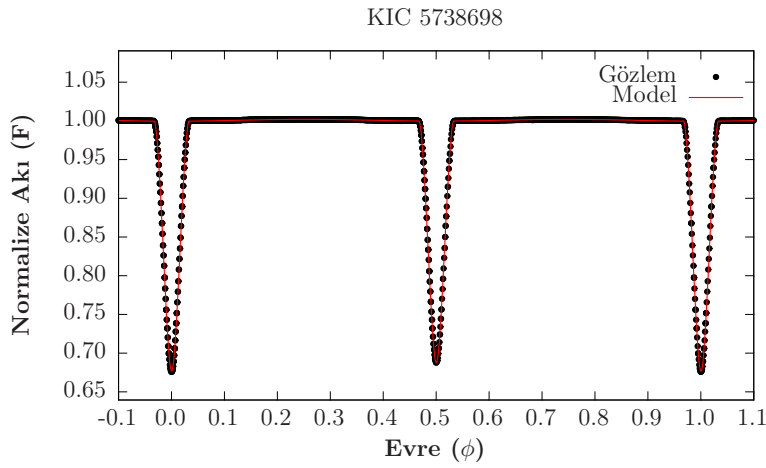
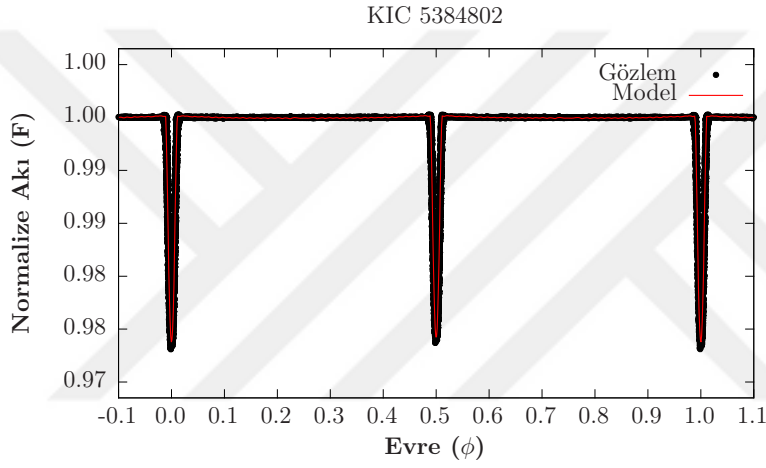
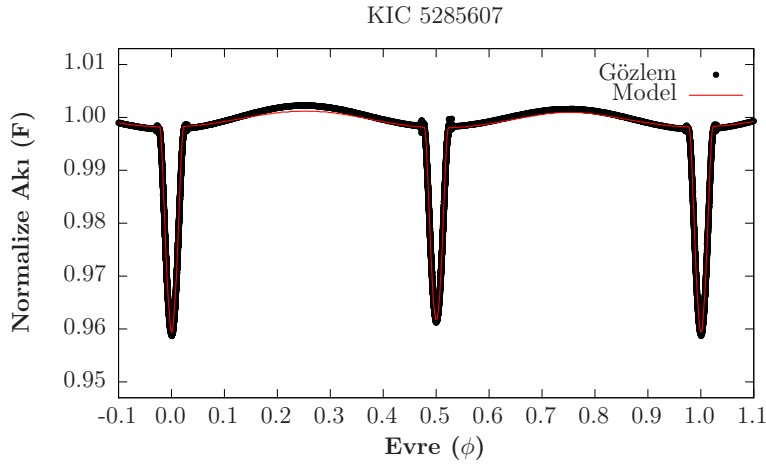
Şekil 8.5. (a) KIC 3248019 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 3654950 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4157488 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



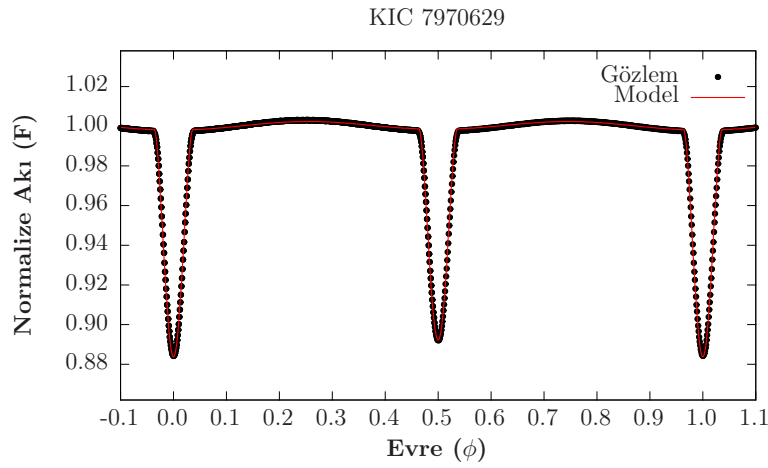
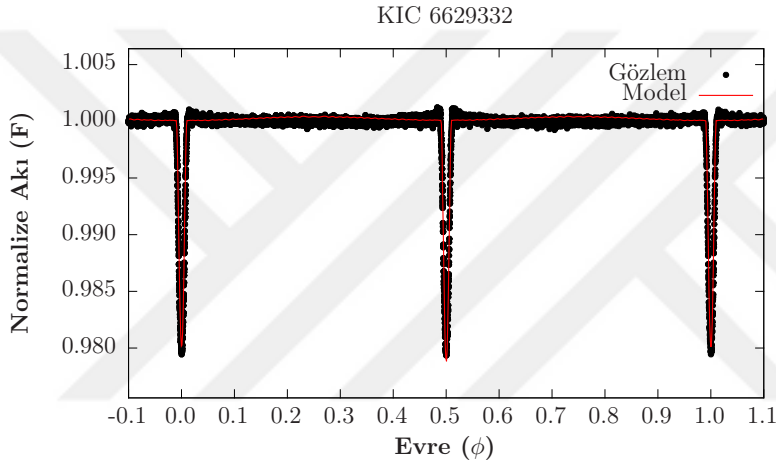
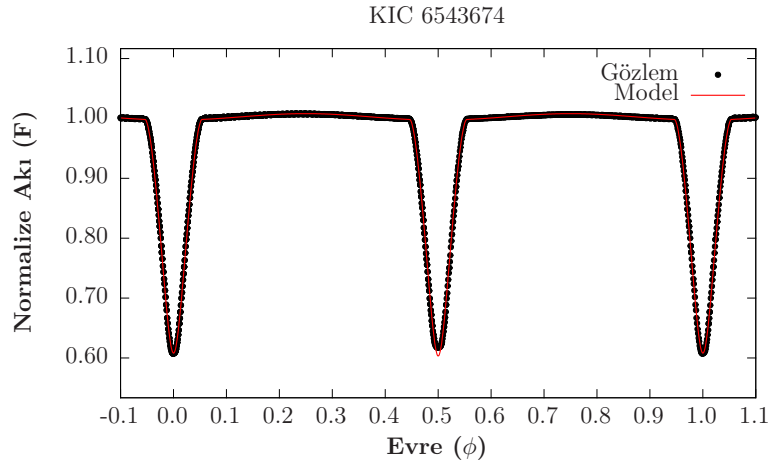
Şekil 8.6. (a) KIC 4365461 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 4826439 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4912589 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



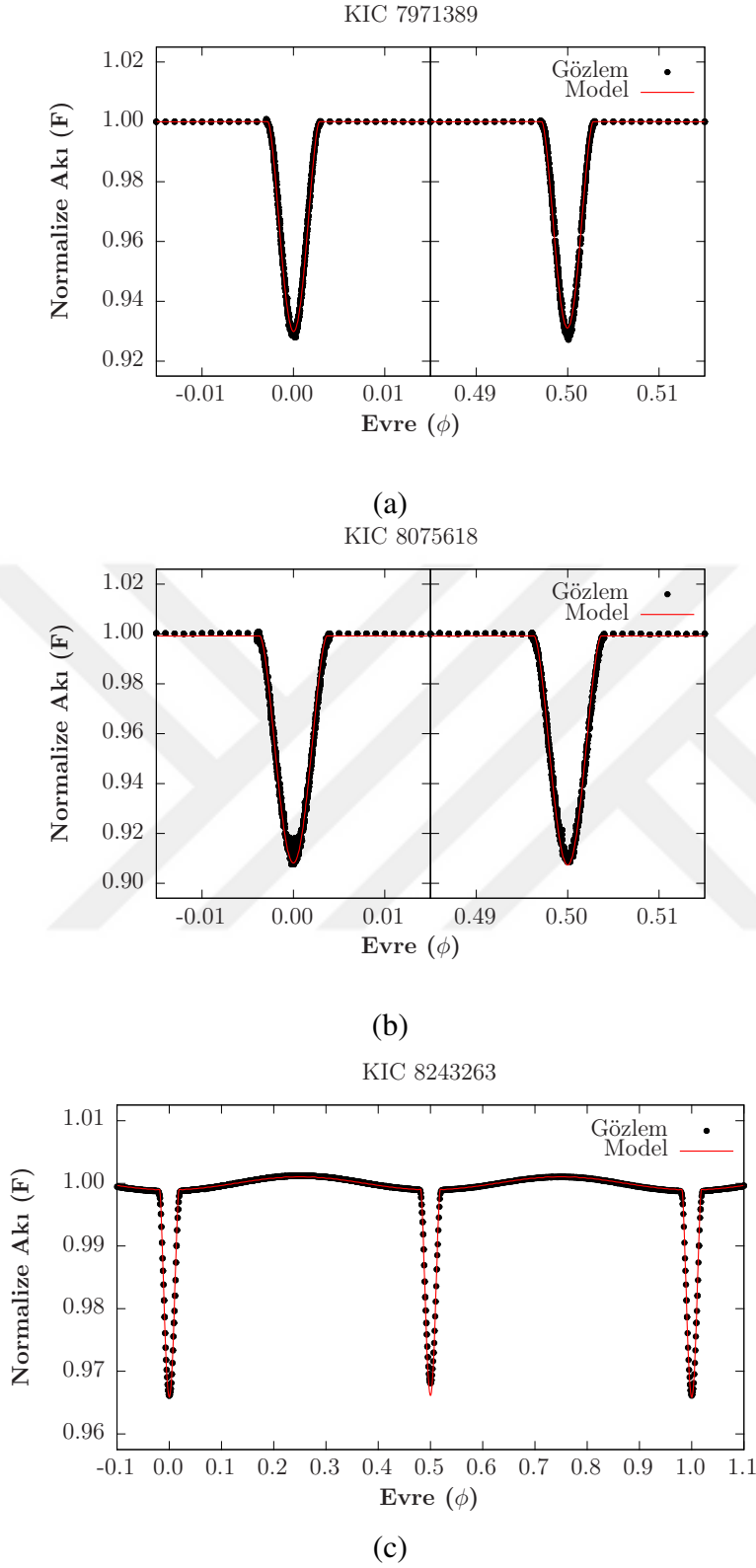
Şekil 8.7. (a) KIC 4912991 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5090690 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 5263802 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



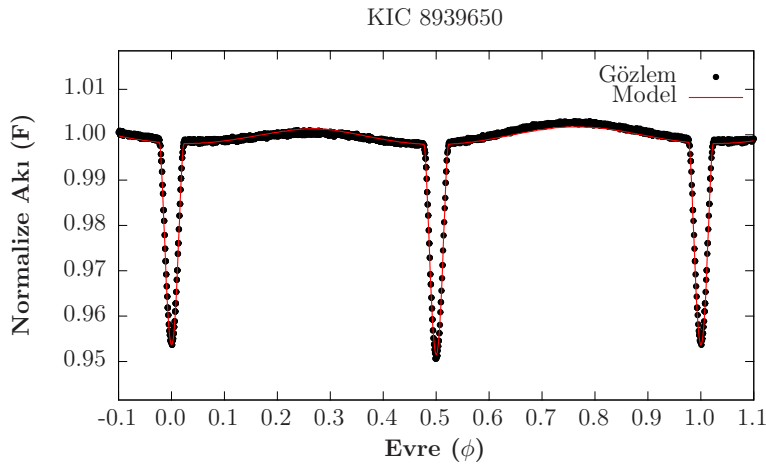
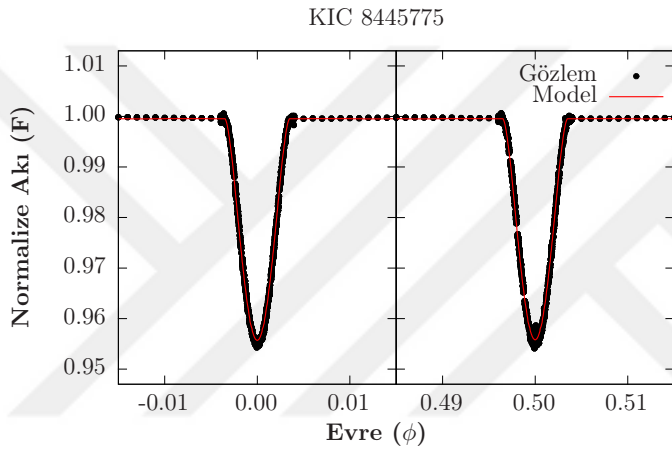
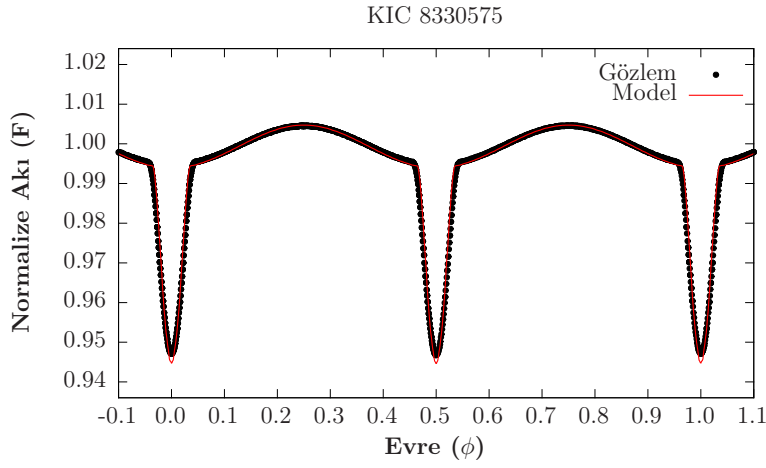
Şekil 8.8. (a) KIC 5285607 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5384802 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 5738698 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



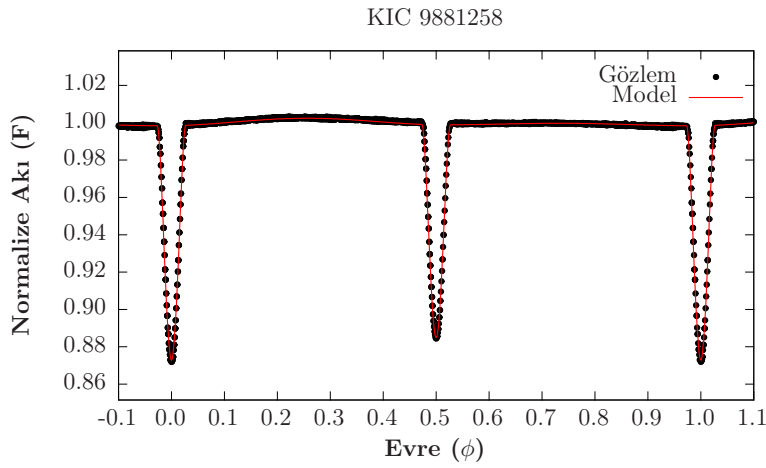
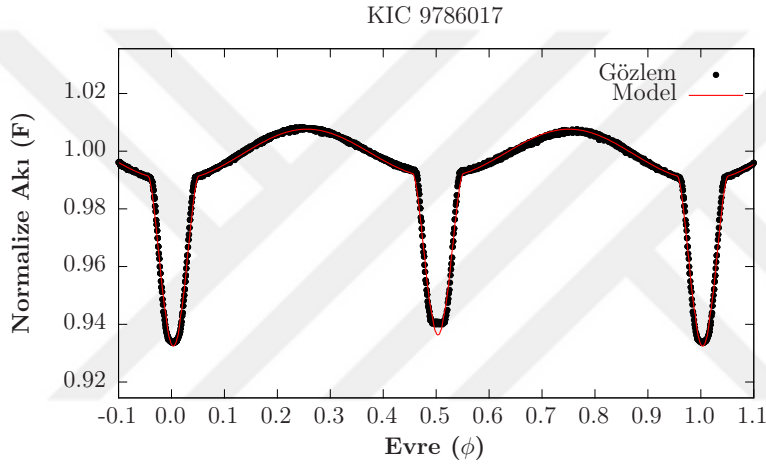
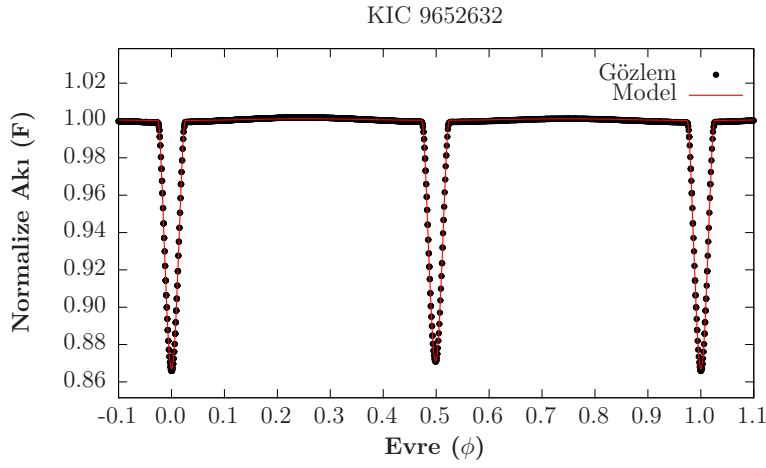
Şekil 8.9. (a) KIC 6543674 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 6629332 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 7970629 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



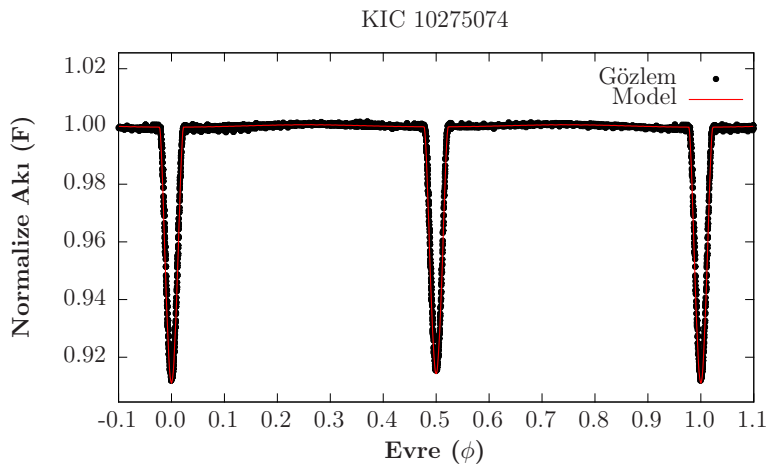
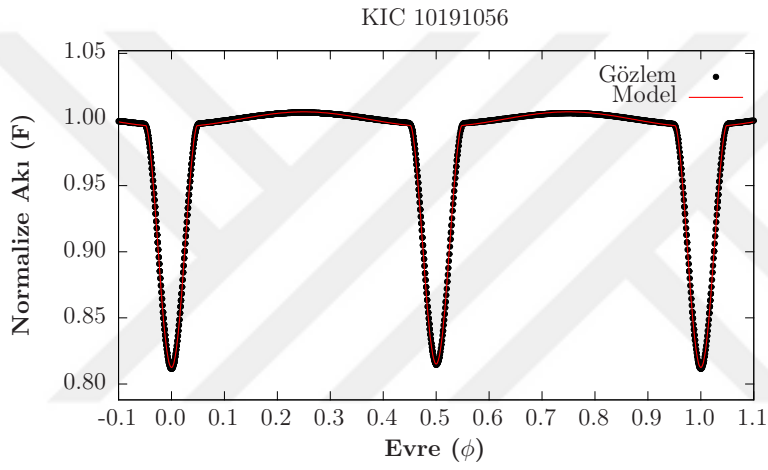
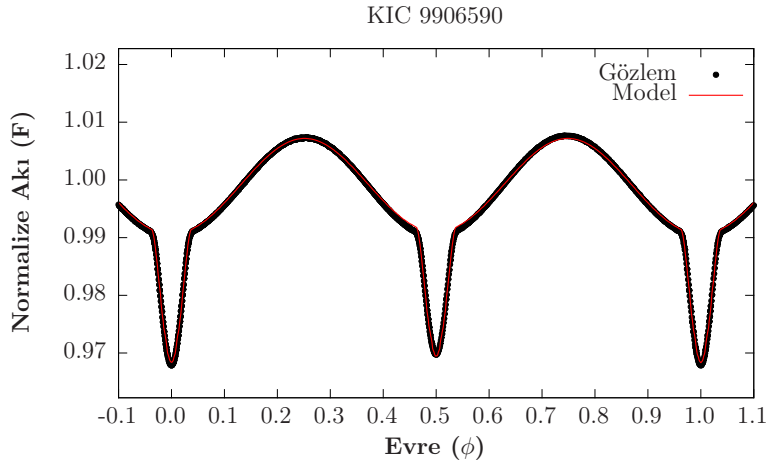
Şekil 8.10. (a) KIC 7971389 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 8075618 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 8243263 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



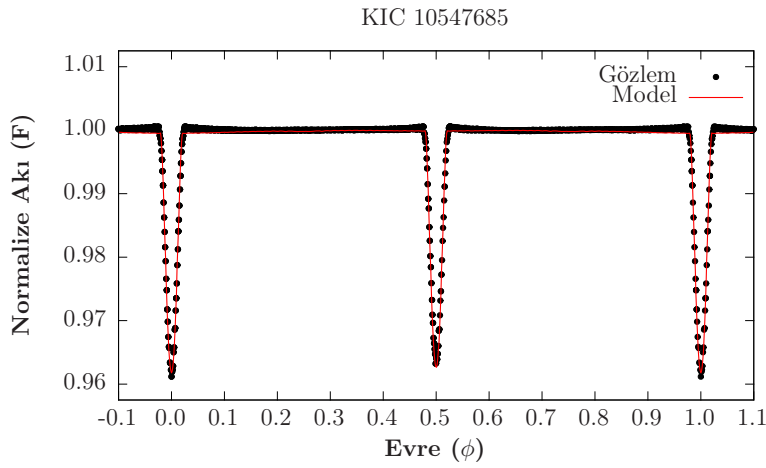
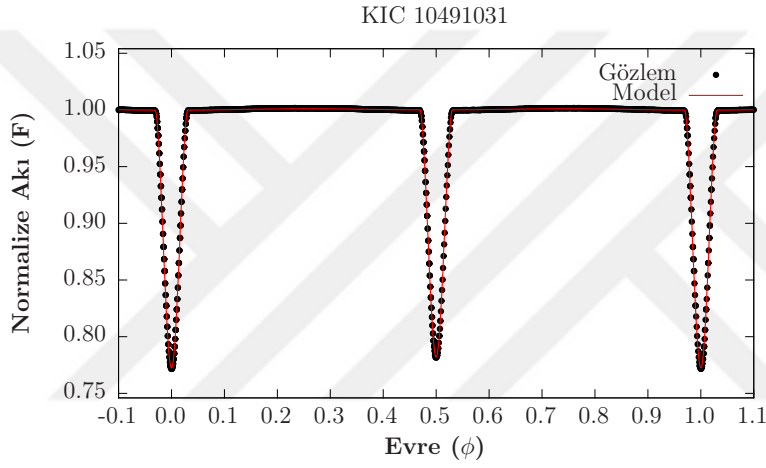
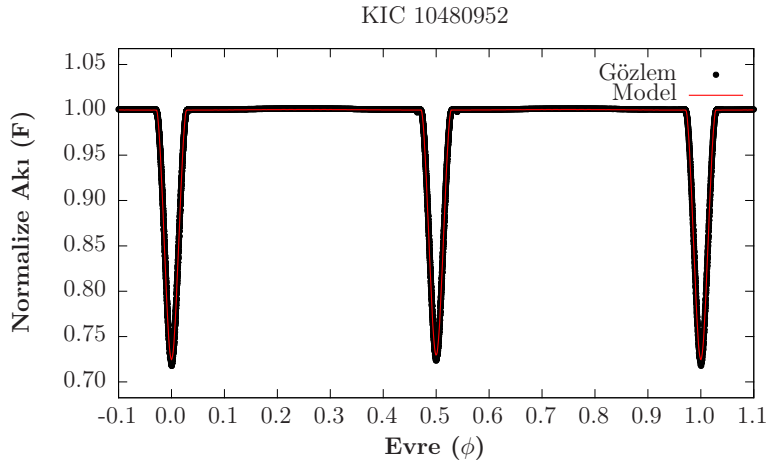
Şekil 8.11. (a) KIC 8330575 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 8445775 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 8939650 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



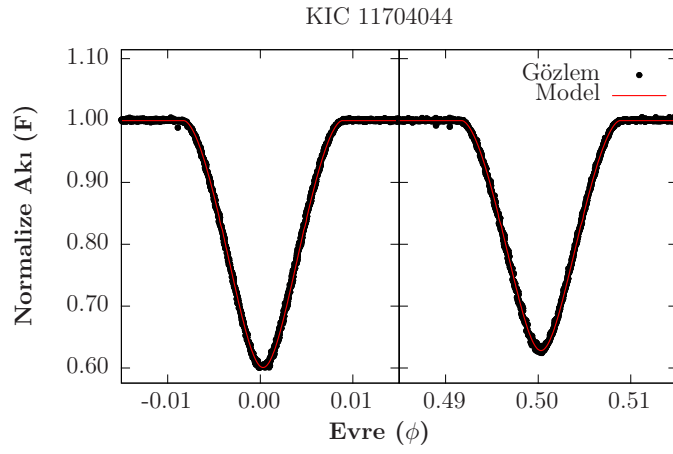
Şekil 8.12. (a) KIC 9652632 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 9786017 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 9881258 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



Şekil 8.13. (a) KIC 9906590 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 10191056 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 10275074 çift sisteminin ışık eğrisi modeli

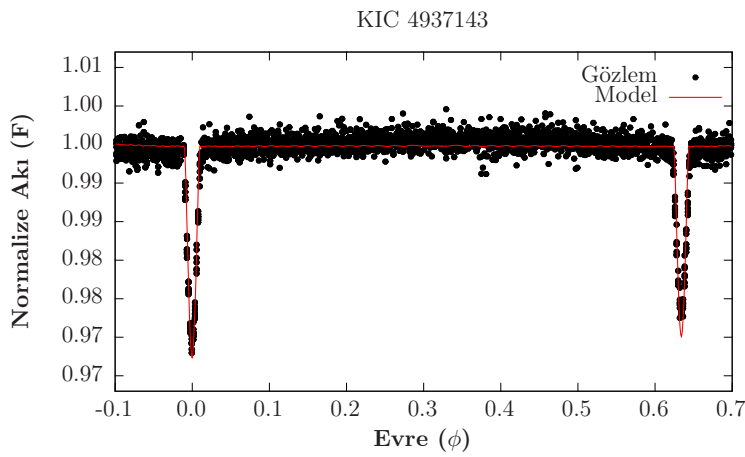
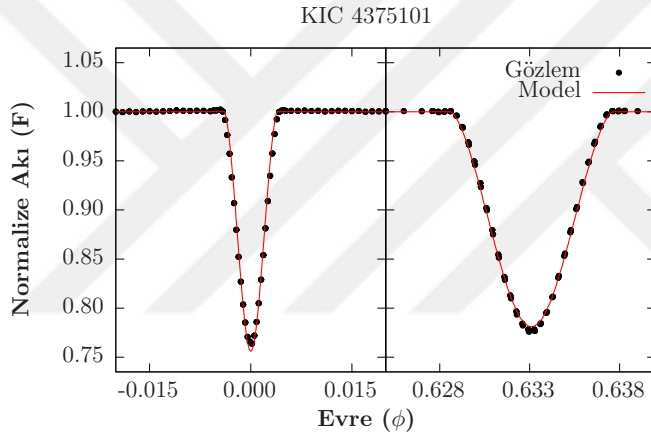
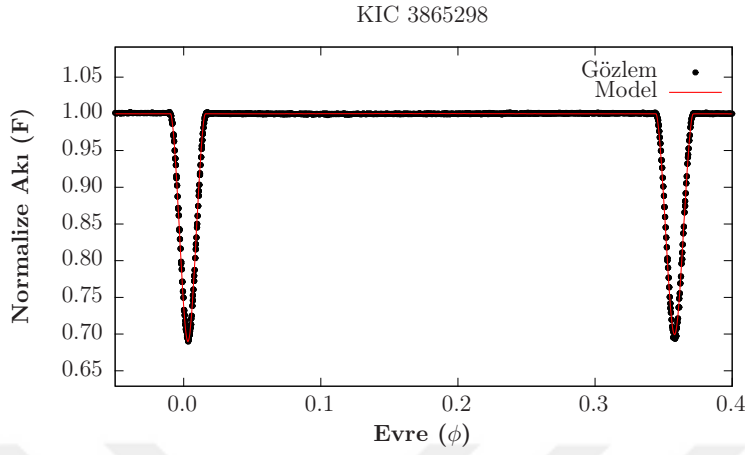


Şekil 8.14. (a) KIC 10480952 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 10491031 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 10547685 çift sisteminin ışık eğrisi modeli

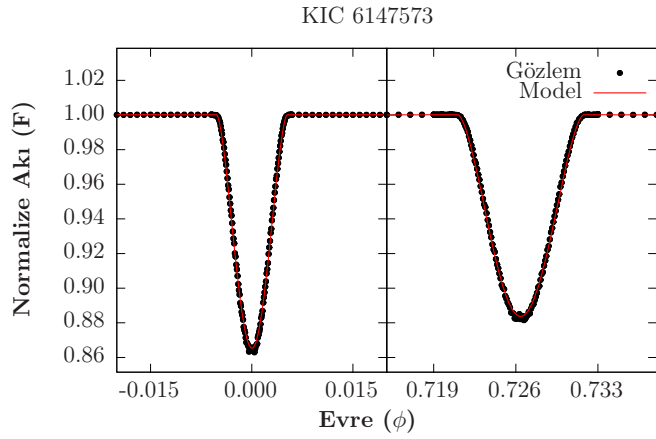
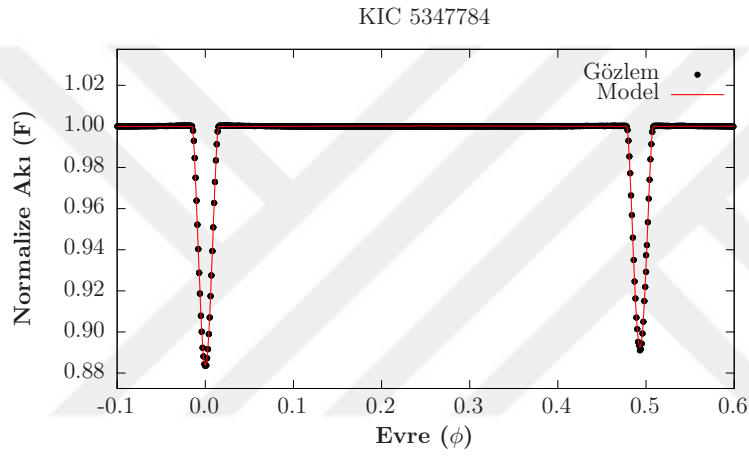
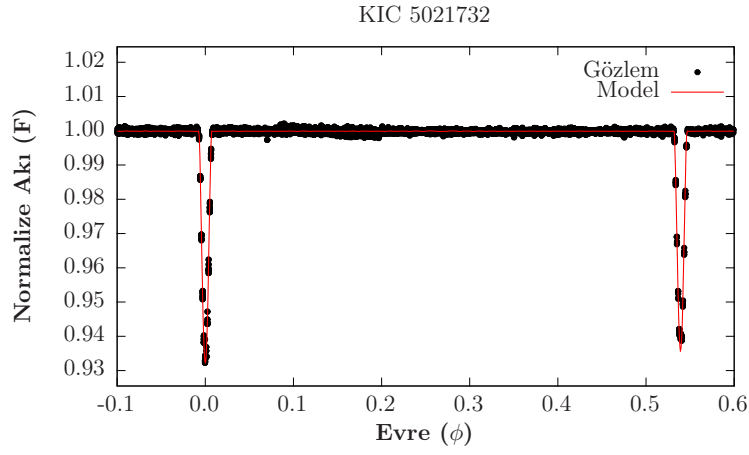


Şekil 8.15. KIC 11704044 çift sisteminin ışıık eğrisi modeli

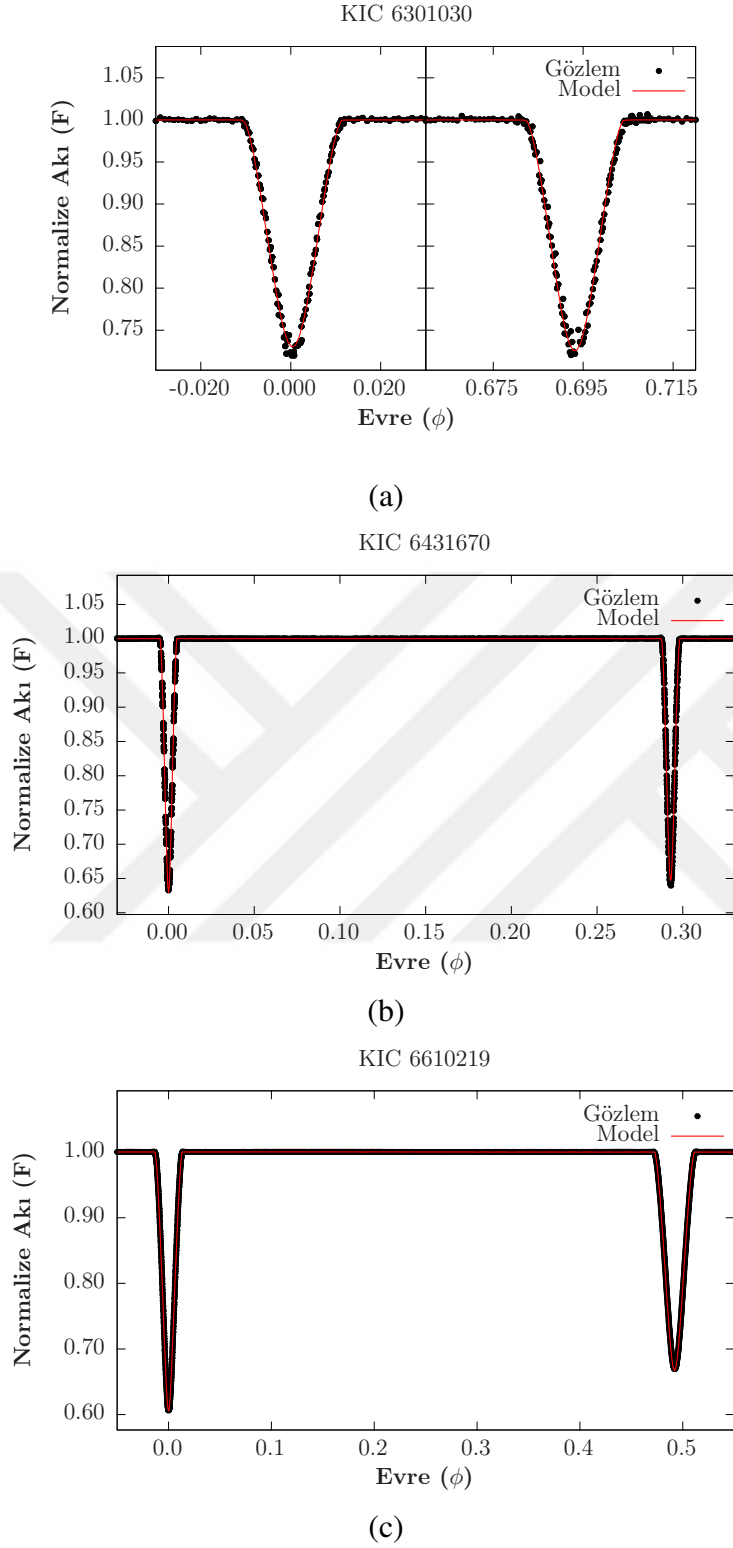
EK-5. İkiz oldukları belirlenen basık yörüngeli örten çift yıldız sistemlerinin ışık eğrisi modelleri



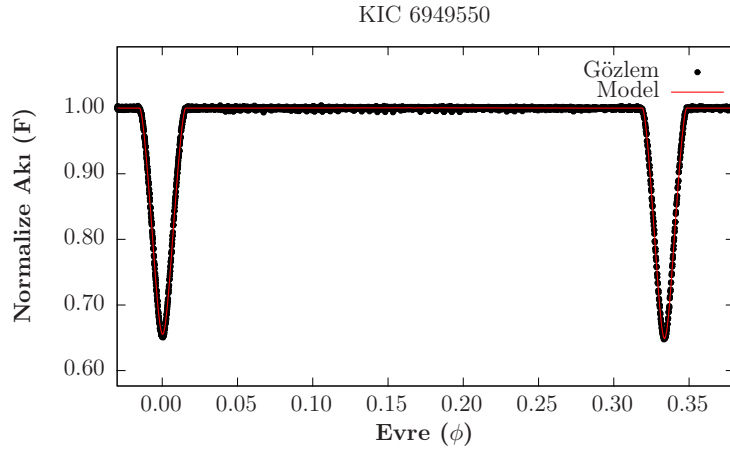
Şekil 8.16. (a) KIC 3865298 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 4375101 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 4937143 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



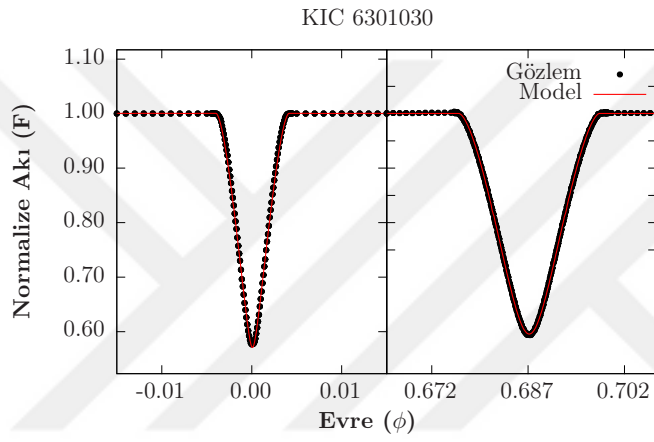
Şekil 8.17. (a) KIC 5021732 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 5347784 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 6147573 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



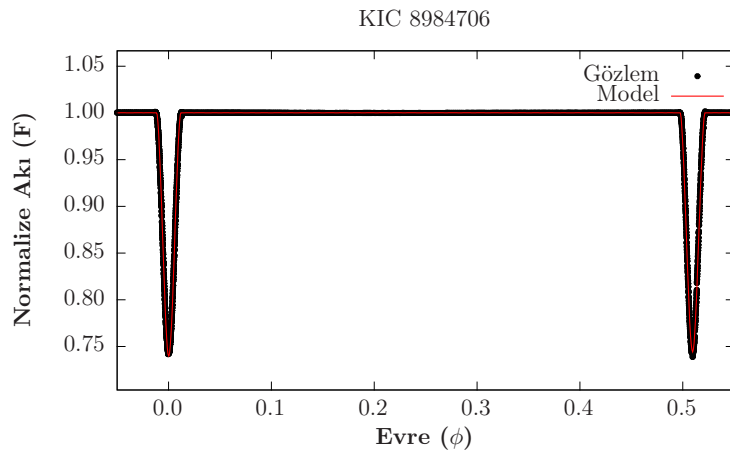
Şekil 8.18. (a) KIC 6301030 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 6431670 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 6610219 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



(a)

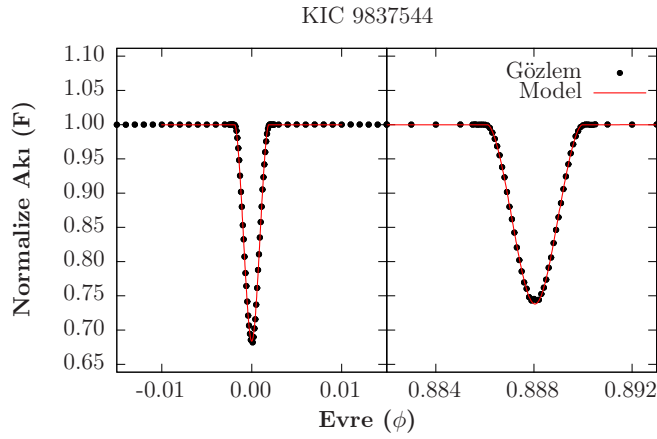
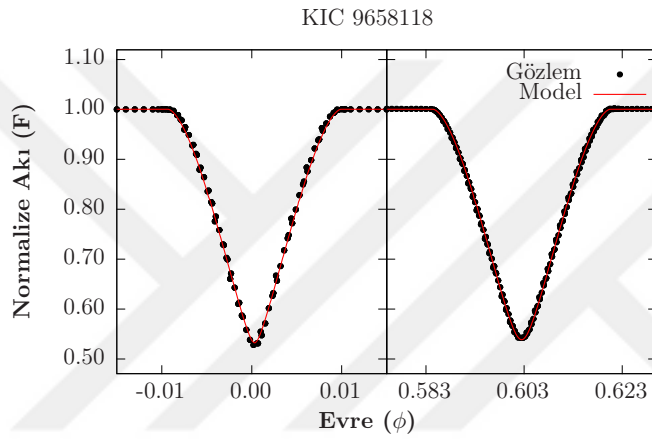
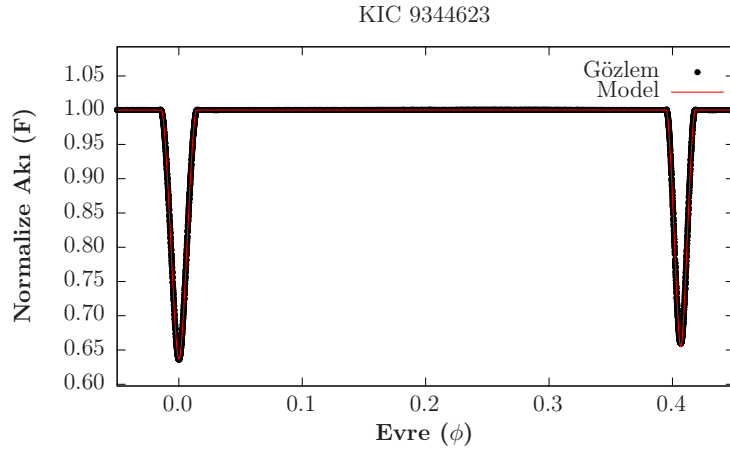


(b)



(c)

Şekil 8.19. (a) KIC 6949550 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 8700506 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 8984706 çift sisteminin ışık eğrisi modeli



Şekil 8.20. (a) KIC 9344623 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (b) KIC 9658118 çift sisteminin ışık eğrisi modeli; (c) KIC 9837544 çift sisteminin ışık eğrisi modeli

ÖZGEÇMİŞ

GÖKHAN YÜCEL

ÖĞRENİM BİLGİLERİ:

Doktora 2016 - 2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya
Yüksek Lisans 2011 - 2015	Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Isparta
Lisans 2006 - 2011	Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Anabilim Dalı, Isparta

ESERLER:

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Yücel, G. and Bakış, V. 2022. Detailed Evolutionary Models for Twins in Sight of New Spectral Data: AN Cam, RS Ari, and V455 Aur. *MNRAS*. Hakemde.

2- Yücel, G. and Bakış, V. 2022. A List of 49 New Stellar Twins from Kepler Catalog Eclipsing Binary Stars. *MNRAS*. 514(1), 34-42.

3- Bakış, V., Eker, Z., Bakış, H., Kayacı, S., Yücel, G., Tunç, E., Taşpınar, Ö., Yalçın, T., Melnik, A. ve Esendağlı, Ç. 2022. Orbital Period Changes in IO Cep, IM Cep and TX Ari: Path to Masses of Distant Components. *New Astronomy*, 93, 101754.

4- Bakış, V., Eker, Z., Sarı, O., Yücel, G. and Sonbaş, E. 2020. ASAS Census of Twins. *MNRAS*, 496, 2605-2612.

5- Bakış, V., Sarı, O., Yücel, G., Sonbaş, E and Bakış, H. 2019. Digging out Twin-Binary Star Systems from the ASAS Catalogue and Determining Their Physical Parameters. *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, 49, 236-240.

6- Bakış, V., Yücel, G. and Bakış, H. 2018. V1719 Aql: A Solar-type Twin Binary. *New Astronomy*, 65, 16-20

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Bakış, V., Yücel, G., Nitschelm, C., Eker, Z. and Bakış, H. 2018. Determining the Stellar Parameters of ET Cru and LP Ara and Investigation of Their Relationship with Nearby Stellar Associations. *Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi*, Bodrum, Muğla.