



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

FİZİK ANABİLİM DALI

**SEÇİLEN BAZI AYRIK TÜRÜ ÇİFT YILDIZLARIN
BAZI TEMEL PARAMETRELERİNİN UYDU VERİLERİ
KULLANILARAK BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GONCA ŞANDA

Tez Danışmanı

PROF. DR. ESİN SOYDUGAN

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

SEÇİLEN BAZI AYRIK TÜRÜ ÇİFT YILDIZLARIN
BAZI TEMEL PARAMETRELERİNİN UYDU VERİLERİ
KULLANILARAK BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GONCA ŞANDA

Tez Danışmanı
PROF. DR. ESİN SOYDUGAN

ÇANAKKALE – 2023



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Gonca ŞANDA tarafından Prof. Dr. Esin SOYDUGAN yönetiminde hazırlanan ve **29/08/2023** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “Seçilen Bazı Ayrık Türü Çift Yıldızların Bazı Temel Parametrelerinin Uydu Verileri Kullanılarak Belirlenmesi” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Esin SOYDUGAN

(Danışman)

Prof. Dr. Caner ÇİÇEK

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

İmza

.....

.....

.....

Tez No : 10570287

Tez Savunma Tarihi : 29/08/2023

.....
Prof. Dr. Ahmet Evren ERGİNAL
Enstitü Müdürü
.././2023

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarımı kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Gonca ŞANDA

../../2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen, bütün hatalarıma rağmen her zaman beni yüreklendirip yol gösterici olan, lisans eğitimimde dahi öğrencisi olduğum için kendimi şanslı hissettiğim saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Esin SOYDUGAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman varlığını hissettiğim, stresli olduğum anlarda dahi bana katlanan ve hep yanımda olan sevgili eşim Ahmet ŞANDA'ya ve çalışmama müsaade edip sabırla bekleyen oğullarım Gökhan ŞANDA , Yusuf ŞANDA ve Asaf ŞANDA'ya teşekkür ediyorum.

Her türlü zorluğa rağmen eğitime devam etmemi sağlayan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, eğitim ne kadar önemli olduğunu bize aşıl原因 ve hakkını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim sevgili annem Kıymet SARI'ya çok teşekkür ediyorum.

Zorlandığım anlarda dahi destekleri ile beni motive eden , hayatımda var oldukları için kendimi her zaman değerli hissettiğim sevgili kardeşlerim Gamze SARI ve Adel SARI'ya teşekkür ediyorum.

Gonca ŞANDA
Çanakkale, Ağustos 2023

ÖZET

SEÇİLEN BAZI AYRIK TÜRÜ ÇİFT YILDIZLARIN BAZI TEMEL PARAMETRELERİNİN UYDU VERİLERİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

Gonca ŞANDA

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Esin SOYDUGAN

29/08/2023, 59

Gökadamızın en temel yapı taşları olan yıldızların doğasını anlamak için öncelikle onların temel parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Yıldız astrofizikinde bunun için kullanılan en duyarlı yolların başında, örten çift yıldızların ışık ve dikine hız eğrilerinin analizi gelmektedir. Özellikle Roche sınıflamasına göre ayrik çift yıldızlar olarak tanımlanan dizgelerin analizleri, temel astrofiziksel parametrelerinin belirlenmesinde en duyarlı sonuçlar vermektedir. Ayrik çift sistemler, ek olarak, çift çizgili tayfsal çift ise ve ayrıca bileşenlerinin doldurma oranları da düşükse, hesaplanan temel mutlak parametrelerin hataları yüzde birkaç mertebesinde olabilmektedir. Bu durum da, bu tür sistemleri yıldız yapı ve modellerinin testlerinde önemli kaynaklar haline getirmektedir. Bu nedenle, önerilen yüksek lisans tez çalışmasında da araştırılacak hedef kaynaklar, ayrik dizgelerden seçilecektir.

Yüksek lisans tez çalışmasında, hassas fotometrik veri üreten *TESS* uydu veri tabanlarından, ayrik çift sistemler seçilmiştir. Aday seçimi yapılırken, yakınlık etkilerinin minimum olduğu veya bileşenlerinin doldurma oranlarının %70-75'in altında olduğu sistemler tercih edildi ve bu sistemlerin duyarlı fotometrik analizlerinin olmamasına dikkat edildi. Ek olarak, seçilen her bir sistemin Gaia-DR3 duyarlı trigonometrik paralaks ölçümlerinin olması da kriter olarak kullanıldı.

Seçilen ayrıık sistemlerin *TESS* ışık eğrileri ve dikine hız eğrileri de eklenerek, analiz edilerek fotometrik parametreleri hesaplandı. Yıldızlararası kızıllaşma değerleri de hesaplandıktan sonra her bir sistem için fotometrik uzaklıklar belirlendi ve bunların *Gaia* uydusunun uzaklık değerleriyle karşılaştırıldı.

Önerilen tez çalışmasındaki tüm sistemlerin, temel mutlak parametreleri, klasik anakol yıldızlarının değerleriyle, kütle-ışıtma, kütle-sıcaklık ve kütle-yarıçap bağıntılarıyla karşılaştırılarak yorumlandı. Ayrıca, her bir sistemin bileşenlerinin Hertzsprung Russell (HR) diyagramındaki konumları belirlendi.

Anahtar Kelimeler: çift yıldızlar: ayrıık çift yıldızlar, yıldızlar: temel parametreler, anakol yıldızları

ABSTRACT

DETERMINATION OF SOME BASIC PARAMETERS OF SELECTED DETACHED BINARY STARS BY USING SATELLITE DATA

Gonca ŞANDA

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Thesis in Physics

Advisor: Prof. Dr. Esin SOYDUGAN

29/08/2023, 59

In order to understand the nature of the stars, which are the most basic building blocks of our galaxy, firstly their basic parameters must be determined. Analysis of the light and radial velocity curves of the covering binary stars is one of the most sensitive ways used for this in stellar astrophysics. Analyzes of the systems defined as detached binary stars according to the Roche classification give the most sensitive results in determining the basic astrophysical parameters. Detached binary systems, in addition, if the double-line spectroscopic binary and also the filling rates of its components are low, the errors of the calculated basic absolute parameters can be in the order of a few percent. This makes such systems important resources in the testing of stellar structure and evolutionary models. Therefore, in the proposed master thesis study, the target sources to be researched will be selected from detached binary stars.

In the master thesis study, detached binaries were selected from TESS satellite databases that produce sensitive photometric data. While making candidate selection, systems where the proximity effects are minimum or the filling rates of their components are below 70-75% were preferred and that these systems do not have sensitive photometric analysis. In addition, having Gaia-DR3 sensitive trigonometric parallax measurements for each selected system were used as a criterion.

TESS light curves of detached systems and their radial velocity curves were analyzed simultaneously to determine photometric parameters. Using calculated interstellar reddening values photometric distances were determined for each system and they were compared with Gaia satellite distance values.

The basic absolute parameters of all systems in the proposed thesis study were interpreted by comparing the values of classical main-sequence stars with mass-luminosity, mass-temperature and mass-radius relations. In addition, the positions of the components of the each systems on the Hertzsprung Russell (HR) diagram were determined and discussed.

Keywords: binary stars: detached binary stars, stars: absolute parameters, main-sequence stars

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	x
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

1.1. Örten Çift Yıldızlar	3
1.1.1. W UMa Türü Örten Değişenler.....	3
1.1.2. Beta Lyr Türü Örten Değişenler.....	6
1.1.3. Algol Türü Örten Değişenler.....	8

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

12

2.1. Roche Modeli.....	12
2.2. Basık Yörüngeli Ayrık Çift Sistemler.....	16

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL YÖNTEM

20

3.1. TESS Veri Tabanı.....	20
3.2. Işık Eğrilerinin Evrelendirilmesi ve Normalizasyonu.....	21
3.3. Wilson Devinney Yöntemi.....	24

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		27
ARAŞTIRMA BULGULARI		
4.1. UZ Draconis Örtlen Çift Yıldız Sistemi.....		27
4.1.1. Işık Eğrisi Modellemesi.....		27
4.2. FT Orionis Örtlen Çift Yıldız Sistemi		32
4.2.1. Işık Eğrisi Modellemesi.....		33
4.3. MU Cassiopeiae Örtlen Çift Yıldız Sistemi.....		36
4.3.1. Işık Eğrisi Modellemesi.....		36
BEŞİNCİ BÖLÜM		40
SONUÇ ve ÖNERİLER		
KAYNAKÇA		50

SİMGELER VE KISALTMALAR

TESS	Transiting Exoplanet Survey Satellite
W-D	Wilson-Devinney Yazılımı (2005)
EA	Algol Türü Örtün Çift Sistem
EB	Beta Lyrae Türü Örtün Çift Sistem
EW	W UMa Türü Örtün Çift Sistem
L_1	Birinci bileşenin kesirsel ışınım gücü
L_2	İkinci bileşenin kesirsel ışınım gücü
L_3	Üçüncü bileşenin kesirsel ışınım gücü
L_{top}	$L_1+L_2+L_3$
M_{\odot}	Güneş kütlesi
$m_{1,2}$	Bileşen yıldızların kütleleri
T_0	Tutulma başlangıç zamanı (Yörünge Ephemerisi)
P	Çift yıldızların yörünge dönemi
$r_{1,2}$	Bileşen yıldızların kesirsel yarıçapları
a	Çift yıldızın yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu
e	Yörünge basıklığı
w	Enberi boylamı
ϕ	Dönemdeki kayma miktarı (Evre kayması)
V_{γ}	Çift sistemin hızı
i	Yörünge eğikliği
$g_{1,2}$	Bileşenlerinin çekim kararması katsayıları
$T_{1,2}$	Bileşen yıldızların yüzey sıcaklıkları
F_1, F_2	Bileşenlerin açısal dönme hızlarının açısal dolanma hızlarına oranı
$A_{1,2}$	Bileşenlerin bolometrik albedoları
$\Omega_{1,2}$	Bileşen yıldızların yüzey potansiyelleri
q	Çift sistemdeki bileşen yıldızların kütle oranı (m_2/m_1)
$x_{1,2}$	Bileşen yıldızların kenar kararma katsayıları
O,B,A,F,G,K,M	Yıldızların tayf türleri
K	Kelvin
Å	Angström

G	Evrensel çekim sabiti
π	Pi
O-C	Gözlenen-hesaplanan minimum zamanı farkı



TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Seçilen sistemlerin ışık öğeleri	22
Tablo 2	UZ Dra sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri	31
Tablo 3	UZ Dra sistemi bileşenlerinin mutlak parametreleri	31
Tablo 4	FT Ori sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri	35
Tablo 5	FT Ori sistemi bileşenlerinin mutlak parametreleri	35
Tablo 6	MU Cas sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri	39
Tablo 7	MU Cas sistemi bileşenlerinin mutlak parametreleri	39
Tablo 8	UZ Dra sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma	42
Tablo 9	UZ Dra sistemi mutlak parametreleri daha önceki çalışma ile karşılaştırma	42
Tablo 10	FT Ori sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma	45
Tablo 11	FT Ori sistemi mutlak parametreleri daha önceki çalışma ile karşılaştırma	45
Tablo 12	MU Cas sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma	47
Tablo 13	MU Cas sistemi mutlak parametreleri daha önceki çalışma ile karşılaştırma	47

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	log M-log R düzleminde anakol bandında, çift çizgili ayrık çift sistemlerin bileşenlerinin dağılımları (Eker vd., 2018).	3
Şekil 2	Farklı süzgeçlerde elde edilen W UMa türü V826 Aur'un örten çift sistemin ışık eğrileri (Tobin ve Berrington, 2023).	6
Şekil 3	Farklı süzgeçlerde elde edilen Beta Lyr türü V1425 Cyg sisteminin ışık eğrisi (Glein ve Wrinkler, 1969).	7
Şekil 4	Algol Çelişkisi.	9
Şekil 5	Maksimumlarında zonklamaların da görüldüğü, klasik Algol türü bir sistemin farklı süzgeçlerde elde edilen ışık eğrileri (Soydugan vd., 2003).	11
Şekil 6	Eş-potansiyel yüzeyler (Skelton, 2009).	13
Şekil 7	Ayrık sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).	14
Şekil 8	Yarı-ayrık sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).	14
Şekil 9	Değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).	15
Şekil 10	Ortak zarf oluşmuş ve yarısı dolmuş aşırı değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).	15
Şekil 11	Ortak zarf oluşmuş ve tamamen dolmuş aşırı değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).	16
Şekil 12	Eksen dönmesi gösteren V578 Mon sisteminin farklı yıllardaki ışık eğrileri. Sürekli çizgiler; 2005-2006 ve 1973-1976 yıllarına, kesikli çizgi 1999-2000 ve kesikli nokta 1995-1996 ve noktalar 1994-1995 yıllarına karşılık gelir (Garcia vd., 2011).	18
Şekil 13	TESS uzay teleskopu.	21
Şekil 14	UZ Dra'nın ışık eğrisi.	22
Şekil 15	FT Ori'nin ışık eğrisi.	23

Şekil 16	MU Cas'ın ışık eğrisi.	23
Şekil 17	UZ Dra sisteminin <i>TESS</i> ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.	29
Şekil 18	UZ Dra sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.	30
Şekil 19	Lacy'nin Cerro Tololo Inter-American Gözlemevi'nde yaptığı gözlemlerde yan minimum evresi (Sabby vd., 2011).	32
Şekil 20	FT Ori sisteminin <i>TESS</i> ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.	34
Şekil 21	FT Ori sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.	34
Şekil 22	MU Cas sisteminin <i>TESS</i> ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.	37
Şekil 23	MU Cas sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.	38
Şekil 24	FT Ori'nin tam tutulmanın görüldüğü yan minimum evresi	43
Şekil 25	UZ Dra sisteminin bileşenlerinin <i>logM-logR</i> diyagramındaki dağılımları.	48
Şekil 26	FT Ori sisteminin bileşenlerinin <i>logM-logR</i> diyagramındaki dağılımları.	49

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Gökyüzünde yer alan yıldızların büyük çoğunluğunun –en az yarısının- ikili veya çoklu yıldız sistemlerinden oluştuğu bilinmektedir (Bradley ve Dale, 2007). Bunların çoğu çift sistemlerdir. Çift yıldızları, çekim kuvvetiyle birbirine bağlı olan ve çekimsel etkileşimle ortak kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına göre, yörünge hareketi yapan sistemler olarak tanımlayabiliriz. Keşfedilme yöntemlerine göre çift sistemleri Görsel çiftler, Astrometrik çiftler, Tayfsal ve Örtünme çift sistemler olarak farklı sınıflara ayırabiliriz. Görsel çift dediğimiz sistemlerin her iki bileşeni de gözle veya teleskopla ayırt edilir. Aralarındaki uzaklığın çok büyük olmasından dolayı birbirlerine fiziksel olarak bağlı değildir. Astrometrik çiftlerin parlak bileşenin, diğer bileşen etrafındaki çevrimli hareketinden çift oldukları anlaşılır. Tayfsal çiftlerde bileşenlerin tayf çizgilerindeki Doppler kaymalarından sistemin bir çift sistem olduğu anlaşılır. Görünürde çift sistem tek bir yıldız gibi görünür ve bileşenlerin dikine hızları dönemli olarak değişim gösterir. Yörünge düzlemi gözlemcinin bakış doğrultusuna dik olduğu durumdan farklı bir açı yaparsa, yörünge eğim açısı ve çift sistemin yörünge dönemine bağlı olarak tayf çizgilerinde çevrimli bir değişim gözlenir. Bir çift sistemin bileşenleri ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yaparken, bileşen yıldızların birbirlerini örtme ve/veya örtülmesiyle sistemin parlaklığındaki değişimden çift oldukları anlaşılan sistemler de örtünme çift sistemlerdir. Örtünme çift sistemlerde zamana karşı parlaklık değişimlerinin meydana getirdiği ışık eğrileri farklı derinliklerde minimumlara sahiptir. Baş (birinci) minimum genellikle daha büyük kütleli ve daha sıcak bileşenin yoldaş (ikinci) bileşen tarafından örtülmesiyle, yan (ikinci) minimum genellikle daha soğuk ve daha küçük kütleli bileşenin baş bileşeni örtmesiyle meydana gelir. Bütün çift sistemler örtünme ve örtülme yani tutulma göstermez. Örtünme örtülme koşulu; çift sistemin yörünge geometrisine (bileşenlerin yarıçapları, aralarındaki uzaklık ve yörünge düzleminin bakış doğrultumuzla yaptığı açı) bağlıdır.

Çift sistemlerin astrofizik açısından önemi; sistemlerin bileşenlerinin geometrik, fiziksel ve mutlak parametrelerinin duyarlı olarak belirlenmesinin yanında yıldız rüzgarları, bileşen etrafındaki madde yığılması ve disk oluşumu, kütle aktarımı, kümeler,

yıldızlararası ortam ve galaksiler hakkında da bilgi sahibi olmamızı sağlar. Bilindiği üzere, Güneş'in dışında, tek yıldızların fiziksel parametrelerinin belirlenmesi teorik modellerle mümkündür. Bu nedenle çift sistemler üzerinde yapılan çalışmalar oldukça önemlidir. Tek yıldızların kütlesi, yarıçapı doğrudan belirlenemezken, çift yıldızlar üzerine yapılan çalışmalarla çift yıldız sistemlerinin mutlak parametreleri (kütle, yarıçap) duyarlı olarak belirlenebilir. Özellikle örten çiftlerin çift çizgili tayfsal çift olmaları durumunda, mutlak parametreler yüzde birkaç duyarlılıkla hesaplanabilir (Andersen, 1991; Torres vd., 2010; Eker vd., 2014).

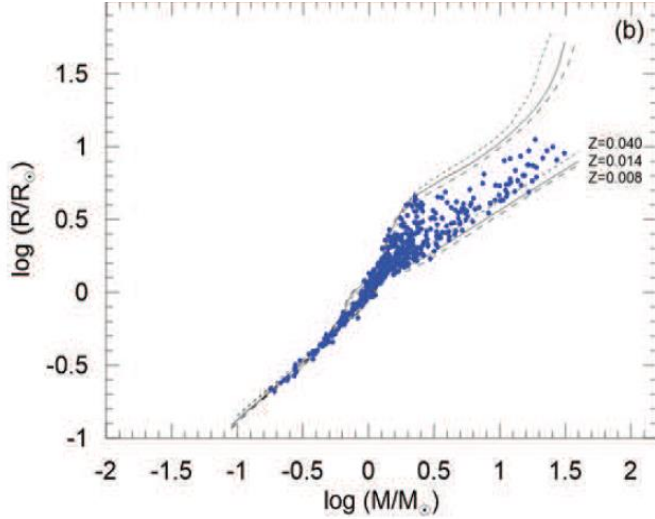
Kepler yasalarına göre ortak kütle merkezi etrafında hareket eden çift sistemler için, üçüncü yasa;

$$G (m_1 + m_2) = 4\pi^2 \frac{a^3}{P^2} \quad (1.1)$$

şeklinde verilir. Burada; G evrensel çekim sabiti, m_1 ve m_2 sırasıyla çift sistemin baş (birinci) ve yoldaş (ikinci) bileşenlerinin kütleleri, a yarı-büyük eksen uzunluğu ve P çift sistemin yörünge dönemidir (Hilditch, 2001).

Bileşen yıldızlar arasındaki uzaklık, çift sistemin yörünge dönemi ve bileşenlerin kütle oranı (m_2/m_1) biliniyorsa veya bileşenlerden birisinin kütlesi de biliniyorsa çift sistemin diğer bileşeninin kütlesi de belirlenebilir.

Kütle belirlemek için bir diğer yöntemde çift dizgenin ışık ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı modellenmesidir. Bileşenlerin kütlelerinin belirlenmesi, evrim durumlarının ortaya konması için en önemli parametredir. Özellikle anakol bandında yer alan ayırık sistemlerin duyarlı mutlak parametrelerini içeren güncel kataloglar Torres vd. (2010), Eker vd. (2014, 2018) tarafından yayınlanmıştır. Burada 250 çift çizgili ayırık tayfsal çift sistemlerin duyarlı parametreleri listelenmiştir (bkz. Şekil 1).



Şekil 1. log M-log R düzleminde anakol bandında, çift çizgili ayırık çift sistemlerin bileşenlerinin dağılımları (Eker vd., 2018).

Çift sistemler üzerine yapılan ilk çalışma Mayer (1781) tarafından zeta UMa sistemi üzerine yapılan çalışmadır. Bu çalışmayı ise 1782 yılında Herschel'in yaptığı çalışma izler. Geçmişten bugüne yer tabanlı gözlemlere ilave olarak atmosfer dışı uydu teknolojileriyle yapılan gözlemlerden elde edilen verilerle daha duyarlı ve özellikle küçük genlikli değişimlere neden olan fiziksel süreçlerin açıklanmasına da olanak sağlanmıştır. 1783 yılında John Goodricke'in β Persei'nin (Algol), parlaklığındaki değişimi belirlemesiyle başlayan örten çift sistemler üzerindeki çalışmalar, bu tez konusunun da ana içeriğini oluşturmaktadır.

Örten çift sistemler farklı gruplar şeklinde sınıflanabilir: Işık eğrisinin biçimine göre; Algol (EA), Beta Lyrae (EB) ve W UMa (EW); Roche modeline göre; her iki bileşen de doldurmamışsa ayırık sistem, bileşenlerden birisi doldurmuşsa yarı-ayırık sistem ve her iki bileşen de Roche lobunu doldurmuşsa değen sistemler olarak sınıflandırılır.

1.1.Örten Çift Sistemler

1.1.1.W UMa Türü Örten Değişenler

W UMa türü değişenler, A ile K tayf türü arasında bileşen yıldızlara sahip değen yakın çift sistemlerdir (Rucinski, 2004; Skelton ve Smits, 2009). Eggen (1967) Güneş komşuluğundaki değişen yıldızların yaklaşık %95'nin W UMa türü yıldızlar olabileceğini

söylemiştir. Yıldız evrimi çalışmalarında (Kallrath and Milone, 2009; Prša vd., 2016; Latković vd., 2021) ve yıldızlardaki konveksiyonu anlamak için W UMa'lar doğal bir laboratuvardır (Kallrath ve Milone, 2009; Latković vd., 2021). Bu tarz sistemler; 0.2 ile 1 gün arasında yörünge dönemli (Mochnecki vd., 1985), hemen hemen eşit minimum derinlikli ve sıcaklıklı örten çift sistemlerdir. Zarf yüzeyinin her yerde hemen hemen aynı sıcaklıkta bulunması iki minimum derinliğinin eşit olmasının nedeni olarak verilebilir. Daha derin minimum baş minimum olarak kabul edilir. Bazen W UMa'ların ışık eğrileri, çevrimsel değişim gösteren büyük genlikli zonklayan değişen yıldızların ışık eğrileriyle karıştırılabilir.

W UMa türü sistemler A ve W olmak üzere iki türe ayrılır (Binnendijk, 1970; Li, vd., 2008). A türü olan W UMa'larda daha büyük kütleli bileşen daha sıcakken, W türlerinde daha küçük kütleli bileşen daha sıcak olur (Skelton ve Smits, 2009). A türü sistemlerde baş minimumda sıcak bileşenin; önünden geçen soğuk yoldaş bileşen tarafından örtülmesi daha yuvarlak bir minimuma neden olurken, W türü W UMa'larda yüzey sıcaklığı daha fazla olan sıcak bileşenin daha soğuk bileşenin önünden geçerken oluşturduğu minimum düz bir minimum olarak görülür karşımıza çıkar. A türü W UMa'ların yörünge dönemleri, W türündeki sistemlerin dönemlerinden daha uzundur.

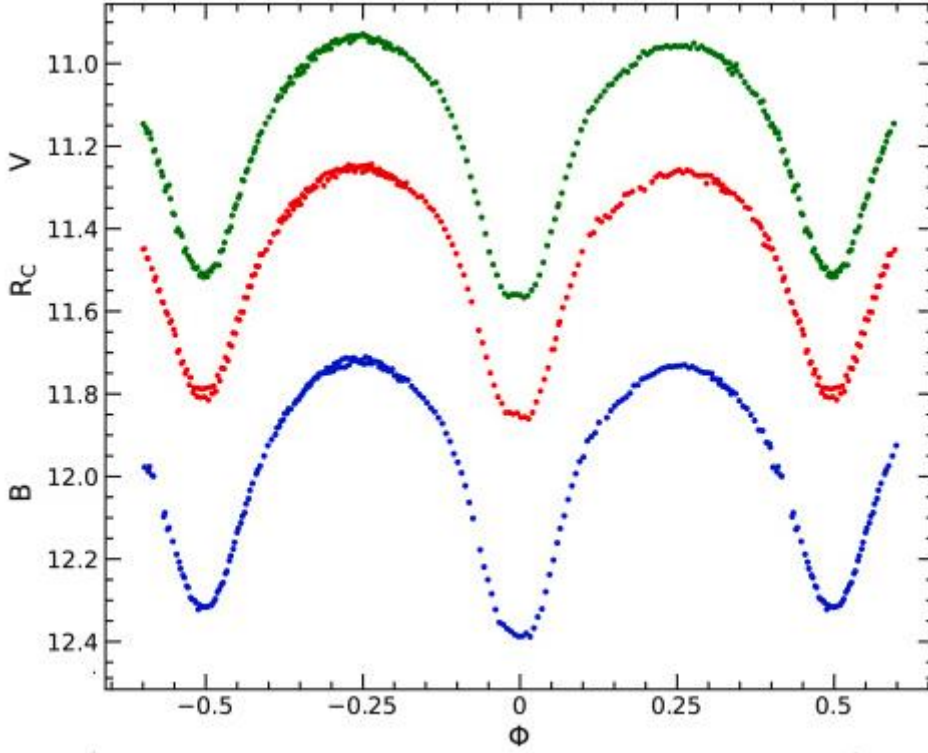
Her iki türün kütle oranı ve tayf türü dağılımı da farklılık gösterir. Daha küçük kütle oranı ($q < 0.3$) gösteren A türlerinin tayf türü dağılımı A ile F arasındayken, W türünün kütle oranı, ($q > 0.3$) 0.3 değerinden büyüktür ve tayf sınıfı G-K arasında bulunur.

Kısa dönemli çift sistemler oldukları için, bileşenlerin ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge hareketlerinin de hızlı olmasına neden olur. Böylelikle ışık eğrileri çok kısa sürede elde edilir ve araştırmacılar tarafından çokça tercih edilmesinin nedenlerinden birisidir. Bu sistemlerde senkronizasyon (dönme-dolanma kilitlemesi) sağlandığı için bileşen yıldızların kendi eksen etrafındaki dönmesi de hızlıdır. Hızlı dönme bileşen yıldızların tayf çizgilerinin genişlemesine ve hatta üst üste binmelerine neden olduğu için çizgilerin ayrı ayrı ayırt edilmesini güçleştirir. Bu türden yıldızların fotosferindeki diferansiyel dönmenin manyetik alanları üretebileceği düşünülmektedir. Yıldızın hızlı dönmesi demek daha fazla manyetik alanların üretilmesi demektir bu nedenle W UMa'lar hızlı döndükleri için kromosferik olarak aktif yıldızlardır.

Kromosferik aktivite belirteci olarak Ultraviyole tayflarında görülen soğurma çizgilerinden anlaşılır (Skelton ve Smits, 2009). Yıldız yüzeyi üzerindeki lekelerin bolluğu da yine manyetik alanların güçlülüğünü belirtir ve kromosferik aktivitenin bir parçasıdır (Shuo vd., 2019; Tobin ve Berrington, 2023). W UMa türü örten çift sistemlerin ışık eğrisinin özellikle maksimum evrelerindeki parlaklık farkı da O'Connell etkisi olarak adlandırılır. Aşırı değen çiftlerin X-ışın, görsel, moröte ve radyo bölgede yapılan gözlemlerinden; hızlı dönen tek yıldızlarla manyetik etkinliği karşılaştırıldığında çiftlerin teklere göre daha düşük manyetik alana sahip olduğu bunun nedeni olarak da ortak zarfın dinamo etkisini bir miktar baskıladığı söylenebilir.

Anakol yıldızları için geçerli olan kütle-ışıtma bağıntısına göre; W UMa'ların her iki bileşenin de farklı minimum derinlikte ve sıcaklıkta olması beklenir. Gerçekte ışık eğrilerine bakıldığında yaklaşık minimumların aynı derinlikte ve bileşenlerin aynı sıcaklıkta olması, W UMa'ların sahip oldukları ortak zarf kurgusuyla açıklanabilir. W UMa türü sistemlerin iki bileşeni de kendi kritik iç loblarını doldurduğu için birbirine değen veya değme durumuna oldukça yakındır bu nedenle; bileşen yıldızlar arasındaki mesafe çok azdır. Evrimleri süresince birbirlerine kütle aktarımı sürecinde yer alırlar ve bazen de sistemden bile uzaya kütle de kaybedebilirler. Bu nedenle; W UMa türü sistemlerin normal anakol yıldızları gibi düşünmenin ve onların kütle-ışıtma bağıntısına uymalarını beklemenin doğru olamayacağı söylenebilir.

Son ortaya atılan teorilerde; W UMa'ların evrim durumlarının başlangıcında yaklaşık 2 gün dönemli ayırık çift sistem oldukları, manyetik yıldız rüzgarlarıyla, açısız momentumlarını kaybettikleri ve kütle aktarımıyla ortak zarfı doldukları ve yörüngesini küçülterek bugünkü W UMa halini aldıkları söylenmektedir (Stepień, 2006; Eker vd., 2007).



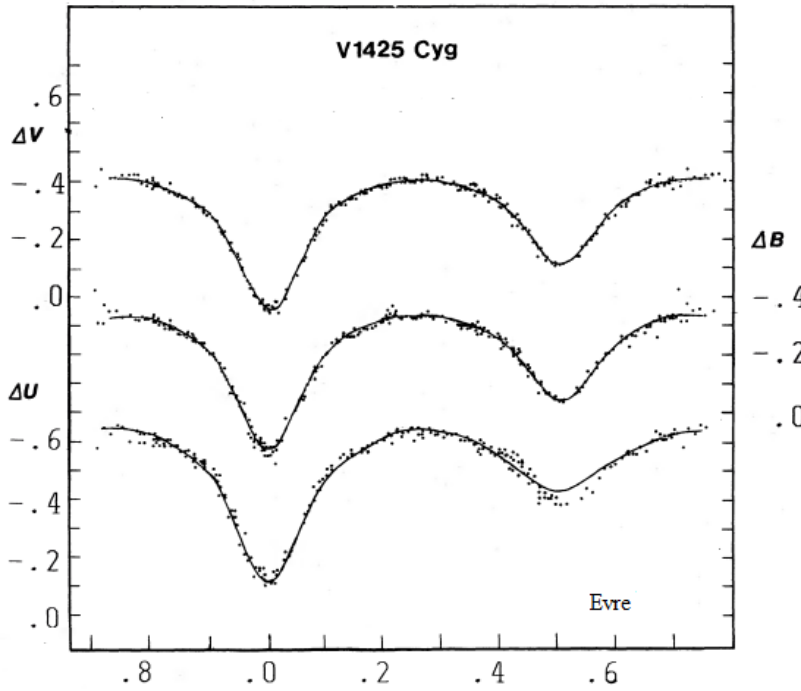
Şekil 2. Farklı süzgeçlerde elde edilen W UMa türü V826 Aur'un örten çift sistemin ışık eğrileri (Tobin ve Berrington, 2023).

1.1.2. Beta Lyr Türü Örten Değişenler

Beta Lyr türü örten değişenler, farklı evrim durumunda yer alan çift sistemlerdir. Bileşenler arasındaki uzaklık W UMalardan fazla ve klasik Algollerden daha azdır. Bu nedenle ışık eğrilerinde özellikle tutulmalar dışındaki maksimumlarda bozulmalar (küresellikten ayrılma ve yakınlık etkileri) görülür ve Algol türü sistemlerdeki gibi maksimumlar düz değildir ve sürekli bir ışık değişimi vardır. Parlaklıktaki değişim, ışık eğrilerinde tutulma başlangıcının ve bitişinin belirlenmesini güçleştirir. Beta Lyr türü sistemlerin ışık eğrilerinin minimumlarında derinlik farkı görülür, nedeni bileşenler arasındaki sıcaklık farkının büyük olmasıdır.

Yörünge dönemleri genellikle 1 günden daha büyüktür. Tayf türleri genellikle B-A tayf sınıfı arasındadır. Beta Lyr türü sistemleri salt gösterdiği ışık eğrisine göre gruplamak çok doğru değildir çünkü gösterdikleri geometrik ve fiziksel yapılarına göre; kendi aralarında da ve ışık eğrilerinde de farklılıklar göze çarpar. Bu tarz örten çift yıldız sistemlerinin her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmayan ve evrimleşmemiş anakol

yıldızı veya her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş evrimleşmiş bileşenleri içeren farklı evrim durumlarında yer alabilir. Tutulma göstermeyen bu tarz sistemler de literatürde bulunur. Işık değişimlerinin ve tutulma benzeri minimum derinliklerinin nedeni eliptik etki ve kenar kararmasıdır. Farklı evrim durumlarında bulunan Beta Lyr türü yıldızları çalışmak; çift yıldız evrimini anlamak adına önemlidir. Örneğin Algol türü çift sistemlerin ışık eğrilerine bakıldığında (düz bir maksimum ve minimum derinlikleri arasında fark) hemen kolaylıkla ayırt edilirken, Beta Lyr türü sistemlerin ışık eğrileri (Şekil 3) yukarıda söylenen farklı fiziksel süreçlere bağlı olarak farklı ışık eğrileri gösterir. Bazen tutulma derinliklerinin yakın olmasından dolayı, W Uma türü sistemler olarak da karıştırılabilir.



Şekil 3. Farklı süzgeçlerde elde edilen Beta Lyr türü V1425 Cyg sisteminin ışık eğrisi (Glein ve Wrinkler, 1969).

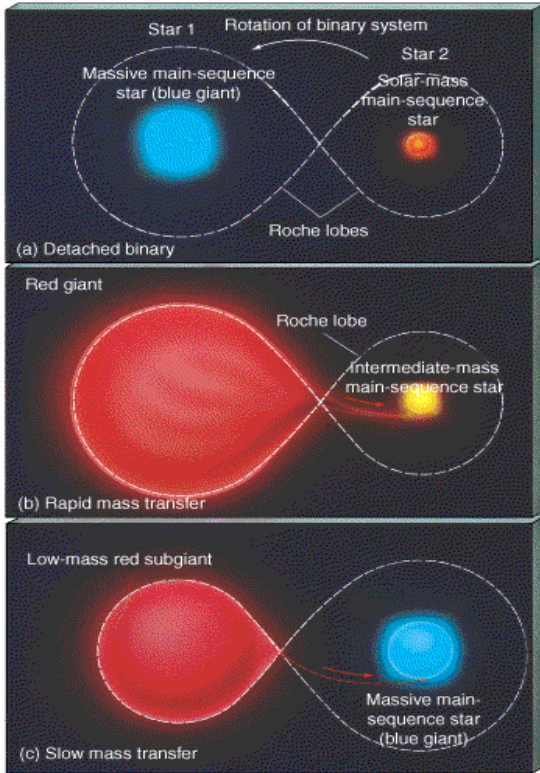
Bu türden yıldızların atası olduğu düşünülen ve kütle transferi gerçekleştiren bir sistem olan Beta Lyr'in kendisi (Beta Lyr A) oldukça karmaşık bir sistem olması nedeniyle tamamen anlaşılamamıştır. Kütle kazanan bileşen ince bir toplanma diski içerisinde bulunur (Huang, 1963; Wilson, 1974; Hubeny ve Plavec, 1991; Skulskii, 1992; Linnell, 2000). İnce disk modeli ve bazı garip özellikler diskten gelen kutupsal olmayan jet akımlarıyla açıklanmıştır (Harmanec vd., 1996; Hoffman vd., 1998; Ak vd., 2007). Bu

sistem radyo bölgede de çalışılmıştır (Wade ve Hjellming, 1972; Jameson ve King, 1978; Umana vd., 2002). Kızılöte bölgedeki çalışmalar (Knappenberger ve Fredrick, 1968; Alduseva ve Esipov, 1969; Jameson ve Longmore, 1976; Zeilik, 1982) yürütülürken, optik bölgede bazı araştırmacılar (Harmanec vd., 1996; Schmitt vd., 2009; Bonneau vd., 2011; Rucinski vd., 2018) tarafından bu sistem üzerinde çalışmalar yürütmüştür. Moröte (Hack vd., 1975; Mazzali, 1987; Kondo vd., 1984) ve X-ışın (Mewe vd., 1976; Ignace vd., 2008) çalışmaları da yapılmıştır. Bu sistem üzerine polarimetrik çalışmalar da yapılmıştır (Appenzeller ve Hiltner, 1967; Hoffman vd., 1998; Lomax vd., 2012). Beta Lyr sistemindeki manyetik alanın belirlenmesi ve dinamik etkisi üzerine de çalışmalar sürdürülmüştür (Skulskij, 1982; Leone vd., 2003). Sistem üzerine bazı modellemeler yapıldı. Örneğin hidrodinamik simülasyonlar (Bisikalo vd., 2000; Nazarenko ve Glazunova, 2003, 2013); karmaşık yıldız rüzgarları senaryosu (Mazzali vd., 1992), toplanma diski modellemesi (Linnell, 2000, 2002) ve çiftin evrimsel durumu (Mennickent ve Djurašević, 2013). Beta Lyr yıldızının H α salmaları üzerinde de araştırmalar yapılmıştır (Sanyal, 1976; Harmanec vd., 1996; Ignace vd., 2018).

1.1.3. Algol Türü Örten Değişenler

Görsel bölgede, tutulmalar dışındaki ışık eğrileri sabittir. Baş bileşen B-A-F, yoldaş bileşen G-K-M tayf türü yıldızlardan oluşur. Sıcak baş bileşen anakolda, soğuk yoldaş bileşen dev veya alt dev yıldızlardan oluşur. Soğuk bileşen Roche lobunu doldurmuştur ve sıcak bileşene Lagrange 1 noktasından kütle aktarır. Kütle aktarımı nedeniyle yıldaki kayıp miktarı; etkin sistemlerde 10^{-5} - 10^{-7} M_{\odot} iken az etkin sistemlerde 10^{-9} - 10^{-10} M_{\odot} arasında değişim gösterir. Böylesi kütle kayıp durumlarında her iki bileşen de sıcak (RZ Sct ve V536 Sgr) ve her iki bileşen de soğuk (KU Cyg ve AR Mon) olabilir (van Hamme ve Wilson, 1984). Kopal (1955), birçok Algol türü sistemin yoldaş bileşeninin başlangıçta büyük kütleli olduğunu evrimsel süreçte hızlı kütle transferiyle kütle kaybetmesiyle küçük kütleli bileşen haline geldiğini belirtmiştir. Bu çelişkili durumu; Crawford (1955) “Algol Çelişkisi” şeklinde açıklamıştır (bkz. Şekil 4.). Daha sonra, kütle aktarımı tersine döner ve yavaş bir biçimde küçük kütleli bileşen kütle aktarımını sürdürür. Klasik Algollerde kütle veren bileşen; küçük kütleli iken, ters Algollerde kütle veren bileşen büyük kütlelidir. Klasik Algoller sayıca daha fazla iken, ters Algoller sayıca daha azdır. Algoller, yarı-ayrık (evrimleşmiş) sistemler klasik

Algoller ve ayırık (genç) sistemler şeklinde iki gruba ayrılır. Algoller üzerine çok fazla çalışma alanı bulunmaktadır. Baş bileşen etrafında oluşan yığılma diskleri (Richard ve Albright, 1999), sıcak bileşende δ Scuti türü zonklamalar (Soydugan vd., 2003, 2006, 2018), bileşenleri küçük kütleli ve anakol yıldızlarından ($M_{1,2} < 1M_{\odot}$, $T < 5500 K$) oluşan Algol türü çiftler üzerine yapılan çalışmalar (López-Morales, 2007). Özellikle küçük kütleli bileşenli Algollerin López-Morales (2007) tarafından verilen çalışmada sayısı sadece dokuz taneydi. Bu sistemlerin ilginç yanı, yarıçaplarının yıldız modellerinden $\approx 10\%$ daha büyük olmasıdır (Baraffe, 1998). Bunun nedeni olarak da metal ve manyetik aktivite kaynaklı bir etki olabileceği gösterilmiştir.



Şekil 4. Algol Çelişkisi.¹

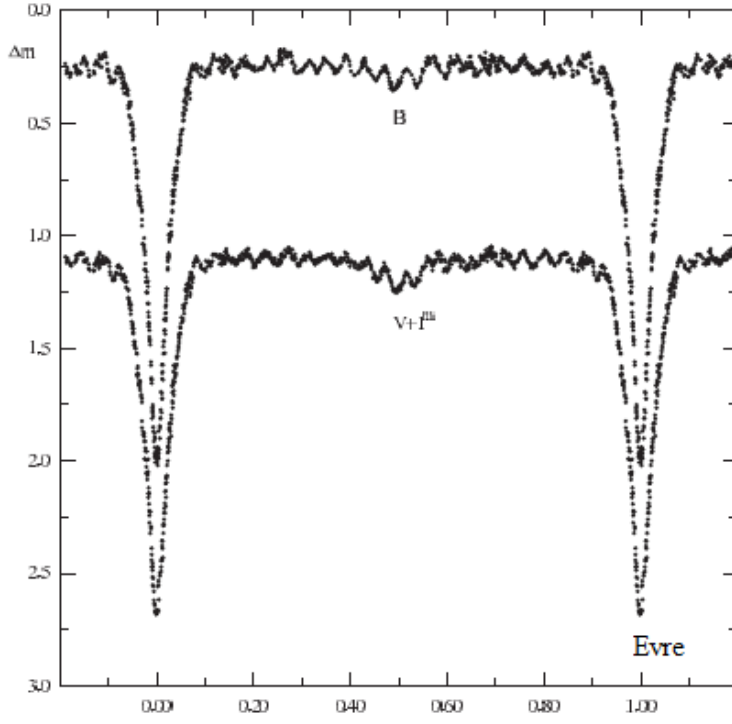
2000’li yıllardan sonra popüler olan δ Scuti bileşenli Algol türü çift sistemler üzerine yapılan çalışmalarda özellikle Kepler, *TESS* gibi duyarlı veri tabanlarının yer almasıyla birlikte yeni keşifler ve/veya birçok sistemde daha fazla sayıda mod belirlenmesine olanak sağlanmıştır (Miszuda vd., 2021, 2022; Mkrtichian, 2019).

¹<http://lifeng.lamost.org/courses/astrotoday/CHAISSON/AT320/IMAGES/AT20FG21.JPG>

Algol türü sistemlerin maksimumları, bileşenler birbirlerinden daha uzak olduğu için W Uma türü sistemlerin maksimumları gibi değişken değildir. Işık eğrileri derin ve keskin bir baş minimum ile sığ bir yan minimum ve düz bir maksimum gösterdiği için kolaylıkla ayırt edilebilir. Minimumlar arasındaki derinlik farkı bileşenler arasındaki sıcaklık farkından kaynaklanır. Algollerin genellikle sıcak baş bileşenlerinin optik bölgede toplam ışınımına katkıları ~%85-90'larda iken soğuk bileşenlerinin katkısı ~%10'lar civarındadır. Elektromanyetik tayfin farklı bölgelerinde minimum derinlikleri de farklı olacaktır.

Algoller; Dinamik Algol Sistemleri, Aktif Algol Sistemleri ve Düşük aktiviteli Algol Sistemleri olmak üzere üç farklı grupta incelenebilir. Birinci grupta etkinlik en fazladır, kütle kaybeden bileşen çok fazla miktarda kütle kaybeder ve kütle biriktiren yıldızın etrafı bir gaz zarfla sarılır. Bu etkiler, ışık ve dikine hız eğrilerinde bozulmalar şeklinde kendini gösterir. İkinci grupta, etkileri ışık ve dikine hız eğrilerinde yine görebiliriz. Ancak birinci grupta yer alan Algol türü sistemlerin bileşenlerinin görünmesindekine benzer herhangi bir kısıtlama beklemeyiz. Düşük aktiviteli Algol sistemleri olan üçüncü grubun üyelerinde kütle aktarımı sürekli değildir, kesiklidir. Görsel bölgede tayflarında aktivite belirteci görülmezken, morötesi tayflarında aktivite belirteci görülür.

Küçük doldurma faktörlü, f_1 klasik Algoller evrimsel süreçte SD2 türü yakın kontak çift sistemlere dönüşürken, tersi durumu yani bu sistemlerin tekrar Algollere dönüşmesi beklenmez. Kısa dönemli SD2 türü yakın kontak çift sistemlerde, kütle transferi ve manyetik frenleme yoluyla kontak çift sistemlere dönüşecektir. Klasik Algoller düşük f_1 değerine sahipken, SD2 türü yakın kontak çift sistem olan Algollerin baş bileşeni daha büyük doldurma oranına (f_1) sahiptir (Wang vd., 2022).



Şekil 5. Maksimumlarında zonklamaların da görüldüğü, klasik Algol türü bir sistemin farklı süzgeçlerde elde edilen ışık eğrileri (Soydugan vd., 2003).

Algoller üzerinde yapılmış olan farklı türden çalışmalar yer almaktadır. Algol türü sistemlerin yer aldığı kataloglar (Budding, 1984; Surkova ve Svechnikov, 2004; Budding vd., 2004; Malkov, 2020), açısal momentum kayıpları (İbanoğlu vd., 2006), sayısal hesaplamalar (Chen, Li ve Qian, 2006; Chen ve Podsiadlowski, 2017; Wang vd., 2022) ve tayfsal çalışmalar (Kim vd., 2022; Siwak vd., 2012; Soydugan vd., 2007).

İKİNCİ BÖLÜM

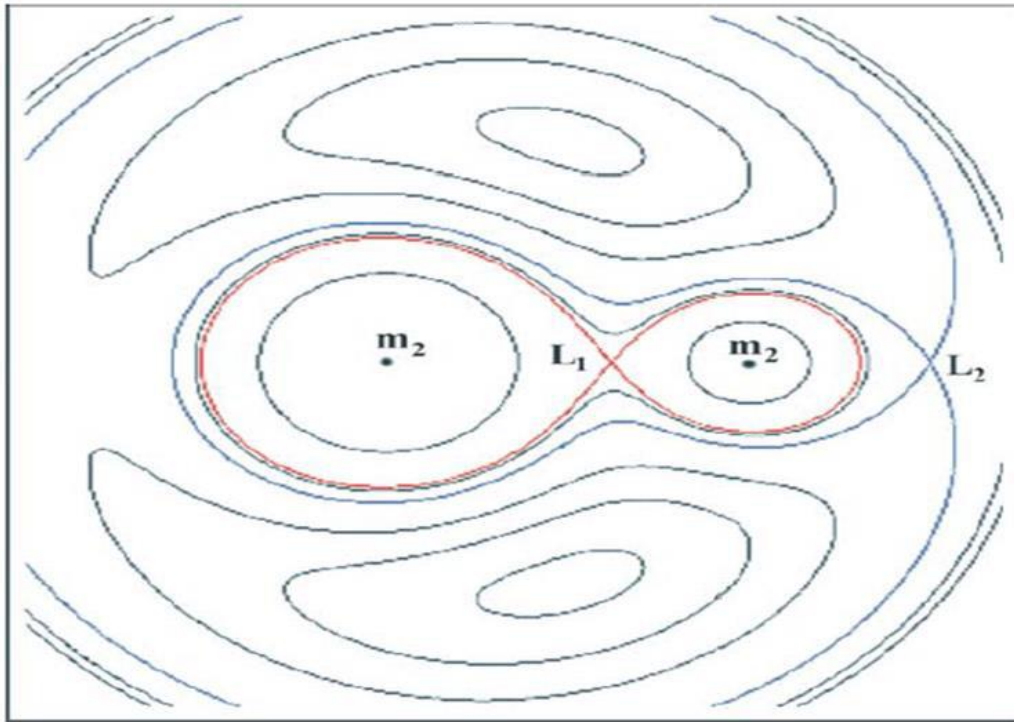
KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Roche Modeli

Birinci bölümde ışık eğrisinin gösterdiği şekle göre sınıflama yapılmıştı. Çift yıldız sistemlerinin ve/veya bileşenlerinin evrim durumlarının, bileşenler arasındaki kütle aktarımının, açısal momentum kaybının belirlenmesi gibi fiziksel süreçlerin açıklanması için çift yıldız bileşenleri arasındaki uzaklık ve bileşenler arasındaki çekimsel etkileşimlerin ne düzeyde olduğunun belirlenmesi gerekir. Bu süreçlerin anlaşılması için ışık eğrisini Roche geometrisine göre sınıflamak oldukça önemlidir. Sistemin geometrisiyle ilişkili olan Roche geometrisi ilk defa Kopal (1972) tarafından ortaya konmuştur. Çift sistemin bileşenleri ortak kütle merkezi etrafında birbirlerine uyguladıkları çekim etkisiyle hareket ederken ilave bir test parçacığının bu çekim alanı içerisindeki hareketi Roche modeliyle belirlenir ve bu test parçacığının davranışı sistemin toplam potansiyeliyle ilişkilidir. Çift sistemin çekim alanı etkisindeki küçük cisim üçüncü bir cisim gibi kabul edilir. 3-cisim problemini analitik olarak çözmek mümkün olmasa da, çift sistemin çekiminde yer alan ve yörünge hareketini etkilemeyecek kadar küçük bir üçüncü cisim kabulü problemleri ve Roche modelini çözer. Bu kabule Kallrath ve Milone (2009); Kippenhahn vd. (2012) tarafından yapılan bazı ilave varsayımlar: yıldızların hidrostatik dengede olduğu, bileşenlerin çember yörüngede yer aldığı, bileşenlerin eş-dönme gösterdikleri ve çift yıldız sisteminin katı bir cisim gibi döndüğü kabul edilir.

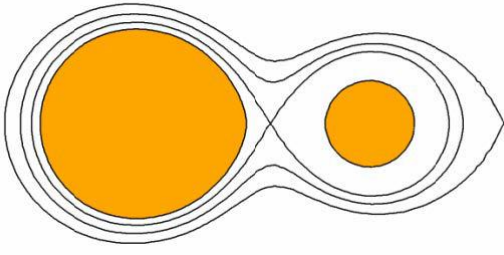
Roche modelinde yıldızdaki dönme de dikkate alınır. Şöyle ki, çift sistemin çekim alanında yer alan bu sonsuz küçük cismin bulunduğu noktadaki toplam kuvvet hesaplanırken; cisim, çift sistemin çekim alanında yer aldığından, çift sistemin çekim kuvveti ve dönmesi dikkate alınarak Roche modeli hesaplanır (Kopal, 1972). Bu noktada hesaplanan potansiyel değeri, bu nokta doğrultusundaki aynı potansiyele sahip noktalarla eş-potansiyel bir yüzey oluşturur. Eş-potansiyel yüzeyleri oluşturan noktalar arasında cisim iş yapmaz. Bu eş-potansiyel yüzeylerin bir kabulü; yıldızın fotosferini temsil etmesidir. Diğer bir kabulü; sabit yoğunluklu yüzeyler olarak kabul görmesidir.

Eş-potansiyel yüzeyler yıldız merkezinde küreselken, merkezden uzaklaştıkça küresellik bozulmaya başlar. Tüm eş-potansiyel yüzeyler içerisinde, çift yıldız bileşenleri Lagrange noktası dediğimiz L_1 noktasında birbirlerini keserler. Yıldızların etrafında, kütle çekim kuvvetiyle maddeyi tutabileceği maksimum hacim, genişleyebileceği maksimum yüzey Roche yüzeyi ve içerisindeki hacme de Roche lobu denir. Madde Roche lobundan ayrılıp, L_2 noktasına ulaşırsa; yıldızların etrafında ortak bir zarf oluşur veya bir tedirginlik durumuyla madde L_2 noktasından kaçabilir (bkz. Şekil 6).



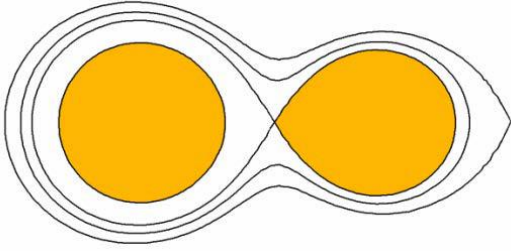
Şekil 6. Eş-potansiyel yüzeyler (Skelton, 2009).

Çift yıldız sistemindeki bileşenler arasındaki uzaklık, bileşenlerin birbirlerine uygulayacağı tedirginlikle doğrudan ilişkilidir. Bileşenler arasında yaklaşma arttıkça tedirginlik etkileri de artmaya başlar. Bileşenler birbirlerinden ne kadar uzaksa; bileşenlerin birbirlerine uyguladığı tedirginlik etkileri o kadar az olacaktır ve yıldızın etrafında oluşan eş potansiyel yüzeyler de küresel olur. Kopal (1959), yıldızların fotosfer katmanları kendi Roche loblarında yer alıyorsa böylesi çift sistemleri Roche geometrisine göre; ayırık sistemler olarak adlandırmıştır. Şekil 7'de gösterildiği gibi; Ayırık sistemlerde hiçbir bileşen Roche lobunu doldurmamıştır. Bu tez çalışmasında seçilen sistemlerin tümü ayırık sistemlerdir.



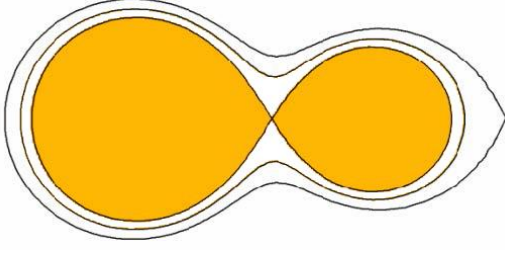
Şekil 7. Ayrık sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).

Bir yıldızın fotosferi kendi Roche lobunda diğer bileşen yıldız ise Roche lobunu doldurmuşsa bu tür çift sistemler yarı-ayrık sistemler olarak adlandırılır ve Roche lobunu doldurmuş olan bileşen, diğer bileşene L_1 Lagrange noktasından kütle aktarır. Bu tarz sistemlerde bileşenler arasındaki uzaklık ayrık sistemlerdekinden daha azdır. Dolayısıyla bileşenlerin arasındaki tedirginlik etkileri daha fazladır.



Şekil 8. Yarı-ayrık sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).

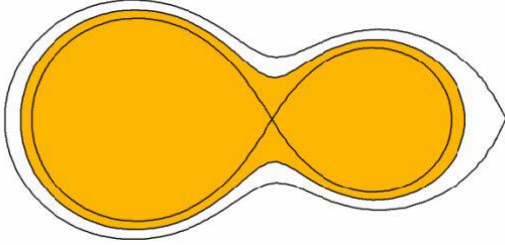
Roche geometrisine göre çift sistemleri sınıflandırmada; bileşenlerin her ikisi de Roche lobunu doldurmuşsa değen sistemler olarak adlandırılırlar. He ve Qian (2009) tarafından verilen formül 2.1 ile taşma parametresi, f bu sistemler için hesaplandığında 0 değeri bulunur. Değen sistemlerin potansiyeli (Ω), iç (Ω_1) ve dış (Ω_2) kritik ortak zarfların arasında yer alan konvektif zarf ile açıklanır. Değen sistemlere ilişkin Roche geometrisi Şekil 9'da yer alır.



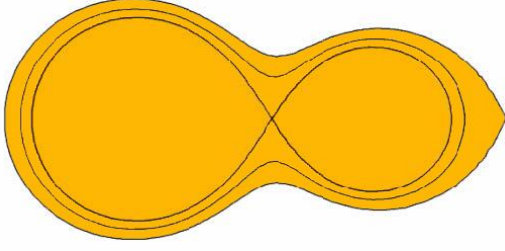
Şekil 9. Değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).

$$f = \frac{(\Omega_{iç} - \Omega)}{(\Omega_{iç} - \Omega_{dış})} \quad (2.1)$$

f değeri 0.5 hesaplanırsa bileşenler Roche loblarını doldurmuştur. Ayrıca eş potansiyel yüzeylerin yarısı da dolmuştur. Bu tarz sistemler ortak bir zarf oluşturmuş, aşırı değen sistemlerdir (bkz. Şekil 10). $f = 1.0$ ise her iki bileşen hem Roche loblarını hem de eş potansiyel yüzeylerini tamamen doldurmuş yine aşırı değen sistem olarak adlandırılır (bkz. Şekil 11). Şekil 9, 10 ve 11’de verilen Roche geometrilerine sahip sistemlerin bileşenleri arasındaki uzaklık çok az olduğundan ışık eğrilerinin maksimumlarında çift sisteme ilişkin yakınlık etkileri çokça gözükür.



Şekil 10. Ortak zarf oluşmuş ve yarısı dolmuş aşırı değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).



Şekil 11. Ortak zarf oluşmuş ve tamamen dolmuş aşırı değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell, 2001).

2.2. Basık Yörüngeli Ayrık Çift Sistemler

Bir çift sistemin dış merkezliği, e sıfırdan farklıysa eksantrik yörüngeli bir çift sistem olarak kabul edilir. Yakın çift sistemlere bakıldığında, yörünge genel olarak çember ($e = 0$) olduğu görülür. Ayrık sistemlerde, yörünge büyük e 'li ve dolayısıyla bileşenler ortak kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına göre; basık yörüngede dolanırlar. Bu tarz sistemler genç sistemlerdir ve zaman içerisinde dönme-dolanma kilitlemesine ulaşabilecekleri düşünülmektedir. Bileşenler arasındaki çekimsel etkileşimler, bileşenlerin dönme döneminin, yörünge dönemine eşit olmasına neden olur.

Formül 2.2 kullanılarak hesaplanabilecek; e değeri büyük ve sıfırdan farklı olan tüm sistemlerde; bileşenlerin ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge hızları da sabit olmayacaktır. Enberi noktasında daha hızlıken en öte noktada daha yavaş hareket ederler. Bu durumda baş ve yoldaş bileşenler arasındaki mesafe değişeceği için eksantrik yörüngeli sistemlerin ışık eğrilerinde görülen minimuma giriş ve çıkış süreleri ile bileşen yıldızların birbirlerini örtme alanları da değişir.

$$e = \frac{r_2 - r_1}{r_2 + r_1} \quad (2.2)$$

Burada r_1 ve r_2 kesirsel yarıçaplardır.

Genellikle çift yıldız sistemleri için e değeri 0 ile 1 arasında değişir. e değeri 0 ise, yörünge çember ve bileşenlerin kesirsel yarıçapları (r_1 ve r_2) birbirine eşit olur. 1 değerinde yörünge parabolüdür ve kapalı bir yörünge yerine açık bir yörüngeyle karşılaşırız. Çift sistemlerin eksantriği, e değeriyle orantılıdır. e değerine göre dört farklı sınıflama yapabiliriz.

0-0.1 arası az derecede eksantrik, 0.1-0.2 arasında olanlar eksantrik, 0.2-0.3 değerine sahip olanlar orta derecede ve 0.3'ten büyük olanlar çok fazla eksantrik sistemler olarak adlandırılırlar.

Yakın çift sistemlerde; dairesel yörüngeye ulaşma zamanı, $t_{\text{daireseel}}$ ve bileşenlerin dönme-dolanma kilitlenmesi zamanı, $t_{\text{eş-dönme}}$ hesaplamak için ortaya atılmış olan iki önemli teori vardır. Birinci teori Zahn (1975,1977) ikinci teori Tassoul (1987,1988) tarafından ortaya atılmıştır. Birincisinde, enerji dağılımını ortaya çıkaran temel mekanizma bileşen yıldızların sahip olduğu adyabatik olmayan yüzey katmanlarının dinamik çekimidir. Diğer bir teoride, kinetik enerjinin çekimsel dağılımında meridyensel akımların etkisidir. Ortaya atılan hem birinci teori hem de ikinci teoride $t_{\text{daireseel}}$ ve $t_{\text{eş-dönme}}$ zamanı yaklaşık olarak α katsayısı dediğimiz bir katsayı kadar farklılık gösterir. Burada α yörünge açısal momentumunun dönme açısal momentumuna oranı olarak ifade edilir.

Basık yörüngede e gibi bir diğer önemli parametre de ω ile gösterilen enberi boylamıdır. Birbirine çekimsel olarak bağlı iki bileşeni iki cisim gibi kabul edip hareket denklemlerini çözerken kolaylık olması adına enberi boylamı, ω ; aşağıda verilen bazı kabullerden birisinin sağlanmasıyla sabit alınabilir.

1. Bileşenler nokta kütle olarak kabul edilsin.
2. Bileşenler; Newton hareket yasalarına göre, yörünge hareketini yapsın.
3. Çift sistemin bileşenleri sadece kendi çekim etkisi altında bulunsun ve başka sistemlerin etkisi altında kalmasın.

Yakın çift yıldızlarda;

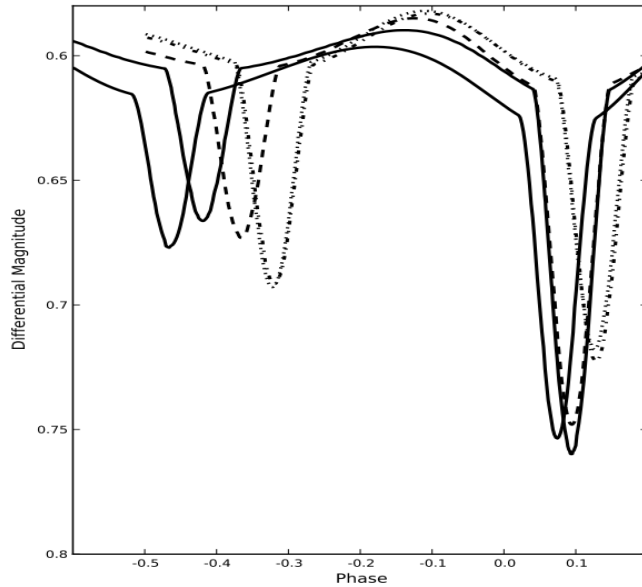
$$\frac{R_1 + R_2}{a} = r_1 + r_2 \geq 0.1 \quad (2.3)$$

R_1 ve R_2 bileşenlerin yarıçapları, a bileşenler arasındaki uzaklık ve r_1 ve r_2 kesirsel yarıçaplar olmak üzere böylesi bir koşul bulunmaktadır.

Bu düzeyde olan çift sistemler yakın etkileşen çift sistemler olarak adlandırılır. Bu türden sistemlerde bileşenler arasındaki uzaklık çok yakındır. Bileşenlerin birbirlerine

uyguladıkları karşılıklı çekim etkileri ve tedirginlikler nedeniyle küresel yapıları bozulmuştur. Yukarıda verilen nokta kütle varsayımı etkileşen çift sistemlerde geçerli olmaz. Yörünge parametrelerinden birisi olan ω da değişir. Bu değişim; eksen dönmesi olarak adlandırılır ve yörünge büyük eksen doğrultusunun zamanla değişimine neden olur. Eksen dönmesine neden olan bir başka açıklama da; çift sistemin bileşenlerinin Newton yasalarına uygun olarak hareket etmemeleridir. Einstein'in Genel Görelilik kuramında; bileşenler nokta kütle olsalar bile yarı büyük eksen uzunluğunun sabit olamayacağını ve sürekli devineceğini belirtmiştir. Üçüncü nedende; çift yıldız sisteminin etrafında olası üçüncü bir cismin varlığının enberi boylamını etkilemesidir.

Eksen dönmesi gösteren sistemler fotometrik gözlemlerden de kolayca ayırt edilebilirler. Minimuma giriş ve çıkış süreleri bu tarz sistemlerde farklıdır. Yan ve baş minimumlarda yörünge çember olmamasından dolayı sırasıyla 0.5 ve 1.0 evrede bulunmaz. V578 Mon sisteminin farklı yıllarda elde edilen ışık eğrileri Şekil 12'de gösterilmektedir. Bu sistemin ışık eğrilerinden de görüldüğü gibi; farklı yıllardaki ışık eğrilerinden baş ve yan minimumların açık bir şekilde kaydığı görülür.



Şekil 12. Eksen dönmesi gösteren V578 Mon sisteminin farklı yıllardaki ışık eğrileri. Sürekli çizgiler; 2005-2006 ve 1973-1976 yıllarına, kesikli çizgi 1999-2000 ve kesikli nokta 1995-1996 ve noktalar 1994-1995 yıllarına karşılık gelir (Garcia vd., 2011).

Eksen dönmesiyle ilgili yapılan ilk çalışmalar Duner'in (1892) Y Cyg sisteminde yaptığı çalışmadır. Daha sonra Lyuten vd. (1909) on tayfsal çift sistemde eksen dönmesini çalışmıştır. Yakın çift sistemlerdeki eksen dönmesinin analitik ifadeleri Russell (1928) tarafından ortaya konmuş, Cowling (1938) tarafından geliştirilmiştir. Sterne (1939), eksen dönmesinde çekimsel ve dönme katkılarını da ele almıştır. Schwarzschild (1958) anakol yıldızları için iç yapı sabitinin teorik değerini hesaplarken, Kopal (1965) iç yapı sabitinin teorik ve gözlemsel farkı için açıklama getirmiştir. Bazı yazarlar bu uyumsuzluğu eş- dağılımlı yıldız modeliyle açıklamaya çalışırken (Mathis, 1967; Koch, 1972), Gimenez (1981) ve Gimenez ve Garcia-Pelayo (1982) yüzey çekiminin etkisini de dikkate almışlardır. Claret ve Gimenez (1989), bu farkın nedenini merkezden konvektif fırlatma ve kütle kaybı etkisini de dikkate alarak açıklamaya çalışmışlardır.

Relativistik eksen dönmesi üzerine yapılan ilk çalışmalar; Kopal (1965), Moffat (1984,89) ve Claret (1997) tarafından yapılmıştır. Üçüncü cisim katkısını da dikkate alarak yapılan çalışmalar Slavenas (1927), Lyuten vd. (1934), Brown (1936,37), Kopal (1967), Khaliullin vd. (1991).

Eksen dönmesi gösteren sistemler üzerine yapılan bazı çalışmalar; Erdem vd. (2003), Surina ve Kang (2009), Pavlovski vd. (2018), Cloraet vd. (2021). Eksen dönmesi gösteren çift sistemlerin katalog çalışması Hegedüs (1988,1989), Petrova ve Orlov (1999), Bulut ve Demircan (2007) ve Khaliullin ve Khaliullina (2010) tarafından yapılmıştır.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. *TESS* Veri Tabanı

Tez kapsamında seçilen ayırık çift yıldız sistemlerinin verileri *TESS* (TIC) veri kataloğundan seçilmiştir (Stassun vd., 2019,2021 ve Paegert, 2021). *TESS* uydusu 2018 yılında NASA tarafından gönderilmiştir. Asıl amacı; özellikle parlak yıldızların etrafındaki ötegezegenleri keşfetmektir. Ötegezegenleri doğrudan gözlemlemek mümkün değildir. Dolandıkları yıldızın önünden geçerken, transit (geçiş) yöntemiyle yıldızın ışığında meydana gelen azalmadan ötegezegenleri belirlemek mümkündür. Ayrıca gezegenin büyüklüğü, yörüngesi ve dönemi hakkında çıkarımlarda bulunabilir. *TESS* 2018 yılından beri 5800'den fazla gezegen adayı belirlemiştir bunların 243 tanesinin de gezegen olduğunu doğrulamıştır (Stassun vd., 2018).

TESS uydusunun en büyük avantajı; gökyüzünün bir bölgesini değil de, tüm gökyüzünden kesintisiz bir şekilde taramaktır. Bünyesinde görüş alanı 24×20 derece² olan dört kamera bulundurmaktadır ve açıklığı ise 10.5 cm dir (Ricker vd., 2015). 20s, 120s, 600s ve 1800s gibi farklı poz sürelerinde alınmış, fotometrik gözlem verileri bulunmaktadır. Tüm gökyüzü 13 sektör güney ve kuzey olmak üzere 26 sektöre bölünmüştür. *TESS* uydusunun 1-26. sektör arasındaki gözlemleri 2018-2020 tarihleri arasında yer almaktadır. Tek bir sektör gözlemi 27 gece devam etmektedir. Böylece tüm gökyüzünün yaklaşık olarak 2 yıl içerisinde gözlemi tamamlanır. *TESS* görevini başarıyla tamamladığında KEPLER'in görüntülediği alanın yaklaşık 400 kat daha fazlasını görüntüleyebilecektir. Gökyüzünün yaklaşık olarak %85'inin taranacağı tahmin edilmektedir. Mart 2023 tarihinden itibaren 60. sektör verilerine ulaşılmaktadır². Tüm veriler MAST³ veri arşivinde bulunur.

TESS elektromanyetik tayfin kızılöte bölgesine duyarlıdır. 600-1000 nm aralığındaki dalga boyunu kapsar. *TESS* uydusunun asıl görevi, yeni ötegezegenler keşfetmek olsa da,

² <https://tess.mit.edu/observations/>

³ <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html>

yüksek duyarlık; küçük genlikli değişimlerin kolayca belirlenmesine ve yeni değişen yıldızların keşfedilmesine olanak sağlar (Kurtz, 2022; Chen vd., 2022; Bedding vd., 2023). *TESS* veri tabanındaki yıldız 10 kadirse 200ppm mertebesinde bir duyarlık ve 16 kadir değerine ulaştığında %3 mertebesinde bir hata oranıyla karşılaşırız⁴.

Prša vd. (2022) tarafından *TESS* uydusunun 1-26. sektör verileri kullanılarak 4500 örten çift yıldızın ışık eğrilerini içeren bir katalog yayınlanmıştır. Diğer bir çalışmada, farklı açık kümelerde yeni değişen yıldızların keşifleri üzerine yürütülen çalışmalar vardır (Nardiello, vd., 2015; Sanjayan, vd., 2022; Bedding, vd., 2023).



Şekil 13. *TESS* uzay teleskopu.⁵

3.2. Işık Eğrilerinin Evrelendirilmesi ve Normalizasyonu

Tez kapsamında, *TESS* ışık eğrilerinin yer aldığı MAST arşivinden üç ayrı örten çift yıldız sisteminin verileri seçilmiştir. Öncelikle bu sistemlerin ışık eğrileri, seçilen T_0 (başlangıç minimum zamanı) ve çift sistemin yörünge dönemi, P 'ye göre evrelendirilmiştir. Tablo 1'de listelenen sistemlere ilişkin ışık öğeleri Eşitlik 3.1'de sabit değer olarak seçilip her bir sistemin *TESS* gözlem zamanlarıyla (T) birlikte evrelendirme yapılmıştır. Bir sonraki adımda sistemlerin normalizasyon işlemine geçilmiştir. Normalizasyon işlemi yaklaşık 0.25 evre civarında ve her bir sistem için 0.25 evre civarında hesaplanan ortalama parlaklık

⁴ <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/observing-technical.html>

⁵ https://space.skyrocket.de/doc_sdat/explorer_tess.htm

değerleri 9^m.03 (UZ Dra), 9^m.22 (FT Ori), 10^m.60 (MU Cas) Eşitlik 3.2 kullanılarak ışık eğrilerinin 1 değerine normalizasyonu sağlanmıştır. Evrelendirme ve normalizasyonu yapılmış ışık eğrileri; UZ Dra'nın Şekil 14'de, FT Ori'nin Şekil 15'de ve MU Cas'ın ışık eğrisi Şekil 16'da gösterilmektedir.

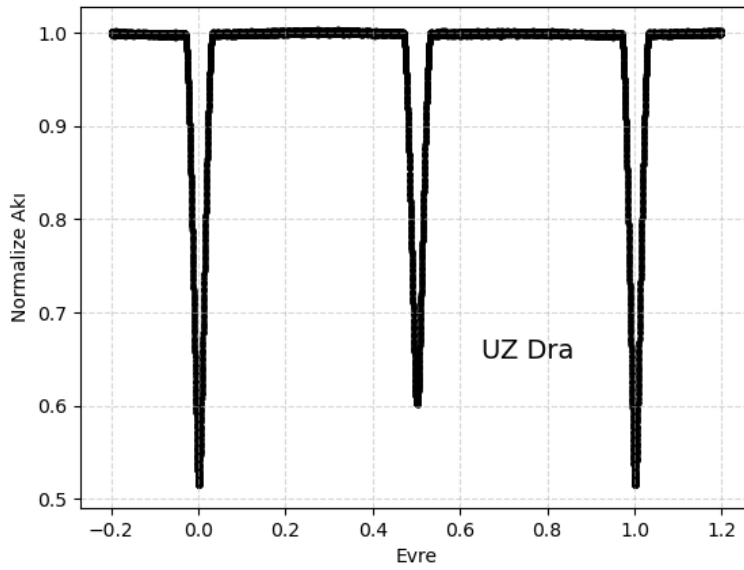
Tablo 1

Seçilen sistemlerin ışık öğeleri

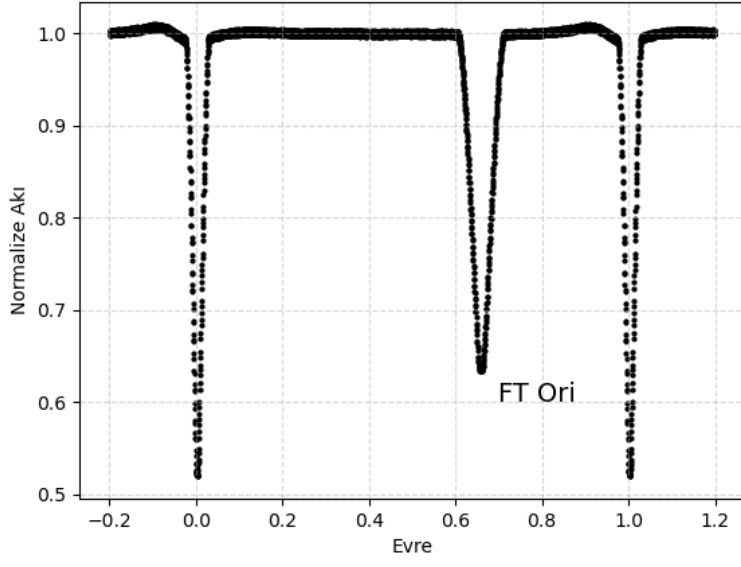
Seçilen yıldızlar	To (HJD)	P (gün)	Kaynak
UZ Dra	2441570.2830	3.2613024	Kreiner vd. 2001
FT Ori	2449725.6427	3.1504189	Sabby vd. 2011
MU Cas	2452233.7418	9.6529290	Lacy vd. 2004

$$\text{Evre} = \frac{(T - T_0)}{P} \quad (3.1)$$

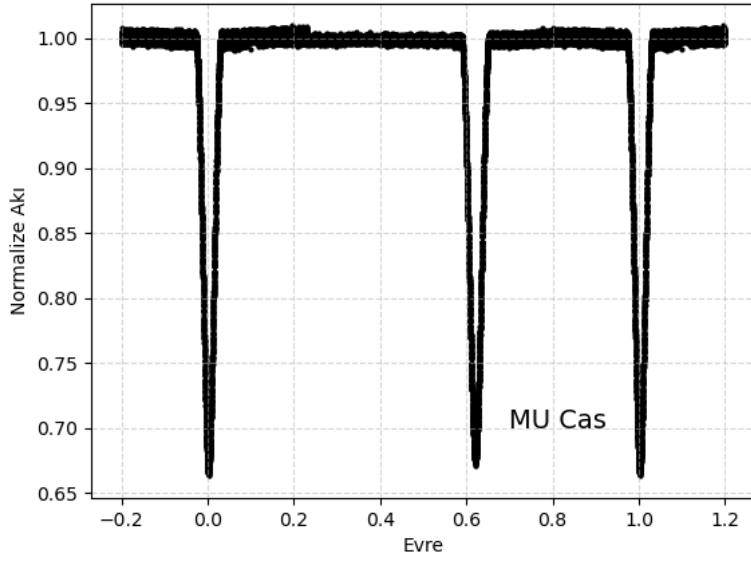
$$I(\text{evre}) = 10^{-0.4 \times \Delta m} \quad (3.2)$$



Şekil 14. UZ Dra'nın ışık eğrisi.



Şekil 15. FT Ori'nin ışık eğrisi.



Şekil 16. MU Cas'ın ışık eğrisi.

3.3. Wilson Devinney Yöntemi

Bu tez çalışması kapsamında *TESS* veri tabanından seçilen ışık eğrilerinin ve literatürden seçilen dikine hız eğrilerinin eş zamanlı modellenmesi FORTRAN dilinde yazılan Wilson-Devinney (WD) programı kullanılarak yapılmıştır. WD programı ilk defa 1971 yılında çift yıldızların ışık eğrisi modellemesi için Roche geometrisi (bkz. Bölüm 2.1) kabulü altında kullanılan bir programdır. Bu program Roche geometrisi kabulü ile eş olmayan dönme, çekimsel bozulmalar, kenar kararması, çekim kararması ve bileşen yıldızlarda bulunan leke etkisini de modelleyebilmektedir.

1971 yılında yayınlanan ilk sürümünden sonra bu program, ihtiyaca göre güncellenerek (Wilson, 1979:1990:1993; van Hamme ve Wilson, 2003:2007:2016) farklı sürümler olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1982 sürümünde eksantrik yörünge, eş olmayan dönme, yakınlık etkileri, ışık ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı modellemesi ve bileşen yıldızlarda yer alan leke modellemesini basit yaklaşımla çözümü içerir. 1992 yılındaki diğer bir sürümde; yansıma etkisi, logaritmik kenar kararma yasaları, daha önceki sürümde yer almayan leke parametrelerinin ayarlanması ve yıldız yüzeyi üzerinde lekelerin yer alabileceği konumlar da eklenmiştir. 1998 yılındaki sürümde diferansiyel düzeltmelere Marquardt λ faktörü eklenmiştir ve T_0 , P_0 , dP/dt ve $d\omega/dt$ gibi ek parametreler de yer almaktadır. Aşırı değen örten çift sistemler için MOD3 yaklaşımı 2003 sürümünde karşımıza çıkar. 2007 sürümünde üçüncü cisim etkisi, x,y kenar kararma katsayılarının sıcaklık ve yüzey çekim ivmesine bağlılığı ve DC'ye (Differential Correction) girilen akı veya parlaklık değeri de yer almaktadır.

DC (Differential Correction) ve LC (Light Curve) olmak üzere iki ana kısımdan oluşur. Ayrıca WD iki düzine gibi alt programları da içerir. DC bileşenlerin ışık ve/veya dikine hız eğrilerinin modellenmesinde, iterasyonlarda seçilen serbest parametrelere en küçük kareler yaklaşımı ile diferansiyel düzeltmeler yaparken, LC modelleme sonucunda elde edilen parametreler kullanılarak gözlemsel ışık ve/veya dikine hız eğrilerine en uyumlu kuramsal eğrilerinin elde edilmesinde kullanılır. DC kısmında MMS (Method of Multiple Subsets), L-M (Levenberg-Marquardt) ve VLR (Vector Length Reduction) yöntemlerinden birisi kullanılır ve farklı süzgeçlerde elde edilmiş ışık eğrileri de tek tek veya birleştirilerek de eş zamanlı modellenebilir.

WD ışık eğrisi modellenmesinde; ışık eğrisinin türüne göre farklı MOD tanımlamaları bulunur. Bu MOD tanımlamaları şu şekilde verilebilir.

MOD-1: Bileşenlerden birisi Roche lobunu doldurmuş, yarı-ayrık X-ışın çift sistemleri,

MOD0: Çift sistemin bileşenlerinin henüz Roche lobunu doldurmadığı, ayrık çift sistemlerde bileşenlerin ısıtma oranlarının yüzey sıcaklığına bağlı olmadığı durumlarda,

MOD1: Her iki bileşenin de Roche lobunu doldurduğu, ortak zarfa taşma gösterdiği aşırı değen sistemler olan W UMa'larda,

MOD2: Ayrık sistemlerde,

MOD3: Aşırı değen sistemlerde kullanılır. MOD1'e benzer olup T_2 , A_2 , g_2 , x_2 ve y_2 serbest parametre olası bakımından farklılık gösterir.

MOD4: Yarı-ayrık sistemler için kullanılır. Baş bileşen Roche lobunu doldurmuştur.

MOD5: Klasik Algoller gibi yarı-ayrık sistemlerin ışık eğrisi modellenmesinde kullanılır. Yoldaş bileşen Roche lobunu doldurmuştur.

MOD6: Her iki bileşenin de Roche lobunu doldurduğu değen örten çift yıldız sistemlerinde kullanılır.

Modellemede kullanılacak MOD türüne karar verildikten sonra iterasyonda yer alacak sabit parametreler (1), değişken parametreler (0) seçilerek; iterasyonlar, değişken parametrelerin düzeltme değerlerinin hata değerlerinden büyük olana kadar devam eder. Gözlemsel eğrilerle kuramsal eğrilerin uyumunu gösteren $\Sigma W(O-C)^2$ değeri gözlenen değerle hesaplanan değer arasındaki farkın karelerinin ağırlıklı ortalamalarının toplamıdır.

Bu tez kapsamında seçilen sistemler ayrık sistemler olduğu için *TESS* ışık eğrilerinin modellenmesi MOD2'de yapıldı. İterasyonlara başlamadan önce aşağıdaki parametreler girdi parametresi olarak kabul edildi.

1. P (çift sistemin yörünge dönemi)
2. T_0 (yörünge ephemerisi)
3. e (yörünge dış merkezliği): Sistem çember kabul edilirse 0, çemberden farklı basık bir yörüngeyse sıfırdan farklı ve serbest parametre olarak alınır.

4. ω (enberi boylamı): 90° sistem dairesel yörünge olarak kabul edildiğinde, dairesel yörüngeden farklıysa, basık yörüngede 90° değerinden farklı alınır ve serbest parametre olarak seçilir.

5. F_1, F_2 (bileşenlerin açısal dönme hızlarının açısal dolanma hızlarına oranı): Eş zamanlı dönme varsayımı kabul edildiğinde: 1 değeri alınır ve sabit parametre olarak kabul edilir.

6. Φ (evre kayması)

7. i (yörünge eğikliği)

8. $g_{1,2}$ (bileşenlerin çekim karararma katsayıları): radyatif atmosferler için von Zeipel (1924)'den 1.0 ve konvektif atmosferler için Lucy (1967)'den 0.32 değerinde alınır ve bu çalışmada da UZ Dra için bileşenler konvektif atmosferli ve diğer iki sistemin bileşenleri de radyatif atmosferli olarak kabul edildi.

9. $T_{1,2}$ (bileşenlerin yüzey sıcaklıkları)

10. $A_{1,2}$ (bileşenlerin bolometrik albedoları): radyatif atmosferler için 1.0 ve konvektif atmosferler için 0.5 değerinde Rucinski (1969)'dan alındı.

11. $\Omega_{1,2}$ (bileşenlerin yüzey potansiyelleri)

12. $q=m_2/m_1$ (kütle oranı)

13. *TESS* ışık eğrisi için dalgaboyu 7850\AA olarak alındı.

14. $L_{1,2}$ (bileşenlerin ışıtmaları)

15. $x_{1,2}$ (bileşenlerin dalgaboyuna bağlı kenar karararma katsayıları)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. UZ Draconis Örten Çift Yıldız Sistemi

UZ Draconis (UZ Dra) (BD +68 1065) ayırık örten çift yıldız sistemi Wright tarafından 1937 yılında keşfedilmiştir. Dugan ve Wright (1939) çift sistemin dönemini 1.63066 gün olarak belirlemiştir. Dönem için belirleme doğru olmamıştır. Çalışmada her iki minimumun da eş derinlikte olduğunu fark etmemişler ve yan minimumunda çok sık olabileceğini ve hatta görünemeyeceğini kabul ederek belirledikleri dönem değeri bu nedenle doğru olmamıştır. Tsesevich (1954) bu günde kullanılan yörünge dönemini 3.2613024 gün olarak hesaplamıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda da bu dönem değeri kullanılmıştır (Koch ve Koch, 1962; Lacy vd., 1989). 1984 ve 1985 gözlem sezonunda bu yıldızın 35 gece fotoelektrik gözlemleri B ve V filtrelerinde yapılmıştır ve ilk ışık eğrisi yayınlanmıştır (Lacy vd., 1989). İlk tayfsal çalışma Imbert (1986) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin yörünge parametreleriyle, mutlak parametrelerini belirlemiştir. Işık ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı modellenmesiyle en ayrıntılı çalışma Lacy vd. (1989) tarafından yapılmıştır. Sistemin bileşenlerinin fiziksel ve mutlak parametrelerine ek olarak bileşenlerin tayf türleri F7 +G0 olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada fotometrik modelleme sonucunda bulunan *logg* değerlerine göre sistemin bileşenlerinin halen anakolda olduğu ve Roche lobunu doldurmadığı sonucu çıkar. Sistemin uzaklığı da 170 ± 20 pc olarak verildiği halde, Imbert vd. (1986) uzaklık değerini 200 pc olarak hesaplamışlardır.

4.1.1. Işık Eğrisi Modellemesi

Işık eğrisi modellemesi için *TESS* (Transiting Exoplanet Survey Satellite) uydu veri arşivinde yer alan veriler kullanılmıştır. 14. sektörde yer alan 120s poz süreli zamana karşı parlaklık verileri seçilerek UZ Dra sisteminin ışık eğrileri oluşturulmuştur. Öncelikle sistemin minimum zamanı (T_0) 2441570.283 ve dönemi (P) 3.2613024 Tablo 1'den alınarak ışık eğrileri evrelendirilmiş ve daha sonra fotometrik çözümde kullanılmak üzere 1 değerine normalize edilmiştir (bkz. Bölüm 3.2).

Sistemin *TESS* ışık eğrileri ve literatürden alınan (Lacy vd.,1989) dikine hız eğrileri WD programının 2005 sürümüyle eş zamanlı olarak modellenmiştir. Işık eğrisi modellenmesinde, *TESS* ışık eğrisinin dalgaboyu 7850 Å ve Lacy (1989)'dan alınan dikine hız eğrilerinin dalgaboyu 4550 Å olarak kabul edilmiştir. Sistemin modellenmesinde Lacy vd. (1989) çalışmasındaki çözüm parametre değerleri bu çalışmada; başlangıç girdi parametreleri olarak kullanılmıştır.

Gözlemsel ışık ve dikine hız eğrilerine kuramsal eğri modellemesi yapılırken bazı parametreler serbest bazıları da sabit parametre olarak kabul edildi. a , Φ , $V\gamma$, i , T_2 , Ω_1 , Ω_2 , q , Z_1 serbest parametre olarak seçilmiştir (parametrelerin anlamları için Bölüm 3.3'e bakınız). Sabit parametrelerden baş bileşenin sıcaklığı 6100 K olarak Lacy vd. (1989) çalışmasından alınmıştır. Sistemin çember yörüngede dolandığı kabul edilerek e değeri 0 ve ω değeri 90° alınarak sabit parametre olarak kabul edilmiştir.

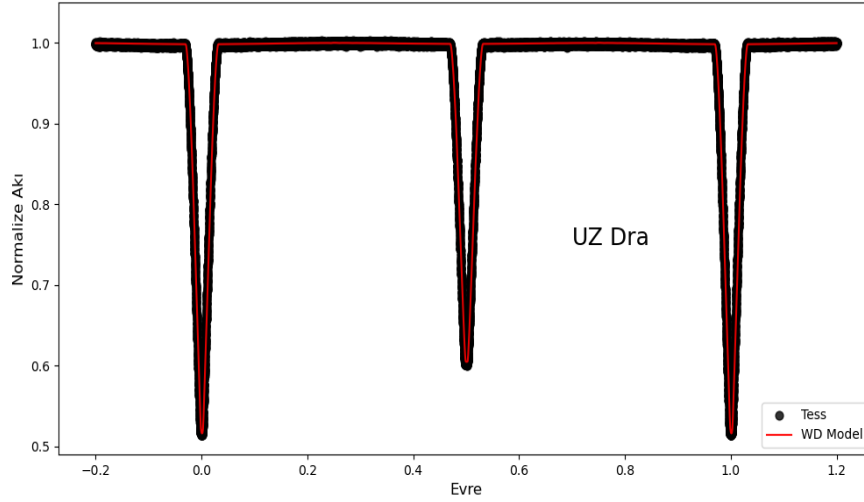
Modellemeye önce sistemin ayırık yaklaşımda olduğu kabul edilerek Mod 2'de başlandı. Bileşenlerin yüzey potansiyellerinin değerine göre bileşenlerin Roche loblarını doldurmadığı görüldü. Bu nedenle başlangıçta seçilen Mod 2'de iterasyonlar devam etti. Serbest parametrelerin hataları, parametrelerin düzeltme değerlerinden büyük olana kadar iterasyonlar devam ettirildi.

Lineer ve bolometrik kenar kararma katsayıları (van Hamme, 1993), bolometrik albedolar konvektif atmosfer için, $A_1 = 0.5$ ve $A_2 = 0.5$ (Rucinski, 1969) , çekim kararma katsayıları konvektif atmosfer için, $g_1 = 0.32$ ve $g_2 = 0.32$ (Lucy, 1967) sabit parametre olarak seçilmiştir. Sistemin bileşenlerinin eş-dönme gösterdiği kabul edilerek $F_{1,2}$ dönme parametreleri de 1.0 değerinde sabit alınmıştır.

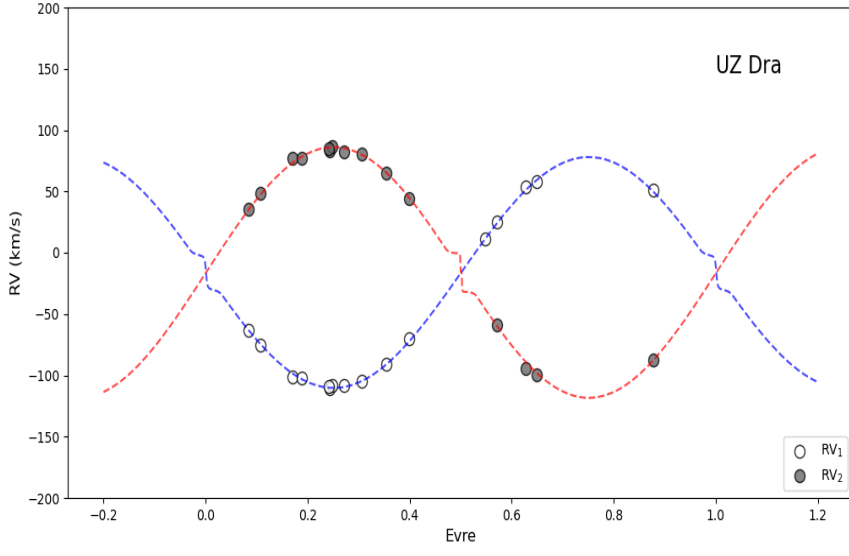
Sistemin toplam ışığına üçüncü cisimden gelen bir katkının olup olmadığını belirlemek için üçüncü cisimde eş zamanlı çözümde serbest parametre olarak kabul edildi. Hem üçüncü cisim katkısı yokken hem de üçüncü cisim katkısı varken iki farklı çözüm denemesi yapıldı. $\sum W(O-C)^2$ değeri üçüncü ışık varken en küçük değer olarak elde edildiği için üçüncü cisim katkılı çözüme göre elde edilen parametre değerleri kullanılarak

kuramsal eğriler oluşturuldu.

0.001 değerindeki üçüncü ışık katkısı hata sınırları içerisinde yer aldığından anlamlı olarak kabul edildi. Modellemede elde edilen parametre değerlerine göre oluşturulan kuramsal eğriyle *TESS* ışık eğrisinin uyumu Şekil 17’de ve dikine hız eğrileriyle kuramsal eğrilerin uyumu Şekil 18’de, geometrik ve fiziksel parametre değerleri de Tablo 2’de verilmiştir. Her iki bileşenin dikine hız ve sistemin *TESS* ışık eğrilerinin eş zamanlı modellemesinden bileşenlere ilişkin salt parametre değerleri de belirlenmiş ve Tablo 3’de listelenmiştir.



Şekil 17. UZ Dra sisteminin *TESS* ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.



Şekil 18. UZ Dra sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.

Tablo 2

UZ Dra sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri

Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)
$a (R_\odot)$	12.6550±0.06	12.6368±0.06
$V\gamma (km/s)$	-16.15±0.26	-15.95± 0.25
e	0	0
ω (derece)	90.0	90.0
Evre kayması	0.001	0.001
i (derece)	89.373 ± 0.011	89.674 ±0.023
T_1 (K)	6100	6100
T_2 (K)	5800 ± 200	5798 ± 200
Ω_1	10.699±0.0035	10.732±0.0035
Ω_2	11.393±0.0085	11.330±0.0107
q	0.9209±0.0009	0.924 ± 0.0009
L_1/L_{top}	0.606	0.600
L_2/L_{top}	0.394	0.399
l_3/L_{top}	-	0.001
r_{1pole}	0.1022±0.0001	0.1019±0.0001
r_{1point}	0.1025±0.0001	0.1022±0.0001
r_{1side}	0.1024±0.0001	0.1020±0.0001
r_{1back}	0.1025±0.0001	0.1022±0.0001
r_{2pole}	0.0889±0.0001	0.0897±0.0001
r_{2point}	0.0891±0.0001	0.0899±0.0001
r_{2side}	0.0890±0.0001	0.0898±0.0001
r_{2back}	0.0891±0.0001	0.0899±0.0001
$\Sigma W(O - C)^2$	0.004-0.004	0.004-0.004

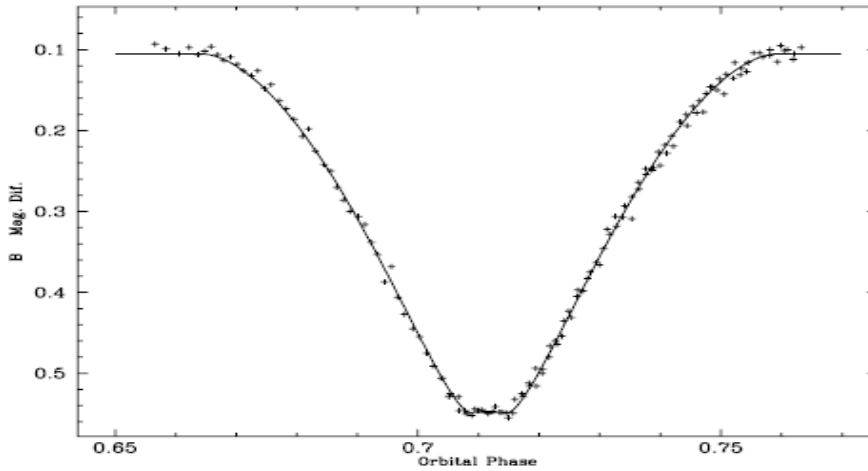
Tablo 3

UZ Dra sisteminin bileşenlerinin mutlak parametreleri

Parametreler	Bu çalışma ($l_3=0$)		Bu çalışma (l_3 varken)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_\odot)	1.34±0.02	1.23±0.02	1.33±0.02	1.23±0.02
Yarıçap (R_\odot)	1.30±0.03	1.13±0.03	1.29±0.03	1.14±0.03
$\log g$	4.34±0.02	4.42±0.02	4.34±0.02	4.42±0.02
M_{bol} (kadir)	3.99±0.06	4.51±0.07	4.00±0.06	4.50±0.07

4.2. FT Orionis Örtlen Çift Yıldız Sistemi

FT Ori sisteminin ilk keşfi Hoffmeister (1934) tarafından yapılmıştır. Oldukça basık ($e = 0.409$) yörüngeli, $9^m.26$ parlaklığında, her iki bileşeni de anakol yıldızı olan, (A0+A2) tayf türünden sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlere sahip 3.1504189 gün dönemli bir örtlen çift yıldız sistemidir (Wolf ve Sarounová, 2005). FT Ori sisteminin ilk fotometrik parametreleri Cristaldi (1970) tarafından belirlendi. Sistem basık yörüngeli olduğu için, çeşitli yazarlar sistemin eksen dönme dönemini Grønbech (1974) 520 ± 100 yıl, Wolf ve Sarounová (1995) 481 ± 19 yıl ve Sabby vd. (2011) 536 ± 7 yıl olarak hesaplamıştır. Sistemin ilk ayrıntılı tayfsal ve fotometrik çalışması Sabby vd. (2011) tarafından yapılmış, sistemin bileşenlerinin geometrik, fiziksel ve salt parametreleriyle birlikte sistemin yörünge parametreleri de belirlenmiştir. Bu çalışmada ayrıca sistemin O-C analizi de sunulmuştur. Farklı yıllardaki ışık eğrilerini içeren Sabby vd. (2011)'in çalışmasında yer alan Lacy'nin Cerro Tololo Inter-American Gözlemevi'nde yaptığı gözlemlerde yan minimum evresinde tam tutulma görülmüştür (bkz. Şekil 19). Sistemin teorik modellerden yaşı 190 Milyon yıl olarak hesaplanmıştır (Sabby vd., 2011).



Şekil 19. Lacy'nin Cerro Tololo Inter-American Gözlemevi'nde yaptığı gözlemlerde yan minimum evresi (Sabby vd., 2011).

4.2.1. Işık Eğrisi Modellemesi

FT Ori sisteminin ışık eğrisi modellemesinde, atmosfer dışı gözlemleri içeren *TESS* uydu veri tabanında yer alan sektör 45 verileri kullanılmıştır. T_0 değeri 2449725.6427 ve dönemi 3.1504189 gün olarak Tablo1'den alınarak sistem evrelendirilmiştir. Daha sonra ışık eğrisi modellenmesinde kullanılmak üzere ışık eğrisinin maksimumları 1 değerine normalize edildi.

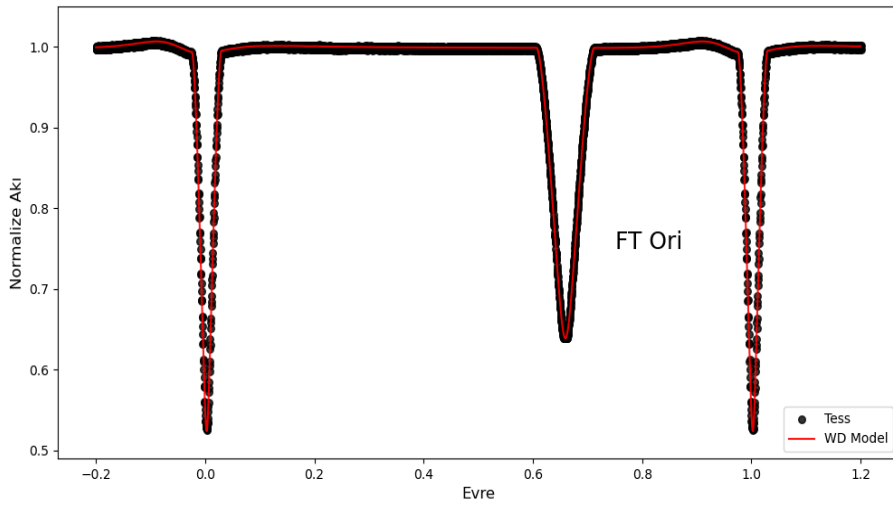
UZ Dra'nın fotometrik modellemesinde kullanılan ayırık sisteme karşılık gelen aynı MOD değeri ve serbest parametreler kullanılmıştır. Mod seçiminde; UZ Dra örten çift yıldız sisteminde olduğu gibi FT Ori sistemin bileşenlerinin potansiyel değerlerine göre karar verilmiştir. UZ Dra örten çift yıldız sisteminden farklı olarak basık yörüngeli FT Ori örten çift yıldız sistemini için e ve ω değerleri de serbest parametre olarak seçildi.

Işık eğrisi modellemesinde dalgaboyu UZ Dra sisteminde olduğu gibi *TESS* dalgaboyu 7850Å olarak seçilmiştir. Hem fotometrik hem de tayfsal verinin birlikte kullanıldığı eş zamanlı çözümde, literatürde sadece Sabby vd. (2011)'in çalışmasından yer alan dikine hızlar ve bu çalışmada tayfin alındığı dalgaboyu olan 4500 Å kullanılmıştır. Baş yıldızın sıcaklığı (T_1) için 9600 K ve kütle oranı (q) için 0.818 değeri sabit olarak Sabby vd. (2011)'in çalışmasından alınmıştır.

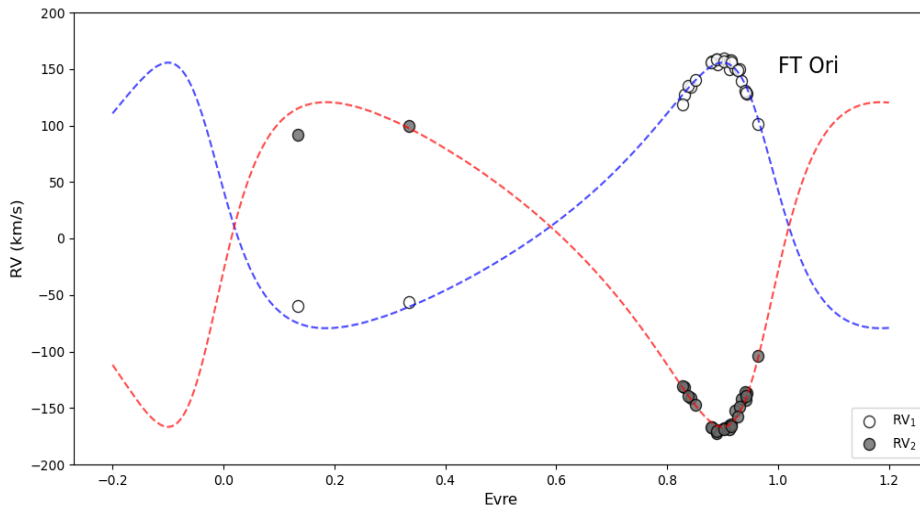
Lineer ve bolometrik kenar kararma katsayıları van Hamme (1993)'den alındı. FT Ori sisteminin her iki bileşeni de radyatif atmosferlidir (Sabby vd.,2011). Bu nedenle; bolometrik albedolar radyatif atmosferler için, $A_1=1.0$ ve $A_2=1.0$ (Rucinski, 1969), çekim kararma katsayıları radyatif atmosferler için, $g_1= 1.0$ ve $g_2= 1.0$ (von Zeipel, 1924) değerinde modellemede sabit parametre olarak kabul edildi. Sistemin bileşenlerinin eş-dönme gösterdiği kabul edilerek $F_{1,2}$ dönme parametreleri de 1.0 değerinde sabit alınmıştır.

Modelleme sonucunda bileşenlere ilişkin fiziksel, geometrik ve salt parametreler sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Tablo4'teki parametre değerleri WD programının LC (Light Curve) kısmında *TESS* ışık eğrilerine kuramsal eğri fiti yapmak üzere kullanıldı. Kuramsal eğrinin gözlem noktasıyla uyumu, Şekil 20'de ve bileşenlerin dikine hız

değerlerinin kuramsal eğrilerle uyumu Şekil 21’te verilmektedir. Şekil 20’deki ışık eğrisinde fotometrik modelleme yapılsa bile, yan minimum çukurunun 0.5 evre yerine yaklaşık 0.65 evrede bulunması, minimumlara giriş ve çıkış sürelerinin farklı olması sistemin basık yörüngede dolandığı hakkında bize güçlü kanıtlar sunar. Dikine hızlara yapılan kuramsal eğri fitlerinde sistemin basık yörüngede dolanmasından kaynaklanan asimetrik eğri fitleri göze çarpar (bkz. Şekil 21).



Şekil 20. FT Ori sisteminin *TESS* ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.



Şekil 21. FT Ori sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.

Tablo 4

FT Ori sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri

Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)
$a (R_{\odot})$	14.8470 ± 0.25	14.8418 ± 0.25
$V_{\gamma} (km/s)$	10.55 ± 0.27	10.55 ± 0.22
e	0.409	0.409
ω (derece)	55.07 ± 0.0001	55.00 ± 0.00013
Evre kayması	0.0612 ± 0.0001	0.0612 ± 0.0001
i (derece)	87.824 ± 0.11	88.243 ± 0.034
T_1 (K)	9600	9600
T_2 (K)	8926 ± 200	8745 ± 200
Ω_1	9.987 ± 0.022	10.024 ± 0.0013
Ω_2	8.315 ± 0.016	8.254 ± 0.021
q	0.818	0.818
L_1/L_{top}	0.496	0.496
L_2/L_{top}	0.504 ± 0.029	0.501 ± 0.024
l_3/L_{top}	-	0.003 ± 0.002
r_{1pole}	0.1159 ± 0.0002	0.1154 ± 0.0002
r_{1point}	0.1173 ± 0.0002	0.1168 ± 0.0002
r_{1side}	0.1160 ± 0.0002	0.1156 ± 0.0002
r_{1back}	0.1170 ± 0.0002	0.1165 ± 0.0002
r_{2pole}	0.1245 ± 0.0002	0.1257 ± 0.0002
r_{2point}	0.1275 ± 0.0002	0.1287 ± 0.0002
r_{2side}	0.1248 ± 0.0002	0.1260 ± 0.0002
r_{2back}	0.1267 ± 0.0002	0.1280 ± 0.0002
$\Sigma W(O-C)^2$	0.0008-0.0008	0.0006-0.0006

Tablo 5

FT Ori sistemi bileşenlerinin mutlak parametreleri

Parametreler	Bu çalışma ($l_3=0$)		Bu çalışma (l_3 varken)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_{\odot})	2.44 ± 0.02	2.00 ± 0.02	2.44 ± 0.01	2.00 ± 0.01
Yarıçap (R_{\odot})	1.73 ± 0.01	1.86 ± 0.01	1.72 ± 0.01	1.88 ± 0.01
$\log g$	4.35 ± 0.01	4.20 ± 0.01	4.35 ± 0.01	4.19 ± 0.01
M_{bol} (kadir)	1.39 ± 0.04	1.55 ± 0.04	1.40 ± 0.04	1.62 ± 0.04

4.3. MU Cassiopeiae Örtlen Çift Yıldız Sistemi

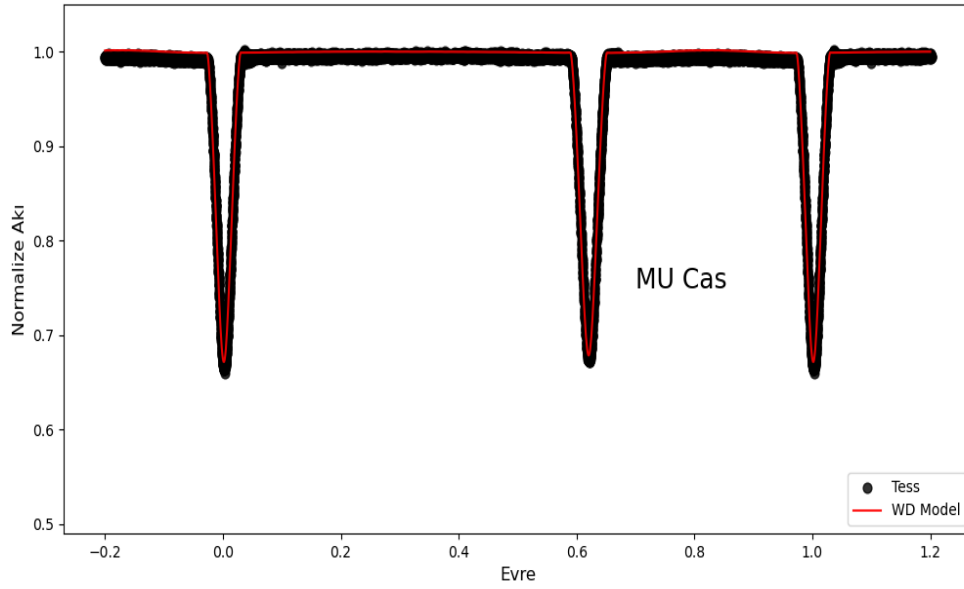
Algol türü ayırık MU Cas örtlen çift yıldız sistemi Hoffmeister tarafından (1949) keşfedilmiş ve ilk olarak Beta Lyr (EB) türü yıldız sistemi olarak sınıflandırılmıştır. Götz ve Wenzel (1956) sistemin dönemini 3.861145 gün olarak vermişler ancak bu belirlenen dönem MU Cas'ın 9.65 gün olan gerçek döneminden çok uzak olup yanlış belirlenmiş bir dönem olarak literatürde yerini almıştır. Lacy (1984) tarafından yapılan çalışmaya kadar bu sistem oldukça az çalışılmıştır. Bu çalışmada 1983 yılında yapılan yüksek çözünürlüklü tayflardan sistemin çift çizgili tayfsal çift olduğu belirlenmiştir. Bu sisteme ilişkin en kapsamlı çalışma Lacy vd. (2004) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada farklı gözlemlerinden MU Cas sistemi için alınmış tayflar bulunmaktadır. McDonald gözlemlerinden tayfsal gözlemler 1983 yılında, Kitt Peak National gözleminde (KPNO) 1984 yılında başlamış ve 2000 yılında bitmiştir. Sistemin yer tabanlı *UBV* ve *ubvy β* fotometrik sistemlerindeki gözlemler Lacy tarafından yapılmıştır (Lacy, 1992, 2002). Lacy vd. (2004) tarafından yapılan çalışmada MU Cas sisteminin bileşenlerinin kütlelerini %2'den daha iyi bir duyarlılıkla hesaplarken, bileşenlerin yarıçaplarının duyarlılıkları %1'den daha iyidir. Sistemin her iki bileşenin de B5 tayf türünde olduğu belirtilmiştir. Sistemin Galaksi diski düzlemine yaklaşık 1.7 kpc uzaklığında konumlandığı belirtilmiştir. Sistemin eksantrik yörüngeli olduğu ve bileşenlerin *HR* diyagramında üst anakolda yer aldığı ve anakolda yer alan bileşenleri içeren sistemin yaşının 65 milyon yıl ve sistemin uzaklığı 1690 pc değerinde hesaplanmıştır (Lacy vd.,2004).

4.3.1. Işık Eğrisi Modellemesi

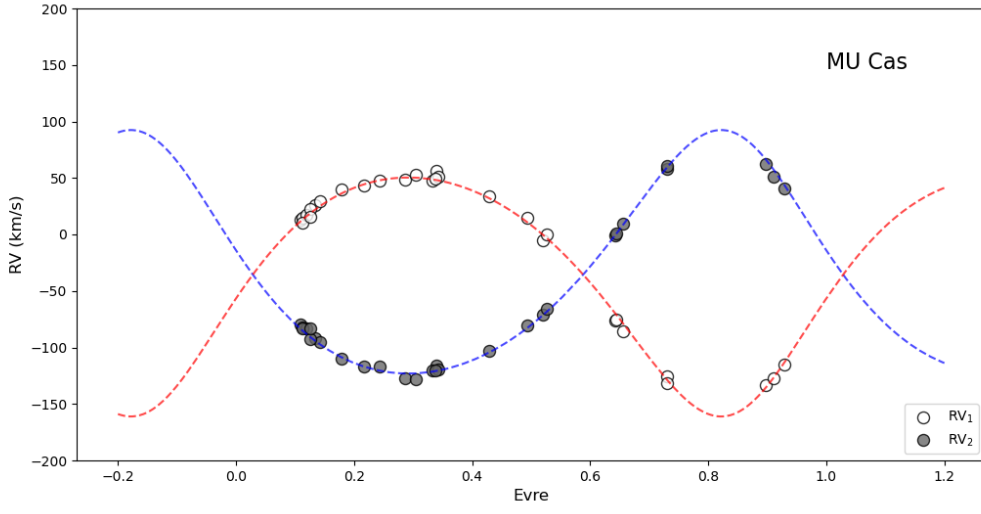
Işık eğrisi modellemesi için *TESS* uydu veri setinden sektör 45'te yer alan veriler seçilmiştir. MU Cas örtlen çift yıldız sisteminin evrelendirilmesinde *To* minimum zamanı 2452233.7418 ve dönem 9.6529290 değerinde kullanılmıştır. 1 değerine normalize edilen *TESS* ışık eğrileriyle Lacy vd. (2004) tarafından MU Cas sisteminin bileşenleri için elde edilen dikine hız eğrileri eş zamanlı olarak fotometrik modellemede kullanılmıştır. FT Ori sistemindeki aynı sabit, serbest parametreler ve aynı *MOD* seçilmiştir. Fotometrik

modellemede baş bileşenin sıcaklığı, T_1 ve kütle oranı, q değeri; sırasıyla 15100 K ve 1.019 değerinde Lacy vd. (2004)'den alınarak sabit parametre olarak kabul edildi.

TESS ışık eğrisi dalgaboyu ve dikine hız eğrilerinin dalgaboyu diğer FT Ori sistemi için seçilen dalgaboyu ile aynıdır. Serbest parametre değerlerine (bkz. Tablo 5) göre, kuramsal eğriler çizilmiştir. Şekil 22. kuramsal eğrilerle *TESS* gözlem noktalarının uyumunu ve Şekil 23. dikine hız eğrileriyle kuramsal eğrilerin uyumunu gösterir. Sistemin salt parametre değerleri Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 22. MU Cas sisteminin *TESS* ışık eğrisi ve kuramsal eğri uyumu.



Şekil 23. MU Cas sistemi dikine hız değerleriyle kuramsal eğrilerin uyumu.

Tablo 6

MU Cas sisteminin fotometrik modellemeden elde edilen parametre değerleri

Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)
$a (R_{\odot})$	40.01	40.01
$V_{\gamma} (km/s)$	-35.55 ± 0.11	-35.55 ± 0.11
e	0.1930	0.1930
ω (derece)	13.79 ± 0.001	13.98 ± 0.001
Evre kayması	0.0590	0.0591
i (derece)	86.837 ± 0.008	87.167 ± 0.02
T_1 (K)	15100	15100
T_2 (K)	15329 ± 200	15323 ± 200
Ω_1	12.5554 ± 0.015	12.4274 ± 0.016
Ω_2	10.8142 ± 0.024	10.9715 ± 0.024
q	1.019	1.019
L_1/L_{top}	0.404	0.416
L_2/L_{top}	0.596	0.580
l_3/L_{top}	-	0.004
r_{1pole}	0.0885 ± 0.0001	0.0895 ± 0.0001
r_{1point}	0.0888 ± 0.0001	0.0898 ± 0.0001
r_{1side}	0.0886 ± 0.0001	0.0896 ± 0.0001
r_{1back}	0.0887 ± 0.0001	0.0897 ± 0.0001
r_{2pole}	0.1062 ± 0.0002	0.1045 ± 0.0002
r_{2point}	0.1067 ± 0.0002	0.1050 ± 0.0002
r_{2side}	0.1063 ± 0.0002	0.1046 ± 0.0002
r_{2back}	0.1067 ± 0.0002	0.1049 ± 0.0002
$\Sigma W(O-C)^2$	0.0002- 0.0002	0.0002- 0.0002

Tablo 7

MU Cas sistemi bileşenlerinin mutlak parametreleri

Parametreler	Bu çalışma ($l_3=0$)		Bu çalışma (l_3 varken)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_{\odot})	4.58 ± 0.10	4.67 ± 0.10	4.58 ± 0.10	4.67 ± 0.10
Yarıçap (R_{\odot})	3.54 ± 0.04	4.26 ± 0.05	3.59 ± 0.04	4.19 ± 0.05
$\log g$	4.00 ± 0.01	3.85 ± 0.01	3.99 ± 0.01	3.86 ± 0.01
M_{bol} (kadir)	-2.13 ± 0.17	-2.60 ± 0.17	-2.16 ± 0.17	-2.56 ± 0.17

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında *TESS* veri tabanından seçilen ayırık Algol türü üç yıldızın fotometrik modellemesi sunulmuştur. Seçilen sistemlerden UZ Dra çembersel yörüngeye sahipken, FT Ori ve MU Cas ayırık çift sistemler eksantrik yörüngelidirler. Seçilen sistemlerin fotometrik ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı modellenmesi UZ Dra örten çift yıldız sistemi için Lacy vd. (1989), FT Ori Sabby vd. (2011) ve MU Cas Lacy vd.(2004) tarafından yapılmıştır. Her bir sistemin yukarıda söylenildiği gibi sadece tek bir çalışmada fotometrik modellenmesi bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sistemlerin yer tabanlı ve eski tarihli veri setlerinden elde edilmiş ışık eğrileri bulunmaktadır ve görüldüğü üzere literatürdeki çalışmaların hepsi eski tarihlidir.

UZ Dra, FT Ori ve MU Cas sistemlerinin atmosfer dışı yapılan uydu gözlemlerini içeren *TESS* veri tabanından seçilen ışık eğrileriyle, yukarıda söylenen çalışmalardan alınan bileşenlerin dikine hız eğrileri eş zamanlı modellenmiştir. Üç sistemde eş-dönme gösterdiği var sayılmıştır. Bu nedenle dönme parametresi $F_{1,2}$ 1.0 değerinde sabit alınmıştır. Her üç sistem için toplam ışığa hem üçüncü cisim ışık katkısı varken hem de üçüncü cisim ışık katkısı yokken kabul edilen iki yaklaşımla çözüm yapılmıştır. Bileşenlerin potansiyel değerlerine göre iterasyonlara MOD2’de başlanmış ve MOD2’de devam etmiştir.

UZ Dra sisteminin her iki bileşeni de konvektif atmosferli kabul edilerek fotometrik çözüm yapılmıştır. Bolometrik albedolar ve çekim kararırma katsayıları bileşenlerin konvektif atmosferli yaklaşımına uygun olarak seçilmiştir. Baş bileşenin yüzey sıcaklığı 6100 K olarak Lacy vd. (1989)’un çalışmasından alınmıştır ve fotometrik modellemede sabit parametre olarak seçilmiştir. UZ Dra sisteminin yörüngesi çemberdir. Çember yörüngeye uygun olarak; sabit parametre olarak kabul edilen basıklık (e) değeri 0 ve enberi boylamı (ω) değeri 90° alınmıştır.

UZ Dra sisteminin bu çalışmada elde edilen parametre değerleriyle Lacy vd. (1989)’un çalışmasında elde edilen parametre değerleri hata mertebesinde birbirleriyle oldukça uyumludur. Sistemin yörünge eğikliği (i) bu çalışmada üçüncü cisim yokken $89^\circ.4$

üçüncü cisim varken $89^{\circ}.7$ olarak elde edilmiştir. Lacy vd. (1989)'un çalışmasında yörünge eğikliği $89^{\circ}.1$ 'dir. Yoldaş bileşenin sıcaklık değeri üçüncü cisim yokken 5800 K, varken 5798 K ve Lacy vd. (1989)'un çalışmasında 5900 K'dir. Kütle oranı (q) değeri hem bu çalışmadaki iki ayrı yaklaşımla yapılan çözümde hem de Lacy vd. (1989)'un çalışmasındaki çözümde aynı değer 0.92 elde edilmiştir. Toplam ışığa 0.001 değerinde çok küçük bir üçüncü ışık katkısı belirlenmiştir. Bu değer, *TESS* gözlem duyarlılığına göre anlamlıdır. Tablo 9'da görüldüğü gibi bileşenlerin salt parametreleri, kütle, yarıçapları ve log g değerleri literatürle uyumludur.



Tablo 8

UZ Dra sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma

Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)	Literatür (Lacy vd., 1989)
$a (R_{\odot})$	12.6550±0.06	12.6368±0.06	12.69±0.06
$V\gamma (km/s)$	-16.15±0.26	-15.95± 0.25	-15.6 ± 0.4(1. bileşen) -16.8 ± 0.6 (2. bileşen)
e	0	0	0
ω (derece)	90.0	90.0	90.0
Evre kayması	0.001	0.001	
i (derece)	89.373 ± 0.011	89.674 ±0.023	89.1±0.1
T_1 (K)	6100	6100	6100
T_2 (K)	5800 ± 200	5798 ± 200	5900
Ω_1	10.699±0.0035	10.732±0.0035	
Ω_2	11.393±0.0085	11.330±0.0107	
q	0.9209±0.0009	0.924 ± 0.0009	0.92
L_1/L_{top}	0.606	0.600	
L_2/L_{top}	0.394	0.399	
l_3/L_{top}	-	0.001	
r_{1pole}	0.1022±0.0001	0.1019±0.0001	
r_{1point}	0.1025±0.0001	0.1022±0.0001	
r_{1side}	0.1024±0.0001	0.1020±0.0001	
r_{1back}	0.1025±0.0001	0.1022±0.0001	
r_{2pole}	0.0889±0.0001	0.0897±0.0001	
r_{2point}	0.0891±0.0001	0.0899±0.0001	
r_{2side}	0.0890±0.0001	0.0898±0.0001	
r_{2back}	0.0891±0.0001	0.0899±0.0001	
$\Sigma W(O - C)^2$	0.004-0.004	0.004-0.004	

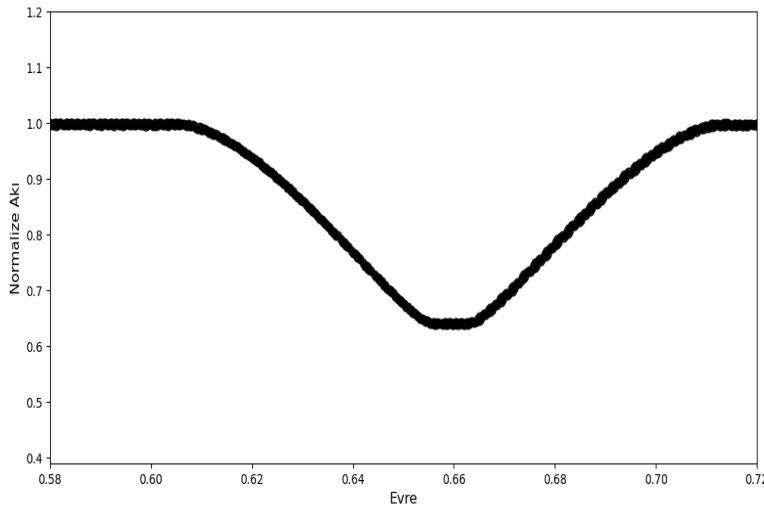
Tablo 9

UZ Dra sistemi mutlak parametreleri daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma

Parametreler	Bu çalışma ($l_3=0$)		Bu çalışma (l_3 varken)		Literatür (Lacy vd.,1989)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_{\odot})	1.34±0.02	1.23±0.02	1.33±0.02	1.23±0.02	1.34±0.02	1.23±0.02
Yarıçap (R_{\odot})	1.30±0.03	1.13±0.03	1.29±0.03	1.14±0.03	1.31±0.03	1.15±0.02
$\log g$	4.34±0.02	4.42±0.02	4.34±0.02	4.42±0.02	4.33±0.03	4.40±0.03
M_{bol} (kadir)	3.99±0.06	4.51±0.07	4.00±0.06	4.50±0.07		

FT Ori örten çift yıldız sistemin eş zamanlı fotometrik modellemesinde dikine hızlar Sabby vd. (2011)'in çalışmasından, ışık eğrisi de *TESS* veri tabanından seçilmiştir. Sisteminin her iki bileşeni de Sabby vd. (2011)'in çalışmasında radyatif atmosferli olarak kabul edilmiştir. Bu nedenle bu sistemin fotometrik modellemesinde radyatif atmosferli bileşenlerin kabulüyle bolometrik albedolar ve çekim kararım katsayıları seçilmiştir. Baş bileşenin yüzey sıcaklığı Sabby vd. (2011)'in çalışmasından 9600 K değerinde sabit parametre olarak alınmıştır. FT Ori ayrık örten çift yıldız sistemi oldukça basık yörüngeli bir çift sistemdir. Sabby vd. (2011)'in çalışmasında yörünge dış merkezliği, e 0.409 ve kütle oranı, q 0.818 değerinde verilmişti ve bu çalışmada da bu değerler alınarak sabit parametre olarak kabul edilmiştir.

Fotometrik çözüm sonunda yoldaş bileşenin sıcaklığı Tablo 10'dan da görüldüğü gibi üçüncü cisim varken 8745 K ve üçüncü cisim katkısı yokken 8926 K değerinde bulunmuştur. Yoldaş bileşenin her iki çözümde de bulunan sıcaklık değerleri, literatürde verilen 8600 K'lik yoldaş bileşenin sıcaklık değeriyle hata mertebesinde uyumludur. Sistemin enberi boylamı, ω 18 yılda yaklaşık 30° değişmiştir. Bileşenlerin toplam ışığa katkısı her iki bileşen için yaklaşık %5'lerde iken, %0.5 değerinde üçüncü bir cismin toplam ışığına katkısı fotometrik çözümlemede belirlenmiştir. Şekil 24'de de görüldüğü gibi FT Ori sisteminin *TESS* ışık eğrilerinin yan minimumunda tam tutulma görülmektedir.



Şekil 24. FT Ori'nin tam tutulmanın görüldüğü yan minimum evresi.

Bileşenlerin mutlak parametreleri de hesaplandı. Tablo 11’de görüldüğü gibi bu çalışmada, baş bileşenin kütlesi $2.44 M_{\odot}$ ve yoldaş bileşenin kütlesi $2.0 M_{\odot}$ olarak belirlenirken Sabby vd. (2011)’in çalışmasında sırasıyla kütle değerleri $2.18 M_{\odot}$ ve $1.78 M_{\odot}$ olarak belirlendi. Bu çalışmada belirlenen bileşenlerin yarıçap değerleri literatürdeki Sabby vd. (2011)’in çalışmasından daha farklı elde edilmiştir (bkz. Tablo 11). Yine bu çalışmada *TESS* ışık eğrisinin 7850 \AA dalgaboyunda alınan verilerden elde edilen ışınım katkılarıyla, literatürde 4400 \AA (B filtresi) ve 5500 \AA (V filtresi) dalgaboylarında alınan verilerden elde edilen ışınım katkıları karşılaştırılmıştır. Dalgaboyuna bağlı olarak ışınım katkılarında farklılık görülmesi beklenen sonuçtur ancak bu çalışmada bulunan ışınım katkılarıyla literatürdeki tek çalışma olan Sabby vd. (2011)’in çalışmasındaki ışınım katkıları arasındaki fark büyüktür. Bu sonuç dalgaboyundaki farklılıktan kaynaklanamayacaktır şeklinde açıklanmalıdır.

Tablo 10

FT Ori sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma

Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)	Literatür (Sabby vd., 2011)
$a (R_{\odot})$	14.8470 ± 0.25	14.8418 ± 0.25	
$V\gamma (km/s)$	10.55 ± 0.27	10.55 ± 0.22	9.8 ± 1.9 (1. bileşen) 11.8 ± 1.7 (2. bileşen)
e	0.409	0.409	0.409
ω (derece)	55.07 ± 0.0001	55.00 ± 0.00013	15.4 ± 0.9
Evre kayması	0.0612 ± 0.0001	0.0612 ± 0.0001	
i (derece)	87.824 ± 0.11	88.243 ± 0.034	88.4 ± 0.6
$T_1 (K)$	9600	9600	9600 ± 400
$T_2 (K)$	8926 ± 200	8745 ± 200	8600 ± 300
Ω_1	9.987 ± 0.022	10.024 ± 0.0013	
Ω_2	8.315 ± 0.016	8.254 ± 0.021	
q	0.818	0.818	0.818
L_1/L_{top}	0.496	0.496	0.623 ± 0.008
L_2/L_{top}	0.504 ± 0.029	0.501 ± 0.024	0.374 ± 0.008
l_3/L_{top}	-	0.003 ± 0.002	-
r_{1pole}	0.1159 ± 0.0002	0.1154 ± 0.0002	
r_{1point}	0.1173 ± 0.0002	0.1168 ± 0.0002	
r_{1side}	0.1160 ± 0.0002	0.1156 ± 0.0002	
r_{1back}	0.1170 ± 0.0002	0.1165 ± 0.0002	
r_{2pole}	0.1245 ± 0.0002	0.1257 ± 0.0002	
r_{2point}	0.1275 ± 0.0002	0.1287 ± 0.0002	
r_{2side}	0.1248 ± 0.0002	0.1260 ± 0.0002	
r_{2back}	0.1267 ± 0.0002	0.1280 ± 0.0002	
$\Sigma W(O-C)^2$	0.0008-0.0008	0.0006-0.0006	

Tablo 11

FT Ori sistemi mutlak parametreleri daha önceki çalışma ile karşılaştırma

Parametreler	Bu çalışma ($l_3=0$)		Bu çalışma ($l_3 \neq 0$)		Literatür (Sabby vd., 2011)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_{\odot})	2.44 ± 0.02	2.00 ± 0.02	2.44 ± 0.01	2.00 ± 0.01	2.18 ± 0.02	1.78 ± 0.02
Yarıçap (R_{\odot})	1.73 ± 0.01	1.86 ± 0.01	1.72 ± 0.01	1.88 ± 0.01	1.86 ± 0.01	1.62 ± 0.01
$\log g$	4.35 ± 0.01	4.20 ± 0.01	4.35 ± 0.01	4.19 ± 0.01	4.24 ± 0.01	4.27 ± 0.01
M_{bol} (kadir)	1.39 ± 0.04	1.55 ± 0.04	1.40 ± 0.04	1.62 ± 0.04		

Fotometrik modellemesi yapılan son sistem, MU Cas örten çift yıldız sistemidir. Bu sistemin de literatürde yapılmış olan tek bir çalışması (Lacy vd., 2004) bulunmaktadır. Bu sistemde FT Ori örten çift yıldız sistemi gibi eksen dönmesi gösteren bir çift sistemdir. Eksantrik yörüngeli MU Cas çift sisteminde bileşenler radyatif atmosferlidir. Bu çalışmada sunulan sistemin eş zamanlı fotometrik modellemesi için; *TESS* ışık eğrileriyle Lacy vd. (2004)'ün çalışmasında yer alan bileşenlerin dikine hız eğrilerinin eş zamanlı fotometrik modellemesi yapılmıştır. FT Ori sisteminde olduğu gibi aynı sabit ve serbest parametreler seçilmiştir. Yörünge dış merkezliği, e 0.1930 ve kütle oranı, q 1.019 değerinde Lacy vd. (2004)'ün çalışmasından seçilerek bu değerler bu çalışmada da sabit parametre olarak kabul edilmiştir.

Fotometrik modellemede 15100 K baş bileşenin sıcaklık değeri Lacy vd. (2004)'ün çalışmasından sabit parametre olarak seçilmiştir. Modellemede bulunan yoldaş bileşenin sıcaklık değeri Lacy vd. (2004)'ün değeriyle uyumludur.

Tablo 13'de görüldüğü gibi, MU Cas sisteminin bu çalışmada belirlenen sırasıyla $4.58 M_{\odot}$ ve $4.67 M_{\odot}$ kütleleri ve $3.59 R_{\odot}$ ve $4.19 R_{\odot}$ yarıçapları Lacy vd. (2004)'ün çalışmasındaki kütle ve yarıçap değerleriyle uyumludur ancak yarıçaplar arasında aynı uyum görülmemektedir (bkz. Tablo 13).

Tablo 12

MU Cas sistemine ait parametreler daha önce yapılan çalışma ile karşılaştırma

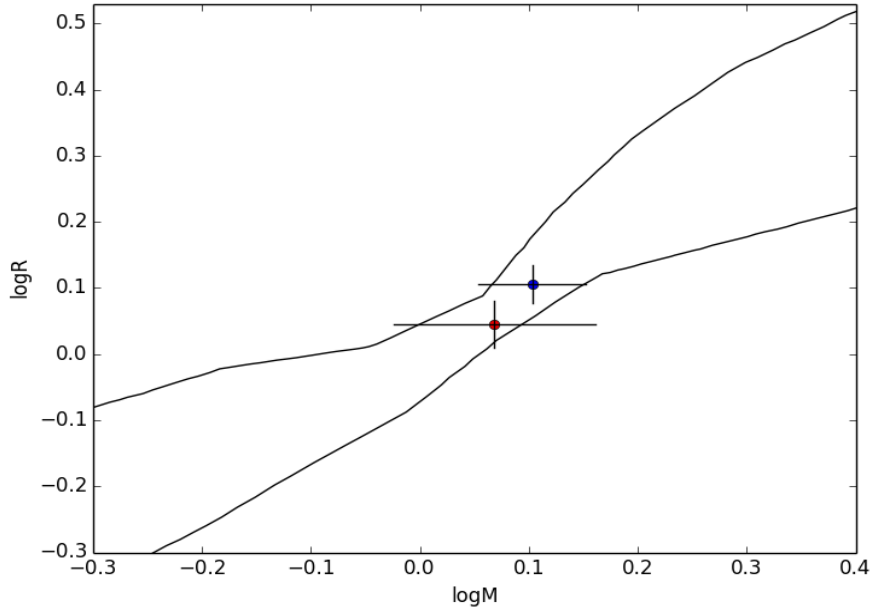
Parametreler	Üçüncü cisim yok $l_3=0$ (Bu çalışma)	Üçüncü cisim var (Bu çalışma)	Literatür (Lacy, vd., 2004)
$a (R_{\odot})$	40.01	40.01	40.01 ± 0.19
$V\gamma (km/s)$	-35.55 ± 0.11	-35.55 ± 0.11	-35.7 ± 0.7 (1. bileşen) -35.4 ± 0.6 (2. bileşen)
e	0.1930	0.1930	0.1930 ± 0.0003
ω (derece)	13.79 ± 0.001	13.98 ± 0.001	13.4 ± 0.4
Evre kayması	0.0590	0.0591	
i (derece)	86.837 ± 0.008	87.167 ± 0.02	87.02 ± 0.07
$T_1 (K)$	15100	15100	15100 ± 500
$T_2 (K)$	15329 ± 200	15323 ± 200	14750 ± 500
Ω_1	12.5554 ± 0.015	12.4274 ± 0.016	
Ω_2	10.8142 ± 0.024	10.9715 ± 0.024	
q	1.019	1.019	1.019
L_1/L_{top}	0.404	0.416	
L_2/L_{top}	0.596	0.580	
l_3/L_{top}	-	0.004	-
r_{1pole}	0.0885 ± 0.0001	0.0895 ± 0.0001	
r_{1point}	0.0888 ± 0.0001	0.0898 ± 0.0001	
r_{1side}	0.0886 ± 0.0001	0.0896 ± 0.0001	
r_{1back}	0.0887 ± 0.0001	0.0897 ± 0.0001	
r_{2pole}	0.1062 ± 0.0002	0.1045 ± 0.0002	
r_{2point}	0.1067 ± 0.0002	0.1050 ± 0.0002	
r_{2side}	0.1063 ± 0.0002	0.1046 ± 0.0002	
r_{2back}	0.1067 ± 0.0002	0.1049 ± 0.0002	
$\Sigma W(O - C)^2$	0.0002- 0.0002	0.0002- 0.0002	

Tablo 13

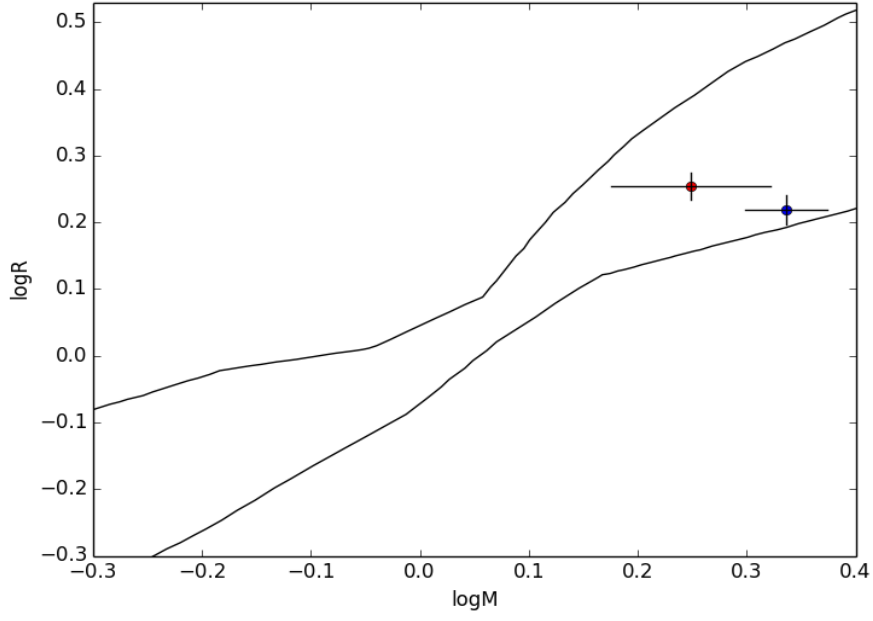
MU Cas sistemi mutlak parametreleri daha önceki çalışma ile karşılaştırma

Parametreler	Bu çalışma (13=0)		Bu çalışma (13varken)		Literatür (Lacy, vd.,2004)	
	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş	Baş	Yoldaş
Kütle (M_{\odot})	4.58 ± 0.10	4.67 ± 0.10	4.58 ± 0.10	4.67 ± 0.10	4.57 ± 0.09	4.66 ± 0.10
Yarıçap (R_{\odot})	3.54 ± 0.04	4.26 ± 0.05	3.59 ± 0.04	4.19 ± 0.05	3.67 ± 0.04	4.19 ± 0.05
$\log g$	4.00 ± 0.01	3.85 ± 0.01	3.99 ± 0.01	3.86 ± 0.01	3.97 ± 0.01	3.86 ± 0.01
M_{bol} (kadir)	-2.13 ± 0.17	-2.60 ± 0.17	-2.16 ± 0.17	-2.56 ± 0.17	-2.24 ± 0.17	-2.43 ± 0.17

Şekil 25 ve 26’da görüldüğü gibi hem UZ Dra hem de FT Ori sisteminin bileşenlerinin $\log M$ - $\log R$ diyagramındaki dağılımlarına bakıldığında her iki bileşenin de anakolda ZAMS ile TAMS arasında yer aldığı görülmektedir. Tablo 9 ve 11 de yer alan bu iki sistemin $\log g$ değerleri de bileşenlerin anakolda olduğunu doğrulamaktadır. UZ Dra örten çift yıldız sisteminin baş bileşeni Roche lobunun yaklaşık %35’ini doldurmuştur. Oldukça basık yörüngeli olan FT Ori sistemi ise baş bileşenin yaklaşık %36 sını doldurmuşken yoldaş bileşenin yaklaşık %43 ünü doldurmuştur. MU Cas örten çift yıldız sisteminin baş bileşeni Roche lobunun yaklaşık %44’ünü doldurmuşken yoldaş bileşenin yaklaşık %50’sini doldurduğu hesaplanmıştır.



Şekil 25. UZ Dra sisteminin bileşenlerinin $\log M$ - $\log R$ diyagramındaki dağılımları.



Şekil 26. FT Ori sisteminin bileşenlerinin $\log M$ - $\log R$ diyagramındaki dağılımları.

KAYNAKÇA

- Ak, H., Chadima, P., Harmanec, P., Demircan, O., Yang, S., Koubský, P., Sudar, D. (2007). New findings supporting the presence of a thick disc and bipolar jets in the Lyrae system. *Astronomy & Astrophysics*, 463(1), p. 233-241.
- Alduseva, V. Y., Esipov, V. F. (1969). *Soviet Astronomy Letters*, Vol.13, p. 83.
- Appenzeller, I., & Hiltner, W. A. (1967). True polarization curves for beta Lyrae. *Astrophysical Journal*, Vol. 149, p. 353.
- Baraffe, I., Chabrier, G., Allard, F., Hauschildt, P. (1998). Evolutionary models for solar metallicity low-mass stars: mass-magnitude relationships and color-magnitude diagrams. *arXiv preprint astro-ph/9805009*.
- Bisikalo, D. V., Harmanec, P., Boyarchuk, A. A., Kuznetsov, O. A., Hadrava, P. (2000). Circumstellar structures in the eclipsing binary eta Lyr A. Gasdynamical modelling confronted with observations. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 353, p. 1009-1015.
- Bonneau, D., Chesneau, O., Mourard, D., Bériou, P., Clausse, J. M., Delaa, O., Goldfinger, P. J. (2011). A large H α line forming region for the massive interacting binaries β Lyrae and υ Sagittarii. *Astronomy & Astrophysics*, 532, A148.
- Budding E. (1984). *Bull. Inf. Cent. Données Stellaires*, 27, p. 91.
- Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Bulut, I., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Demircan, O. (2004). Catalogue of Algol type binary stars. *Astronomy & Astrophysics*, 417(1), p. 263-268.
- Bulut, İ., Demircan, O. (2007). A new catalogue of eclipsing binary stars with eccentric orbits. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 378(1), p. 179-181.
- Chen, W. C., Li, X. D., Qian, S. B. (2006). Orbital evolution of algol binaries with a circumbinary disk. *The Astrophysical Journal*, 649(2), p. 973.
- Chen, W. C., Podsiadlowski, P. (2017). Rapid orbital decay in detached binaries: evidence for circumbinary disks. *The Astrophysical Journal Letters*, 837(2), L19.

- Claret, A., Gimenez, A. (1989). The moment of inertia of main sequence stars. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series (ISSN 0365-0138)*, Vol. 81, no. 1, p. 37-45.
- Claret, A., Giménez, A., Baroch, D., Ribas, I., Morales, J. C., Anglada-Escudé, G. (2021). Analysis of apsidal motion in eclipsing binaries using TESS data-II. A test of internal stellar structure. *Astronomy & Astrophysics*, 654, A17.
- Cristaldi, S. (1970). Photometric elements of the FT Orionis binary system. *Astronomy and Astrophysics*, 5, p. 228.
- Dugan, R. S., Wright, F. W. (1939). A Study of Certain Eclipsing Variables for Variation of Period. UZ Draconis. *Contributions from the Princeton University Observatory*, 19, p. 58-59.
- Duner, N. C. (1892). On the chief cause of the anomalies in the light variations of Y Cygni. *Astronomical Journal*, Vol. 12, p. 1-4.
- Eker, Z., Bakış, V., Bilir, S., Soyduğan, F., Steer, I., Soyduğan, E., Alpsoy, M. (2018). Interrelated main-sequence mass–luminosity, mass–radius, and mass–effective temperature relations. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 479(4), p. 5491-5511.
- Eker, Z., Bilir, S., Soyduğan, F., Gokce, E. Y., Soyduğan, E., Tuysuz, M., Demircan, O. (2014). The catalogue of stellar parameters from the detached double-lined eclipsing binaries in the milky way. *arXiv preprint arXiv:1403.1583*.
- Garcia, E. V., Stassun, K. G., Hebb, L., Chew, Y. G. M., Heiser, A. (2011). Apsidal Motion of the Massive, Benchmark Eclipsing Binary V578 Mon. *The Astronomical Journal*, 142(1), p. 27.
- Giménez, A. (1981). The Study of Apsidal Motion in Eclipsing Binaries. In *Photometric and Spectroscopic Binary Systems: Proceedings of the NATO Advanced Study Institute held at Maratea, Italy*, p. 511-516.
- Giménez, A., & García-Pelayo, J. M. (1982). On the internal structure of main-sequence stars. In *International Astronomical Union Colloquium* .Vol. 69, p. 37-46.
- Grønbech, B. (1974). Apsidal motion in the FT Orionis system. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 37, p. 435-437.

- Hack, M., Hutchings, J. B., Kondo, Y., McCluskey, G. E., Plavec, M., Polidan, R. S. (1975). The ultraviolet spectrum of beta Lyrae. *Astrophysical Journal*, Vol. 198, p. 453-465.
- Harmanec, P., Morand, F., Bonneau, D., Jiang, Y., Yang, S., Guinan, E. F., Le Contel, J. M. (1996). Jet-like structures in beta Lyrae. Results of optical interferometry, spectroscopy and photometry. *Astronomy and Astrophysics*, 312, p. 879-896.
- He, J. J., Qian, S. B., Lajús, E. F., Fariña, C. (2009). A charge-coupled device photometric study of south hemispheric contact binary AE phoenicis. *The Astronomical Journal*, 138(5), p. 1465.
- Hegedus, T. (1989). Some remarks on eclipsing binaries seeming to be inconsistent with general relativity. *Communications of the Konkoly Observatory Hungary*, 93, p. 289-301.
- Hilditch, R. W. (2001). *An introduction to close binary stars*. Cambridge University Press.
- Hoffman, J. L., Nordsieck, K. H., Fox, G. K. (1998). Spectropolarimetric Evidence for a Bipolar Flow in β Lyrae. *The Astronomical Journal*, 115(4), p. 1576.
- Huang, S. (1963). Modes of mass ejection by binary stars and the effect on their orbital periods. *Publications of Goddard Space Flight Center*, 63.
- Hubeny I., Plavec M. J. (1991). *Astronomical Journal*, 102, p. 1156.
- Ibanoğlu, C., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Dervişoğlu, A. (2006). Angular momentum evolution of Algol binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373(1), p. 435-448.
- Ignace, R., Oskinova, L. M., Waldron, W. L., Hoffman, J. L., Hamann, W. R. (2008). Phase-dependent X-ray observations of the β Lyrae system-No eclipse in the soft band. *Astronomy & Astrophysics*, 477(3), L37-L40.
- Imbert, M. (1986). Photoelectric radial velocities of eclipsing binaries. II-Orbital elements of UZ Dra. *Astronomy and Astrophysics Supplement Series (ISSN 0365-0138)*, Vol. 65, p. 97-101.
- Jameson, R. F., King, A. R. (1978). The nature of Beta Lyrae and its radio emission. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 63, p. 285-287.

- Jameson, R. F., Longmore, A. J. (1976). Infrared Observations and a Model for β LYR. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 174(1), p. 217-223.
- Kallrath, J., Milone, E. F., Wilson, R. E. (2009). *Eclipsing binary stars: modeling and analysis*, Vol. 11.
- Karovska, M., Nisenson, P., Stachnik, R. V. (1986). Resolution of the halo binary MU CAS at optical wavelengths. *Astronomical Journal (ISSN 0004-6256)*, Vol. 92, p. 898-902.
- Khaliullin, K. F., Khaliullina, A. I. (2010). Synchronization and circularization in early-type binaries on main sequence. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401(1), p. 257-274.
- Khaliullin, K. F., Khodykin, S. A., Zakharov, A. I. (1991). On the nature of the anomalously slow apsidal motion of DI Herculis. *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, Vol. 375, p. 314-320.
- Knappenberger, P. H., Fredrick, L. W. (1968). The He I λ 10, 830 Line in the Spectrum of β Lyrae. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 80(472), p. 96-98.
- Kondo, Y., McCluskey, G. E., Silvis, J., Polidan, R. S., McCluskey, C. P., Eaton, J. A. (1994). Ultraviolet light curves of beta Lyrae: Comparison of OAO A-2, IUE, and Voyager Observations. *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, Vol. 421, p. 787-799.
- Kopal, Z. (1955). The classification of close binary systems. *Annales d'Astrophysique*, Vol. 18, p. 379.
- Kopal, Z. (1959). "*Close Binary Systems*". London.
- Kopal, Z. (1972). The Roche model and its applications to close binary systems. In *Advances in Astronomy and Astrophysics*, Vol. 9, p. 1-65.
- Kreiner, J. M., Kim, C. H., Na, I. S. (2001). *An atlas of OC diagrams of eclipsing binary stars*, p. 1424.
- Lacy, C. H. S., Claret, A., Sabby, J. A. (2004). Absolute properties of the upper main-sequence eclipsing binary star MU Cassiopeiae. *The Astronomical Journal*, 128(4), p. 1840.

- Lacy, C. H., Gulmen, O., Gudur, N., Sezer, C. (1989). Properties of the main-sequence eclipsing binary UZ Draconis. *The Astronomical Journal*, 97, p. 822-835.
- Latković, O., Čeki, A., Lazarević, S. (2021). Statistics of 700 individually studied W UMa stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 254(1), p. 10.
- Lee, Y. S. (1989). The photometric study of an early-type reverse Algol system-V1425 Cygni. *The Astrophysical Journal*, 338, p. 1016-1023.
- Leone, F., Plachinda, S. I., Umana, G., Trigilio, C., Skulsky, M. (2003). The magnetic field of the Lyrae system: Orbital and longer time-scale variability. *Astronomy & Astrophysics*, 405(1), p. 223-226.
- Linnell, A. P. (2000). Progress on a model for β Lyrae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 319(1), p. 255-266.
- Linnell, A. P. (2002). The anomalous ultraviolet light curves and IUE spectra of β Lyrae revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 334(4), p. 963-973.
- Linnell, A.P.(2000).*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* , Vol 319, p. 255.
- Lomax, J. R., Hoffman, J. L., Elias, N. M., Bastien, F. A.,Holenstein, B. D. (2012). Geometrical constraints on the hot spot in Beta Lyrae. *The Astrophysical Journal*, 750(1), p. 59.
- López-Morales, M., Shaw, J. S. (2007). “*Testing Low-Mass Stellar Models: Three New Detached Eclipsing Binaries below 0.75 Msun*”.
- Lucy, L. B. (1967). Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, Vol. 65, p. 89.
- Malkov O. Y. (2020). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 491, 5489.
- Mazzali, P. A. (1987). The ultraviolet spectrum of Beta Lyrae. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 65, 695-720.
- Mazzali, P. A., Pauldrach, A. W. A., Puls, J.,Plavec, M. J. (1992). A Two-Wind Radiation Driven Model for the Atmospheric Features of Beta-Lyrae. *Astronomy and Astrophysics*, Vol. 254, p. 241.

- McCarthy Jr, D. W. (1984). Mass measurements of the components of MU CAS. *Astronomical Journal (ISSN 0004-6256)*, Vol. 89, p. 433-435.
- Mennickent, R. E., Djurašević, G. (2013). On the accretion disc and evolutionary stage of β Lyrae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432(1), 799-809.
- Mewe, R., Heise, J., Gronenschild, E. H. B. M., Brinkman, A. C., Schrijver, J., Boggende, A. J. F. (1976). A search for soft X-ray emission from stellar sources. *Astrophysics and Space Science*, 42, 217-222.
- Miszuda, A., Kołaczek-Szymański, P. A., Szewczuk, W., Daszyńska-Daszkiewicz, J. (2022). Evolutionary and Seismic Modeling of the δ Sct Pulsator in a Binary System AB Cassiopeia. In *XL Polish Astronomical Society Meeting*, Vol. 12, p. 169-172.
- Miszuda, A., Kołaczek-Szymański, P. A., Szewczuk, W., Daszyńska-Daszkiewicz, J. (2022). The eclipsing binary systems with δ Scuti component–II. AB Cas. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 514(1), 622-639.
- Miszuda, A., Szewczuk, W., Daszyńska-Daszkiewicz, J. (2021). The eclipsing binary systems with δ Scuti component–I. KIC 10661783. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 505(3), p. 3206-3218.
- Mkrтчian, D. E. (2019). Detection of a delta Scuti-type pulsating component in the detached eclipsing binary system TU CMa. *Information Bulletin on Variable Stars*, 63, p.6259.
- Nazarenko, V. V., Glazunova, L. V. (2003). Hydrodynamical modeling of mass transfer in the close binary system β Lyr. *Astronomy Reports*, 47, p.1013-1026.
- Nazarenko, V. V., Glazunova, L. V. (2013). Three-dimensional hydrodynamical modeling of the two-component wind and accretion disk in the close binary β Lyrae. *Astronomy Reports*, 57, p.294-302.
- Pavlovski, K., Southworth, J., Tamajo, E. (2018). Physical properties and CNO abundances for high-mass stars in four main-sequence detached eclipsing binaries: V478 Cyg, AH Cep, V453 Cyg, and V578 Mon. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 481(3), p. 3129-3147.

- Petrova, A. V., Orlov, V. V. (1999). Apsidal motion in double stars. I. Catalog. *The Astronomical Journal*, 117(1), p. 587.
- Prsa, A., Kochoska, A., Conroy, K. E., Eisner, N., Hey, D. R., Ijspeert, L., Winn, J. N. (2022). VizieR Online Data Catalog: TESS Eclipsing Binary stars. I. Sectors 1-26, *VizieR Online Data Catalog*, J-ApJS.
- Rensing, M. J., Mochnacki, S. W., Bolton, C. T. (1985). The mass of AW Ursae Majoris. *Astronomical Journal (ISSN 0004-6256)*, Vol. 90, p. 767-772.
- Richards, M. T., Albright, G. E. (1999). Morphologies of H α accretion regions in Algol binaries. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 123(2), p. 537.
- Rucinski, S. M. (1969). The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep convective envelopes. *Acta Astronomica*, Vol. 19, p. 245.
- Rucinski, S. M. (2004). "Contact binary stars of the W UMa-type as distance tracers". *New Astronomy Reviews*, Vol 48, p.703.
- Rucinski, S. M., Pigulski, A., Popowicz, A., Kuschnig, R., Kozłowski, S., Moffat, A. F., Zwintz, K. (2018). Light-curve instabilities of β Lyrae observed by the BRITe satellites. *The Astronomical Journal*, 156(1), p.12.
- Sabby, J. A., Lacy, C. H. S., Ibanoglu, C., Claret, A. (2011). Absolute Properties of the Eccentric Eclipsing Binary Star FT Orionis. *The Astronomical Journal*, 141(6), p.195.
- Sanyal, A. (1976). High time-resolution spectroscopy of Beta Lyrae at Halpha. I. *Astrophysical Journal*, Vol. 210, p. 853-861.
- Schmitt, H. R., Pauls, T. A., Tycner, C., Armstrong, J. T., Zavala, R. T., Benson, J. A., Mozurkewich, D. (2009). Navy prototype optical interferometer imaging of line emission regions of β Lyrae using differential phase referencing. *The Astrophysical Journal*, 691(2), p. 984.
- Siwak, M., Zola, S., Szymanski, T., Kurpinska-Winiarska, M., Winiarski, M., Koziel-Wierzbowska, D., Drahus, M. (2012). A photometric and spectroscopic study of

- WW And—an Algol-type, long period binary system with an accretion disc. *New Astronomy*, 17(8), p.691-696.
- Skelton, P. L., Smits, D. P. (2009). Modelling of W UMa-type variable stars. *South African Journal of Science*, 105(3), p.120-126.
- Skelton, P. L., Smits, D. P. (2009). Modelling of W UMa-type variable stars. *South African Journal of Science*, 105(3), p. 120-126.
- Skulskij, M. Y. (1982). Beta Lyrae as a magnetic binary star. *Soviet Astronomy Letters*, Vol. 8, p. 126-128.
- Skulskij, M. Y. (1992). Study of Beta Lyrae CCD spectra-Absorption lines, orbital elements, and disk structure of the gainer. *Soviet Astronomy Letters*, Vol. 18, p. 287.
- Slavenas, P. (1927). A Note on the Triple System, λ Tauri. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 13(12), p.833-837.
- Soydugan, E., Demircan, O., Soydugan, F., İbanoğlu, C. (2003). Orbital period changes of ALGOL-type binaries: S Equulei and AB Cassiopeiae. *The Astronomical Journal*, 126(1), 393.
- Soydugan, E., Frasca, A., Soydugan, F., Catalano, S., Demircan, O., İbanoğlu, C. (2007). A spectroscopic study of the Algol-type binaries S Equulei and KO Aquilae: absolute parameters and mass transfer. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379(4), p. 1533-1545.
- Soydugan, E., Soydugan, F., İbanoğlu, C., Frasca, A., Demircan, O., Akan, M. C. (2006). An Algol type binary with a δ Scuti component: RZ Cassiopeiae revisited. *Astronomische Nachrichten: Astronomical Notes*, 327(9), p. 905-911.
- Stassun, Keivan G.; Oelkers, Ryan J.; Pepper, Joshua; Paegert, Martin; De Lee, Nathan; Torres, Guillermo; Latham, David W.; Charpinet, Stéphane; Dressing, Courtney D.; Huber, Daniel; Kane, Stephen R.; Lépine, Sébastien; Mann, Andrew; Muirhead, Philip S.; Rojas-Ayala, Bárbara; Silvotti, Roberto; Fleming, Scott W.; Levine, Al; Plavchan, Peter. (2018). The TESS Input Catalog and Candidate Target List. *The Astronomical Journal*, 156, 102 p.39.

- Stassun, K. G., Miller, A., Kounkel, M., Sun, M., Dixon, D., Boggio, C., Covey, K. R., Mathieu, R. (2021). 2M17091769+ 3127589: A mass-transfer binary with an extreme mass ratio. *The Astronomical Journal*, 162(4), p.131.
- Stępień, K. (2006). Evolutionary Status of Late-type Contact Binaries: Case of a 1.2+ 1 M \odot Binary. *Astrophysics and Space Science*, 304, p. 81-84.
- Surina, F., Kang, Y. W. (2009, August). Absolute Dimensions of Four Eclipsing Binaries. In *The Eighth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics: A Tribute to Kam-Ching Leung*, Vol. 404, p. 178.
- Surkova L. P., Svechnikov M. A.(2004). VizieR Online Data Catalog, Ural University Pub., Ekaterinbourg, p. 5115.
- Sterne, T. E. (1939). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 99, p. 451.
- Terrell, D. (2001). Eclipsing Binary Stars: Past, Present, and Future. *Journal of the American Association of Variable Star Observers (JAAVSO)*, 30(1), p. 1.
- Tobin, R. W., Berrington, R. C. (2023). Photometric study of the overcontact binary V826 Aur. *New Astronomy*, 101, p.102019.
- Torres, G., Andersen, J., Giménez, A. (2010). Accurate masses and radii of normal stars: modern results and applications. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 18(1-2), p. 67-126.
- Umana, G., Leone, F., Trigilio, C. (2002). The origin of the radio emission from β Lyrae. *Astronomy & Astrophysics*, 391(2), p. 609-615.
- van Hamme W., Wilson R. E.(1984). *Astronomy and Astrophysics*, 141, p.1.
- Van Hamme, W.,Wilson, R. E. (2003). Stellar atmospheres in eclipsing binary models. In *GAIA Spectroscopy: Science and Technology*, Vol. 298, p. 323.
- Von Zeipel, H. (1924). Radiative equilibrium of a double-star system with nearly spherical components. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 84, p. 702.
- Wade, C. M., Hjellming, R. M. (1972). Radio Stars Beta Persei and Beta Lyrae. *Nature*, 235(5336), p. 270-271.

- Wang, Z. H., Zhu, L. Y., Yue, Y. F. (2022). Evolutionary inference and statistical constraints on Algols including SD2-type near contact binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 511(1), p. 488-500.
- Wilson, R. E. (1974). The secondary component of Beta Lyrae. *Astrophysical Journal*, Vol. 189, p. 319-329.
- Wilson, R. E. (1979). Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *Astrophysical Journal*, Part 1, Vol. 234 , p. 1054-1066.
- Wilson, R. E. (1990). Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X)*, Vol. 356, p. 613-622.
- Wilson, R. E. (1993). Computation Methods and Organization for Close Binary Observables. In *New Frontiers in Binary Star Research* ,Vol. 38, p. 91.
- Wolf, M., Sarounova, L. (1995). Apsidal motion in the eclipsing binary FT Orionis. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, Vol. 114, p. 143.
- Zeilik, M., Heckert, P., Henson, G.,Smith, P. (1982). Infrared photometry of Beta Lyrae-1977-1982. *Astronomical Journal*, Vol. 87, p. 1304-1309.