

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

KEPLER UYDUSU GÖRÜŞ ALANINDAKİ O'CONNELL ETKİSİ GÖSTEREN
W UMa TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT SİSTEMLERİN FOTOMETRİK İNCELENMESİ

Zahide TERZİOĞLU

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2024

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

KEPLER UYDUSU GÖRÜŞ ALANINDAKİ O'CONNELL ETKİSİ GÖSTEREN W UMa TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT SİSTEMLERİN FOTOMETRİK İNCELENMESİ

Zahide TERZİOĞLU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Birol GÜROL

Bu tez çalışmasında, Kepler uzay teleskobunun görüş alanında gözlenen KIC 7542091, KIC 7512381 ve KIC 9649493 isimli W UMa türü örten çift sistemlerin, Kepler bandı ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisinin değişimi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sistemlerin maksimumlarına karşılık gelen parlaklık farklarında görülen çevrimsel değişimler, yıldız atmosferinde meydana gelen manyetik aktivite kaynaklı leke ve leke gruplarına atfedilerek, ışık eğrilerinin leke modellemeleri gerçekleştirilmiştir. Işık eğrisi çözümleri ve leke modellemeleri için Wilson-Devinney programı kullanılarak sistemlere ilişkin fiziksel ve geometrik parametreler elde edilmiştir. Sistemlerin maksimum ve minimum parlaklık farklarının zamana bağlı değişimleriyle, lekelerin zamana bağlı boylamsal değişimlerinin benzer çevrimsel yapılar gösterdiği görülmüştür.

Mart 2024, 141 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kepler uydusu, O'Connell etkisi, W UMa türü sistemler

ABSTRACT

PhD Thesis

PHOTOMETRIC STUDY OF W UMa-TYPE ECLIPSING BINARY SYSTEMS WITH O'CONNELL EFFECT IN THE FIELD OF VIEW OF THE KEPLER SPACECRAFT

Zahide TERZİOĞLU

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Birol GÜROL

In this thesis, the variation of the O'Connell effect in the Kepler band light curves of W UMa-type eclipsing binary systems, KIC 7542091, KIC 7512381 and KIC 9649493 observed in the field of view of the Kepler space telescope has been studied in detail. The cyclic variations seen in the brightness differences corresponding to the maximum of the systems were attributed to spots and spot groups caused by magnetic activity in the stellar atmosphere and spot modeling was performed in the light curves. The physical and geometrical parameters of the systems were obtained using the Wilson-Devinney program for light curve solutions and spot modeling. It was observed that the time-dependent variations of the maximum and minimum brightness differences of the systems and the time-dependent longitudinal variations of the spots show similar cyclic structures.

March 2024, 141 pages

Key Words: Kepler Spacecraft, O'Connell effect, W UMa type systems

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans programına başladığım andan bu zamana kadar, bilimsel birikimini benimle paylaşan ve çalışmama çok değerli katkılarda bulunan danışman hocam Prof. Dr. Birol GÜROL'a ve doktora tez çalışmamın başlangıcından itibaren bilimsel katkılarıyla beni destekleyen danışman hocalarım Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR ve Prof. Dr. Ethem DERMAN'a,

Tez önerimi sunduğum andan itibaren değerli katkılarını esirgemeyen hocam Prof. Dr. Altan BAYKAL'a,

Çalışmamı değerlendirerek kıymetli yorumlarıyla beni destekleyen değerli hocalarım Prof. Dr. Kutluay YÜCE'ye ve Prof. Dr. Sıtkı Çağdaş İNAM'a,

Bu çalışmanın tayf gözlemlerinin Padova Üniversitesine bağlı Asiago Gözlemevi'nde bulunan 122 cm Galileo Teleskobunda gerçekleşmesini sağlayan değerli arkadaşım Dr. Tenay SAGUNER RAMBALDİ'ye, kendi gözlem zamanını bizlere tahsis eden Prof. Dr. Ulisse Munari ve gözlemleri gerçekleştiren gözlem sorumlusu Paolo OCHNER'e,

Çalışmalarında bilimsel her konuda ve özellikle programlama konusunda bana her daim yardım ve desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Yahya DEMİRCAN ve Dr. Gökhan GÖKAY'a, her durumda daima yanımda olan ve tüm bilgi birikimi ile bana tam destek olan değerli arkadaşım Araş. Gör. Dr. Hande GÜR SOYTRAK MUTLAY'a,

Hayatımın her anında her daim beni koşulsuz destekleyen sevgili alime ve tüm fütüristlere sonsuz teşekkürler.

Bu tez çalışmasında kullanılan tayfsal verinin bir kısmı TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) RTT150 teleskobunda 17BRTT150-856 no'lu proje kapsamında elde edilmiştir. Bu imkânı tanıyan ve bu verilerin alınmasında emeği geçen tüm TUG'un tüm idari ve teknik personeline teşekkür ederim.

Zahide TERZİOĞLU
Ankara, Mart 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1 Çift Yıldızlar	5
2.2 Yıldız Lekeleri	13
2.3 O'CONNELL Etkisi	15
2.4 KEPLER Uzay Teleskobu	19
2.5 KIC 7542091 Örtün Çift Sistemi.....	20
2.6 KIC 7512381 Örtün Çift Sistemi.....	23
2.7 KIC 9649493 Örtün Çift Sistemi.....	24
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Wilson Devinney Programı	29
3.1.1 Wilson-Devinney ana programında kullanılan LC ve DC programları	31
3.1.2 Wilson-Devinney programında kullanılan model parametreleri	31
3.1.3 DC program tarafından ayarlanabilen ışık eğrisinden bağımsız parametreler	32
3.1.4 Wilson-Devinney (WD) programının çalışma modları ve çözüm kısıtlamaları	34
3.2 Period04 Programı	36
3.3 Fotometrik Veriler	37
3.3.1 Işık eğrilerinin oluşturulması.....	38
3.3.2 KIC 7542091 sisteminin ışık eğrileri	39
3.3.3 KIC 7512381 sisteminin ışık eğrileri	43
3.3.4 KIC 9649493 sisteminin ışık eğrileri	47
3.4 Tayfsal gözlemler	51

3.4.1 TUG gözlemleri ve verilerin indirgenmesi.....	52
3.4.2 Asiago gözlemleri ve verilerin indirgenmesi.....	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	57
4.1 KIC 7542091 Sistemi	59
4.1.1 KIC 7542091 sisteminin tayf türü tanımlaması.....	59
4.1.2 KIC 7542091 sisteminin dikine hız ölçümü	64
4.1.3 KIC 7542091 sisteminin ışık eğrisi analizi	67
4.1.4 KIC 7542091 sisteminin leke modellemesi.....	74
4.1.5 KIC 7542091 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi	80
4.2 KIC 7512381 Sistemi.....	85
4.2.1 KIC 7512381 sisteminin ışık eğrisi analizi	85
4.2.2 KIC 7512381 sisteminin leke modellemesi.....	90
4.2.3 KIC 7512381 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi	94
4.3 KIC 9649493 Sistemi.....	99
4.3.1 KIC 9649493 sisteminin ışık eğrisi analizi	99
4.3.2 KIC 9649493 sisteminin leke modellemesi.....	105
4.3.3 KIC 9649493 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi	108
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	114
KAYNAKLAR	118
EKLER.....	127
ÖZGEÇMİŞ	139

SİMGELER DİZİNİ

G	Evrensel çekim sabiti, $6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$
$L_{\odot}$	Güneşin ışıyım gücü, $3.83 \times 10^{33} \text{ erg.s}^{-1}$
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı, $6.96 \times 10^5 \text{ km}$
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi, $1.99 \times 10^{33} \text{ gr}$
a	Yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu
c	Işık hızı, 300000 km/s
λ	Dalga boyu, $\text{\AA}$
$\text{\AA}$	Angström [10^{-8} cm]
T_e	Etkin sıcaklık [Kelvin]
K	Kelvin
$T_{1,2}$	Bileşenlerin yüzey sıcaklığı (K)
$R_{1,2}$	Bileşenlerin yarıçapları ($R_{\odot}$)
$\log g$	Yüzey çekim ivmesi (cgs)
i	Yörünge eğim açısı ($^{\circ}$)
He	Helyum
Fe	Demir
Ar	Argon
AB	Astronomi birimi: $149\,600\,000 \text{ km}$
cm	santimetre
α_{2000}	Sağaçıklık, epoch 2000.0
δ_{2000}	Dikaçıklık, epoch 2000.0
E	Çevrim (Epoch)
m	Kadir; parlaklık birimi
e	Yörünge dışmerkezliği
RV	Dikine hız
V_r	Radyal hız, km/s
vsini	İzdüşümsel dönme hızı, km/s
V_{γ}	Sistemin kütle merkezinin dikine hızı
$K_{1,2}$	Radyal hız genlikleri (km/s)
S/N	Sinyal gürültü oranı
R	Tayfsal çözünürlük
q	Çift yıldızlarda bileşen yıldızların kütle oranı ($q = m_2/m_1$)
$\Omega_{1,2}$	Bileşen yıldızların birimsiz eşpotansiyelleri
$x_{1,2}$	Kenar kararırma katsayıları
$g_{1,2}$	Çekim kararırma katsayıları
$l_{1,2}$	Bileşenlerin kesirsel ısıyım güçleri
$r_{1,2}$	Bileşenlerin kesirsel yarıçapları

Kısaltmalar

BD	Bonner Durchmusterung Kataloğu
BJD	Barisentrik Jülyen günü
IE	Işık Eğrisi
IE1	Her bir çeyrekte oluşturulan ilk ışık eğrisi
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility
KIC	Kepler Input Catalog
LAMOST	Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope
LC	Uzun poz (Long Cadence)
O-C	Gözlenen ile hesaplanan minimum zamanları arasındaki fark
OEB	O'Connell Etki Büyüklüğü
Q	Çeyrek (Quarter), Kepler'in 3 aylık gözlem seti
RV	Dikine hız
RVCOR	Dikine hız düzeltmesi
SC	Kısa poz (Short Cadence)
TUG	Tübitak Ulusal Gözlemevi
Min I	Birinci minimum
Min II	İkinci minimum
Max I	Birinci maksimum
Max II	İkinci maksimum
ppm	Milyonda bir (parts per million)
pc	Parsek (parallax per second)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 KIC 9451598 sistemine ait 4 yıllık Kepler ışık eğrisi (solda) ve bu sisteme ait O-C eğrileri (sağda). O-C eğrilerinin üst panelinde 1. minimum (kırmızı) ile 2. minimum (mavi) arasındaki ters korelasyon görülürken, alt panelde ise 1. (yeşil) ve 2. maksimum (pembe) arasındaki ters korelasyon görülmekte (Tran vd. 2013)	3
Şekil 1.2 KIC 2159783 sistemine ait boylamsal leke göçü (üst panel) ve lekenin açısalyarıçapındaki değişimi (alt panel) (Debski vd. 2014)	3
Şekil 2.1 Algol (EA), β Lyrae (EB) ve W Ursae Majoris (EW)'e ait ışık eğrileri (Skelton ve Smits 2009)	6
Şekil 2.2 C kütle merkezi etrafında x-y düzleminde ω açısal hızı ile dolanan iki noktasal kütle (m_1 ve m_2)'den oluşan bir sistemin referans çerçevesi. Rastgele bir P noktası, m_1 ve m_2 'den sırasıyla r_1 ve r_2 uzaklığında (Skelton ve Smits 2009).....	7
Şekil 2.3 Kütle oranı $q = 0.3$ olan bir çift yıldızın yörünge düzlemindeki eşpotansiyellerin eşdüzlem haritası Büyük ve küçük yıldızların kütle merkezleri sırasıyla m_1 ve m_2 ile gösterilmiş. Roche loblarını belirleyen iç Lagrange yüzeyi kırmızı, dış Lagrange yüzeyi ise mavi ile gösterilmiştir İç ve dış Lagrange noktaları sırasıyla L1 ve L2 olarak belirtilmiş (Skelton ve Smits 2009).....	9
Şekil 2.4 Ayırık, yarı-ayırık ve değen sistemlerin Roche geometrisi (Terrell 2001).....	10
Şekil 2.5 Güneş üzerinde görülen güneş lekeleri	13
Şekil 2.6 O'Connell etkisi, birinci maksimum (Max I) ve ikinci maksimum (Max II) arasındaki fark	15
Şekil 2.7 Kepler uzay teleskobunun uzayda gördüğü görüş alanı (FOV)	19
Şekil 2.8 KIC 7542091 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı nokta birinci minimumu (Min I), siyah nokta ise ikinci minimumu (Min II) temsil etmekte (Balaji vd.2015)	21
Şekil 2.9 KIC 7542091 sisteminin TESS verilerinin tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C eğrisi (üst panelde). Üst panelin ayrıntılı gösterimi; 9540-9700 (sol alt panel) ve 12350-12480 (sağ alt panel).....	22
Şekil 2.10 KIC 7512381 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı noktalar birinci minimumu (Min I), siyah noktalar ise ikinci minimumu (Min II) temsil etmekte (Balaji vd. 2015)	23
Şekil 2.11 KIC 9649493 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı noktalar birinci minimumları (Min I), siyah noktalar ikinci minimumları (Min II) temsil etmektedir (Balaji vd. 2015).....	25
Şekil 3.1 KIC 7542091(üstte), KIC 7512381 (orta) ve KIC 9649493 (alt) sistemlerine ait yaklaşık dört yıllık Kepler verisinin normalize akı değerlerinin zamana göre değişimini gösteren ışık eğrileri	38

Şekil 3.2 KIC 7542091 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi değişimi	39
Şekil 3.3 KIC 7542091 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	40
Şekil 3.4 KIC 7542091 sisteminin Q4, Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	40
Şekil 3.5 KIC 7542091 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	41
Şekil 3.6 KIC 7542091 sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)	41
Şekil 3.7 KIC 7542091 sisteminin Q6'da oluşturulan 12 adet ışık eğrisi (IE).....	42
Şekil 3.8 KIC 7512381 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi.....	43
Şekil 3.9 KIC 7512381 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	44
Şekil 3.10 KIC 7512381 sisteminin Q4,Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	44
Şekil 3.11 KIC 7512381 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	45
Şekil 3.12 KIC 7512381 sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)	45
Şekil 3.13 KIC 7512381 sisteminin Q14'de oluşturulan 15 adet ışık eğrisi (IE)	46
Şekil 3.14 KIC 9649493 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi.....	47
Şekil 3.15 KIC 9649493 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	48
Şekil 3.16 KIC 9649493 sisteminin Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	48
Şekil 3.17 KIC 9649493 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	49
Şekil 3.18 KIC 9649493 sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri için oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1).....	49
Şekil 3.19 KIC 9649493 sisteminin Q4'te oluşturulan 13 adet ışık eğrisi (IE)	50
Şekil 3.20 KIC 7542091 sisteminin, TUG'dan elde edilen 6.basamağına karşılık gelen normalize tayfı.....	53
Şekil 3.21 KIC 7542091 sisteminin, Asiago'dan elde edilen normalize tayf örnekleri	56

Şekil 4.1 KIC 7542091'e ait TUG'dan alınan tayfın, 4714-5950Å dalgaboyu aralığına karşılık gelen Tayf türü (Kod) – HGHT dağılımı verilmiştir Kırmızı noktalar HGHT değerinin maksimum olduğu yeri temsil etmekte ...	61
Şekil 4.2 KIC 7542091'e ait Asiago'dan alınan tayfın, 4714-5950 Å dalgaboyu aralığına karşılık gelen Tayf türü (Kod) – HGHT dağılımı verilmiştir Kırmızı nokta HGHT değerinin maksimum olduğu yeri temsil etmekte	62
Şekil 4.3 Fxcor ile dikine hız ölçümleri gerçekleştirilirken her iki bileşenin görülebildiği 0.25 (solda) ve 0.75 (sağda) evrelerine karşılık gelen çarpaz korelasyon grafiği	64
Şekil 4.4 KIC 7542091 sisteminin dikine hız eğrisinin Wilsing-Russell yöntemi kullanılarak modellenmesi	66
Şekil 4.5 Farklı i değerlerine karşılık gelen, q ile $\Sigma(O-C)^2$ değişimi	67
Şekil 4.6 Yörünge eğim açıları 55° , 60° ve 65° değerlerine karşılık gelen, i - q taraması ile elde edilen $\Sigma(O-C)^2$ değişimi	68
Şekil 4.7 KIC 7542091 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışık eğrileri	68
Şekil 4.8 KIC 7542091'in gözlemsel ve teorik dikine hız eğrisi	70
Şekil 4.9 KIC 7542091 sistemine ait bileşenlerin $\log T_{eff} - \log (L/L_\odot)$ diyagramında konumu. W ve A türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş (birinci) bileşeni kırmızı nokta ve yoldaş (ikinci) bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir	73
Şekil 4.10 KIC 754209 sistemin, O'Connell etkisi görülen ışık eğrilerinde leke modellenmesi yapılmış teorik ve gözlemsel ışık eğrisi örnekleri (gözlemler siyah nokta ile teorik fit yeşil çizgi ile gösterilmiştir	74
Şekil 4.11 KIC 7542091'in Q6 'daki IE1'in gözlemsel ve teorik ışık eğrisi (üst panel) ile yoldaş bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş iki soğuk yıldız lekesini gösteren Roche geometrisi (alt panel)	75
Şekil 4.12 KIC 7542091'in Q6 'daki IE1, IE6, IE9 ve IE11'in gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke/lekelerin bölgelerini gösteren Roche geometrisi	76
Şekil 4.13 KIC 7542091 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki birinci lekenin zamana göre boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm \square$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir	77
Şekil 4.14 KIC 7542091 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki ikinci lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm \square$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir	78

Şekil 4.15 Birinci ve ikinci lekenin açısal yarıçaplarının zamana göre değişimi. Aynı ölçeğe karşılaştırma yapabilmek amacıyla ikinci leke kaydırılmıştır. Ortalama açısal boyutlar kesikli çizgilerle gösterilmiştir.....	79
Şekil 4.16 KIC 7542091 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıkların zamana göre değişimi	80
Şekil 4.17 KIC 7542091 sisteminin sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel ile, birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın zamana göre değişimi (Terzioğlu vd. 2023).....	81
Şekil 4.18 KIC 7542091 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizleri (Terzioğlu vd. 2023) (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	83
Şekil 4.19 KIC 7542091 sisteminde birinci leke (üst panel) ve ikinci leke (alt panel) boylamına göre frekans bölge analizi sonuçları (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	85
Şekil 4.20 KIC 7512381 sisteminin farklı yörünge açılarına karşılık gelen, q ile $\Sigma(O-C)^2$ değişimi.....	86
Şekil 4.21 KIC 7512381 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışık eğrileri	87
Şekil 4.22 KIC 7512381 sistemine ait bileşenlerin $\log T_{eff} - \log (L/L_{\odot})$ diyagramında konumu. W ve A türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş bileşeni kırmızı daire ve yoldaş bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir	90
Şekil 4.23 KIC 7512381 Q7'deki IE3 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile ikinci (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel).....	91
Şekil 4.24 KIC 7512381 Q7'deki IE13 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile ikinci (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel).....	92
Şekil 4.25 KIC 7512381 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi	93
Şekil 4.26 KIC 7512381 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıkların zamana göre değişimi	94
Şekil 4.27 KIC 7512381 sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel) ile birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın (alt panel) zamana göre değişimi	95

Şekil 4.28 KIC 7512381 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizi sonuçları(sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	97
Şekil 4.29 KIC 7512381 sisteminin leke boylamının frekans bölge analizi sonuçları (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	98
Şekil 4.30 KIC 9649493 sisteminin farklı yörünge açılarına karşılık gelen, q ile $\Sigma(O-C)^2$ değişimi.....	100
Şekil 4.31 KIC 9649493 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışık eğrileri	101
Şekil 4.32 KIC 9649493 sistemine ait bileşenlerin $\log T_{eff} - \log (L/L_{\odot})$ diyagramında konumu. W ve A türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş bileşeni kırmızı daire ve yoldaş bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir	104
Şekil 4.33 KIC 9649493 Q7'deki IE1 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel)	105
Şekil 4.34 KIC 9649493 Q7'deki IE4 gözlemsel ve teorik ışık eğrisi ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel).....	106
Şekil 4.35 KIC 9649493 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki tek lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm \square$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir	107
Şekil 4.36 KIC 9649493 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıkların zamana göre değişimi	109
Şekil 4.37 KIC 9649493 sisteminin sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel) ile, birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın (alt panel) zamana göre değişimi.....	109
Şekil 4.38 KIC 9649493 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizleri (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	110
Şekil 4.39 KIC 9649493 sistemi leke boylamının frekans bölge analizi (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)	112

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 KIC 7542091 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri	22
Çizelge 2.2 KIC 7512381 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri	24
Çizelge 2.3 KIC 9649493 sisteminin, LAMOST tayf gözlemlerinden elde edilen bazı parametreler (Frasca vd. 2016)	25
Çizelge 2.4 KIC 9649493 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri	26
Çizelge 3.1 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 09.08.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgileri	54
Çizelge 3.2 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 15.08.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgileri	55
Çizelge 3.3 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 13.09.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgileri	55
Çizelge 4.1 KIC7542091 sisteminin, TUG ve Asiago tayflarından belirlenen tayf türüne karşılık gelen sıcaklık değerleri	62
Çizelge 4.2 KIC7542091 sistemine ilişkin literatürde yer alan tayf türü ve sıcaklık bilgileri	63
Çizelge 4.3 KIC7542091 sisteminin bileşenlerinin CCF yöntemi kullanılarak elde edilen dikine hız değerleri	65
Çizelge 4.4 Sistemin dikine hız eğrisinin modellenmesinde Wilsing-Russell yöntemi kullanılmasıyla elde edilen parametre ve değerleri.....	66
Çizelge 4.5 KIC 7542091'in ışık ve dikine hız eğrisinin eşzamanlı çözümlerinden elde edilen parametreler	69
Çizelge 4.6 KIC 7542091 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreler	70
Çizelge 4.7 KIC 7542091 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktarı	72
Çizelge 4.8 KIC 7542091 sisteminin mutlak parametreleri.....	72

Çizelge 4.9 KIC 7542091 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıkları arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları	82
Çizelge 4.10 KIC 7542091 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları	84
Çizelge 4.11 KIC 7512381'in ışık eğrisi çözümünden elde edilen parametreler	87
Çizelge 4.12 KIC 7512381 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreleri	88
Çizelge 4.13 KIC 7512381 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktarı	89
Çizelge 4.14 KIC 7512381 sisteminin mutlak parametreleri.....	89
Çizelge 4.15 KIC 7512381 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıkları arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları	96
Çizelge 4.16 KIC 7512381 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları	98
Çizelge 4.17 KIC 9649493 sisteminin farklı kaynaklarda yer alan sıcaklık bilgileri	99
Çizelge 4.18 KIC 9649493'ün Kepler ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler.....	101
Çizelge 4.19 KIC 9649493 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreleri	102
Çizelge 4.20 KIC 9649493 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktar	103
Çizelge 4.21 KIC 9649493 sisteminin mutlak parametreleri.....	103
Çizelge 4.22 KIC 9649493 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıkları arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları	111
Çizelge 4.23 KIC 9649493 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları.....	112
Çizelge 5.1 Bu tez çalışması kapsamında incelenen üç sistemin minimum ve maksimum parlaklıkların farklı ile lekeye ilişkin boylamın zamana bağlı frekans analizi sonuçları	116

1. GİRİŞ

Çift yıldızlar astrofiziğin en önemli laboratuvarı olarak tanımlanır. Yıldız evriminin temel parametreleri arasında, kütle, yarıçap, ışıınım gücü ve kimyasal bileşim gibi temel yıldız parametreleri gelir ve yıldız evrimi hakkında önemli bilgi sunar. Kuramsal modeller, yıldızların kütle, sıcaklık, yarıçap gibi özelliklerine ilişkin öngörülerde bulunurken, Çift yıldız sistemlerinin ışık eğrisi ve dikine hız eğrisinin eş zamanlı olarak çözümlerinden belirlenmiş yıldız parametreleri ise yıldız evrimi hakkında daha doğru bilgiler sunar.

Çift yıldız bileşenlerinin evriminin incelenmesi, tek yıldızlara ilişkin evrim modellerini denetleme imkanı vermesinin yanında, etkileşen yakın çiftlerin evrimleri sırasında birbirlerini nasıl etkilediklerini görmek açısından da önemlidir. Ayrıca kütle kaybı ve kütle aktarımı ile yıldız evrimi arasındaki ilişkilerin araştırılmasında önemli rol oynar. Bu sistemler hakkında oldukça fazla çalışma olmasına karşın hala oluşumları, evrimleri ve evrimlerinin son safhaları hakkında birçok soru işareti bulunmaktadır (Tran vd. 2013).

Örten çift yıldızların bazı özel sınıflarını incelemek bu bakımdan önemlidir. Roche modeline göre, W UMa türü sistemler, bileşenlerin iç Lagrange (L_1) noktasından birbirlerine değmesinden dolayı, karşılıklı tedirginlik etkileri nedeniyle küresellikten sapmış, değen ve aşırı-değen sistemlerdir. Bileşenlerin fiziksel olarak değmesinden dolayı birbiri arasında kütle ve enerji transferi gerçekleşir. Geç tayf türünden bileşenlere sahip olan bu sistemlerin ışık eğrilerinde görülen eşit minimum derinlikleri, bileşen yıldızların neredeyse eşit yüzey sıcaklığına sahip olduklarının bir göstergesidir.

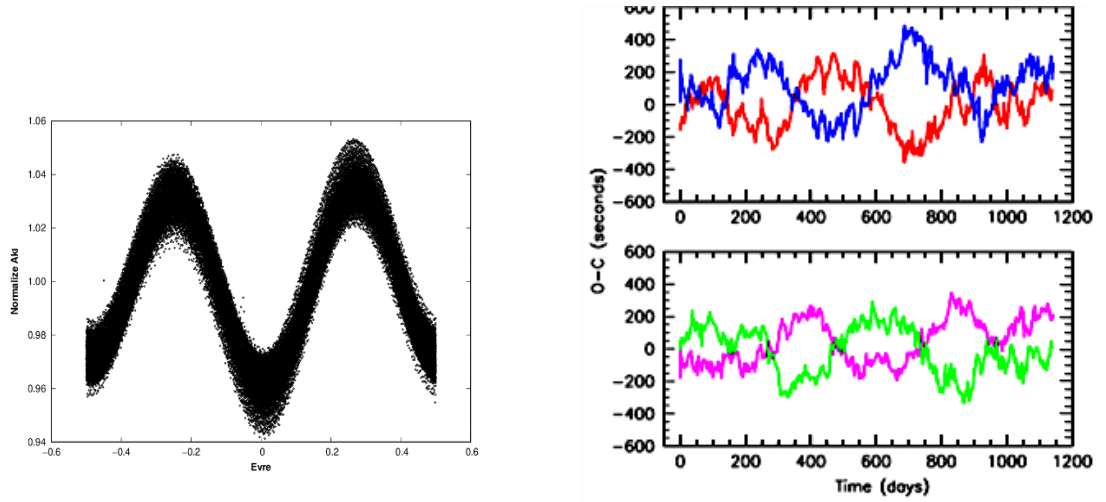
Geç tayf türünden bileşen içeren ve (O-C) diyagramlarında çevrimsel yapılı değişimler gösteren çift sistemler için, küçük genlikli ve kısa dönemli değişimler genellikle manyetik aktivite çevrimi ile açıklanmaktadır (Kalimeris vd. 2002, Tran vd 2013).

Manyetik aktivite çevrimi, sistemin bileşenlerinden en az biri üzerindeki karanlık leke sayısının ve alanlarının çevrimli olarak artıp azalması ile açıklanmaktadır. Nedeni henüz tam olarak anlaşılamamış olmakla birlikte, bu etki, çift sisteme ait bileşen yıldızların biri

ya da her ikisinin yüzeyinde yer aldığı düşünölen sıcak (Van't Veer 1973; Shaw 1994) ve/veya soğuk (Linnell 1991) yıldız lekeleriyle teorik olarak modellenmektedir (Maceroni ve van't Veer 1996). Literatürde bu olayı tam olarak açıklayabilen bir teori henüz bulunmamaktadır (Wilsey vd. 2009).

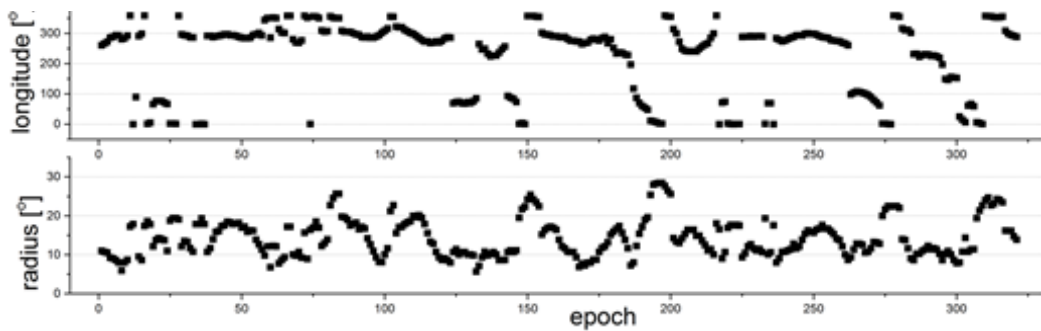
Bu tür sistemlerin ışık eğrilerinin çoğunda, O'Connell Etkisi (O'Connell 1951) olarak adlandırılan, maksimum seviyeleri arasında seviye farkı görülür. O'Connell etkisinin nedeni halen tam olarak bilinmemekle beraber, genellikle yıldız lekelerinin varlığı ile açıklanır. Leke etkinliği çoğu durumda yıldızların ışık eğrisinde düzensiz değişimlere yol açabilmektedir. O'Connell etkisi, ışık eğrilerinde görölen gelen her durumu açıklayamadığı (Papageorgiou vd. 2014) için çift sistemler üzerine yapılan çalışmaların en kafa karıştırıcı problemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllardaki çalışmalarda, W UMa türü örten çift sistemlerin ışık eğrilerinde görölen O'Connell etkisinin leke kaynaklı modöstasyonlarını anlayabilmek için *Kepler* Uzay Teleskobunun sağlamış olduğu uzun süreli ve kesintisiz fotometrik veriler kullanılmaktadır (Tran vd. 2013, Debski vd. 2014, Knotte vd. 2022). Bu uzun yıllara dağılmış fotometrik gözlemler sayesinde leke kaynaklı değişimler daha ayrıntılı olarak incelenebilmektedir. *Kepler* uydusunun sağladığı yüksek fotometrik duyarlık, bazı sistemlerin ışık eğrilerinin maksimumları yanında, minimum seviyeleri arasındaki farkların da zamanla düzensiz bir şekilde (Şekil 1.1) değişim gösterdiğini ortaya koymuştur (Tran vd., 2013). Tran vd. (2013) çalışmasında, bazı W UMa türü sistemleri için gerek minimum gerekse maksimum seviyelerinden elde edilen (O-C) eğrilerinde görölen ters korelasyon yapısının (Şekil 1.2) ancak manyetik aktivite kaynaklı leke/lekeler ile izah edebileceğini ileri sürölmüştür.



Şekil 1.1 KIC 9451598 sistemine ait 4 yıllık Kepler ışık eğrisi (solda) ve bu sisteme ait O-C eğrileri (sağda). O-C eğrilerinin üst panelinde, 1. minimum (kırmızı) ile 2. minimum (mavi) arasındaki ters korelasyon görülürken, alt panelde ise 1. (yeşil) ve 2. maksimum (pembe) arasındaki ters korelasyon görülmekte (Tran vd. 2013)

Kepler verilerinde olduğu gibi, uzun zaman aralığına dağılmış kesintisiz ışık eğrilerinde görülen leke etkilerinin, sabit leke modelleriyle temsil edilmesi mümkün değildir (bkz. Debski vd. 2014, ve Şekil 1.2). Bu nedenle, çoğu araştırmacı bilinen konvansiyonel yöntemler üzerinde bazı düzenlemeler yaparak leke modellemesi yapılması gerektiğini ileri sürmüşlerdir. KIC 2159783 sistemine ait Debski ve arkadaşları (2014) tarafından *Kepler* uydusu verileri kullanılarak elde edilen leke göçü, Şekil 1.2’de verilmiştir.



Şekil 1.2 KIC 2159783 sistemine ait boylamsal leke göçü (üst panel) ve lekenin açısal yarıçapındaki değişimi (alt panel) (Debski vd. 2014)

Bu tez çalışmasında, *Kepler* uydusu görüş alanında yer alan ve O-C değişimlerinde ters korelasyon (Tran vd. 2013, Balaji vd. 2015) gösteren KIC 7542091, KIC 9649463 ve KIC 7512381 isimli W UMa türü örten değişen çift sistemlerin, yaklaşık dört yıllık fotometrik gözlemlerinde var olan O'Connell etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu tür değişimlerin leke kaynaklı modülasyonlardan kaynaklandığı kabul edilerek, fotometrik ışık eğrisi analizleri leke modelleri kullanılarak çözüm yapılmıştır. Leke modellerinden elde edilen, lekelerin boylamı ve açısal çaplarının zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Ayrıca ışık eğrilerinde görülen maksimum ve minimum parlaklık farklarının değişiminin zamana bağlı olarak çevrimsel yapılı olup olmadığı araştırılmış ve sonuçları bu tez kapsamında tartışılmıştır.

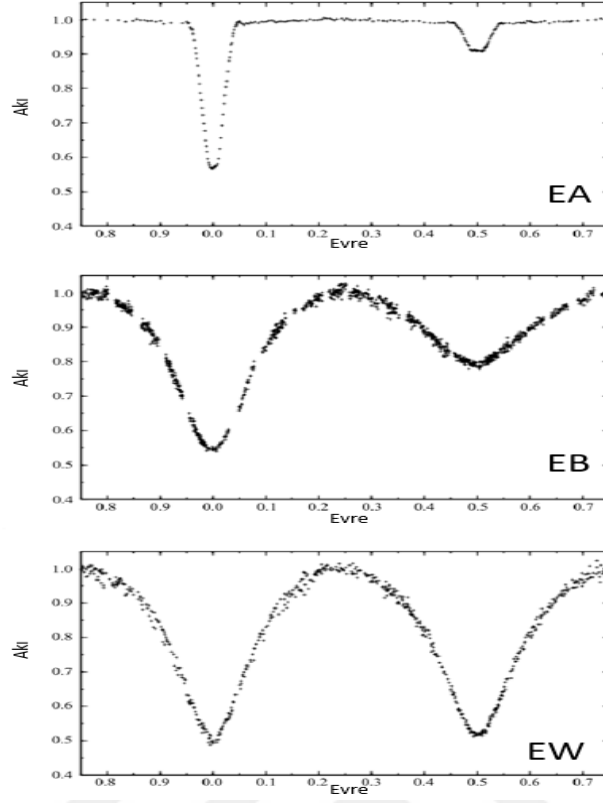


2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ÖZETLERİ

2.1 Çift Yıldızlar

Gökyüzündeki yıldızların çoğu ikili ya da çoklu yıldız sistemleridir. Yakın sistemlerin çift doğası gereği, yıldızlar ortak kütle merkezleri etrafından yörüngesinde dolanırken tayfsal çizgilerinde görülen dönemseldüzenli Doppler kaymalarından veya yörünge düzlemi gözlemciye göre belirli bir açıya sahipse bileşen yıldızların birbirlerini örtmeleri sonucu parlaklık değişimlerinin gerçekleşmesine neden olur. Bu tür yıldız sistemleri örten çiftler olarak adlandırılır. Örten çiftlerin büyük çoğunluğu, parlaklıkları dönemli olarak değişen sistemlerin incelenmesiyle keşfedilmiştir.

Başlangıçta örten çift yıldız sistemleri ışık eğrilerine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıfları temsilen ilk keşfedilen örnekleri dikkate alınarak Algol, β Lyrae ve W Ursae Majoris'e (W UMa) atfen sırasıyla EA, EB ve EW olarak üç standart tür olarak tanımlanmışlardır. EA, EB ve EW sistemleri için örnek ışık eğrileri Şekil 2.1'de verilmiştir. EA sistemlerinin ışık eğrileri, iki minimum derinlikleri arasında önemli bir farklılık göstermektedir. Tutulmalar için belirgin başlangıç ve bitiş zamanları vardır ve tutulmalar dışında ışık değişimleri (parlaklık değişimleri) neredeyse ihmal edilebilir düzeydedir. Bu tür sistemlerde bileşen yıldızlar birbirinden yeterince uzakta bulunur ve önemli ölçüde etkileşime sahip değildir. Gözlemsel olarak bu tür sistemlerin yörünge dönemlerinin bir günden daha büyük olduğu bulunmuştur. EB türü sistemlerin ışık eğrilerinde ise birinci ve ikinci minimumlar belirgin şekilde farklı derinliklere sahiptir ve tutulmalar dışında sürekli değişim görülür. Yörünge dönemleri genel olarak bir günden büyüktür. EW türü sistemlerde bileşen yıldızlar birbirine çok yakındır ve ışık eğrilerinde tutulmalar dışında sürekli bir değişim görülürken, minimum derinlikleri neredeyse birbirine eşittir. Yörünge dönemleri bir günden kısadır. Birinci ve ikinci minimum arasındaki fark 0.1 ile 0.2 kadirten fazla değildir. Bu tür sistemlerde bileşen yıldızlar ya benzer sıcaklıktadır ya da ortak bir zarf içerisinde bulunurlar.



Şekil 2.1 Algol (EA), β Lyrae (EB) ve W Ursae Majoris (EW)’e ait ışık eğrileri (Skelton ve Smits 2009)

3ncü Kepler yasasının Newton tarafından düzenlenmiş formunda, bir çift yıldız sisteminde yörünge büyüklüğünün (a ; yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu) küpü ile yörünge döneminin (P) karesi arasındaki oranın, çift sistemi oluşturan bileşen yıldızların kütleleri toplamına eşit olduğu bilinmektedir. Bir çift yıldız sisteminde yörünge dönemi ölçmek görece kolaydır ve bu nedenle çift yıldızlar yıldız kütlelerini belirlemek için uygun bir yöntem sağlar.

Bir yıldızın kütlesi, zamanla nasıl evrimleştiğini de ortaya koyan temel bir parametre olduğundan, çift yıldızlar yıldız evrimini anlamamıza önemli katkılar sağlar. Bununla birlikte, yakın etkileşimli çiftlerin kökeni, yapısı ve evrimi hala birçok gizemi bünyesinde barındırır. Yakın çiftler, manyetik rüzgarlardaki kütle kaybı nedeniyle açısal momentum kayıpları veya bileşenler arasındaki kütle alışverişi nedeniyle ısısal salınımları veya her ikisinin bir kombinasyonu ile evrimleşebilir. Evrimleri sırasında etkileşim halindeki çiftler yarı-ayrık hale geliyor olabilir. Yukarıdaki mekanizmalardan birinin yakın çiftlerin

evrimini kontrol edip etmediğini ya da henüz tanımlanmamış başka bir sürecin sistemlerdeki değişiklikleri yönlendirip yönlendirmediğini belirlemek için daha fazla gözlemsel veriye ihtiyaç duyulmaktadır.

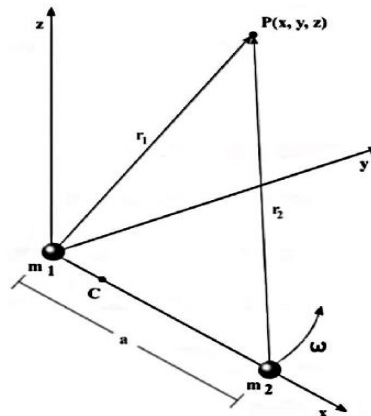
Klasik mekanikte, çekimsel olarak birbirine bağlı iki cismin, m_1 ve m_2 kütesinin ortak kütle merkezleri etrafında v_1 ve v_2 hızlarıyla dolandıkları iyi bilinmektedir.

$m_2 < m_1$ olmak üzere, $q = m_2/m_1$ kütle oranı açısından şunu göstermek kolaydır.

$$q = \frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.1)$$

Eğer çift yıldız sisteminin yörünge düzlemi, gökyüzü düzlemine göre belirli bir “ i ” açısına sahipse, bileşen yıldızların ölçülen maksimum hızı, izdüşüm nedeniyle $v_{max} = v \sin i$ kadar olacaktır.

Çift yıldız sistemlerini tanımlamanın ve sınıflandırmanın uygun bir yolu sistemlerin Roche modeli açısından incelenmesidir. Ortak kütle merkezleri etrafında dairesel yörüngede $m_1 > m_2$ olan iki noktasal kütle (m_1 ve m_2)’den oluşan bir sistem düşünülür. Sistemle ω açısal hızında örtüşen ve orijini m_1 olan bir referans çerçevesi seçilir. m_2 cisminin Şekil 2.2’de gösterildiği gibi $(a, 0, 0)$ noktasında bulunsun. Bu çerçevede z -ekseni yörünge düzlemine dik doğrultuyu göstermektedir.



Şekil 2.2 C kütle merkezi etrafında x-y düzleminde ω açısal hızı ile dolanan iki noktasal kütle (m_1 ve m_2)’den oluşan bir sistemin referans çerçevesi. Rastgele bir P noktası, m_1 ve m_2 ’den sırasıyla r_1 ve r_2 uzaklığında (Skelton ve Smits 2009)

Herhangi bir P (x, y, z) noktasında sonsuz küçük kütleli üçüncü bir cismin maruz kalacağı kütle çekim potansiyeli Φ , iki noktasal kütlenin potansiyeli ile sistemin dönmesinden kaynaklanan merkezkaç potansiyelinin toplamından oluşur ve aşağıdaki denklem ile verilir.

$$\phi = -\frac{Gm_1}{r_1} - \frac{Gm_2}{r_2} - \frac{\omega^2}{2} \left[\left(x - \frac{m_2}{m_1+m_2} \right)^2 + y^2 \right] \quad (2.2)$$

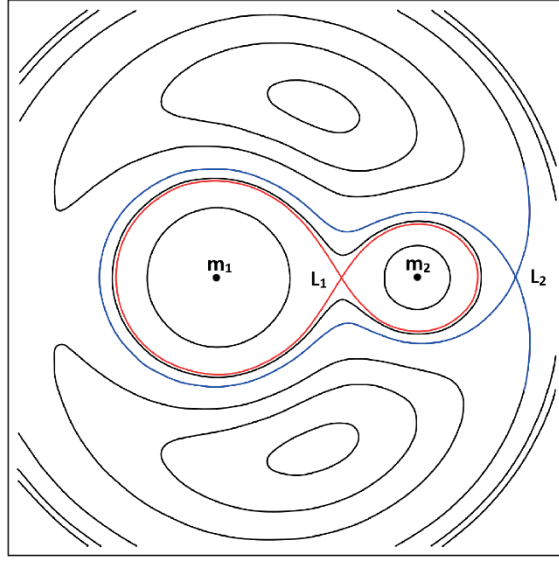
G, kütle çekim sabitidir. m_1 ve m_2 kütleli yıldızların kütle merkezinden P (x,y,z) noktasına olan uzaklıkları sırasıyla r_1 ve r_2 olup,

$$r_1 = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (2.3)$$

$$r_2 = \sqrt{(x - a)^2 + y^2 + z^2} \quad (2.4)$$

denklemleri ile verilir. Potansiyelin üç boyutlu uzaydaki şekli, iki yıldız arasındaki uzaklık olan a ve kütle oranı q ile tanımlanır.

Kütle oranı $q = 0.3$ olan bir çift sistem için, dönen referans çerçevesindeki eşpotansiyel yüzeyler Şekil 2.3' de gösterilmiştir (Skelton ve Smits 2009). Büyük ve küçük kütleli yıldızların kütle merkezleri sırasıyla m_1 ve m_2 ile gösterilmiştir. Eşpotansiyel bir yüzeyin normali, bölgesel etkin kütleçekim doğrultusunu tanımlar. Roche loblarını belirleyen iç Lagrange yüzeyi kırmızı ve dış Lagrange yüzeyi ise mavi ile gösterilmiştir (Skelton ve Smits 2009). İki kütlenin eşpotansiyel yüzeyleri birkaç noktada birleşir. İç Lagrange noktası L_1 , kütlelerin potansiyelinin tam olarak eşitlendiği iki kütle arasındaki noktadır ve Şekil 2.3'te görüldüğü gibi sekiz rakamına benzer bir şekil oluşturur. Yıldızlar için oluşturulan üç boyutlu eşpotansiyel yüzeyler Roche lobları olarak adlandırılır ve sonsuz küçük kütleli bir cisme, her iki büyük kütleli cisim tarafından çekimsel olarak etkinin eşitlendiği uzaklıkları gösterir. Yıldızlar da benzer şekilde uzayda noktasal kütle olarak kabul edilebildiğinden, biçimsel olarak yıldızların Şekil 2.3'tekine benzer eşpotansiyel yüzeylere sahip olacaktır.



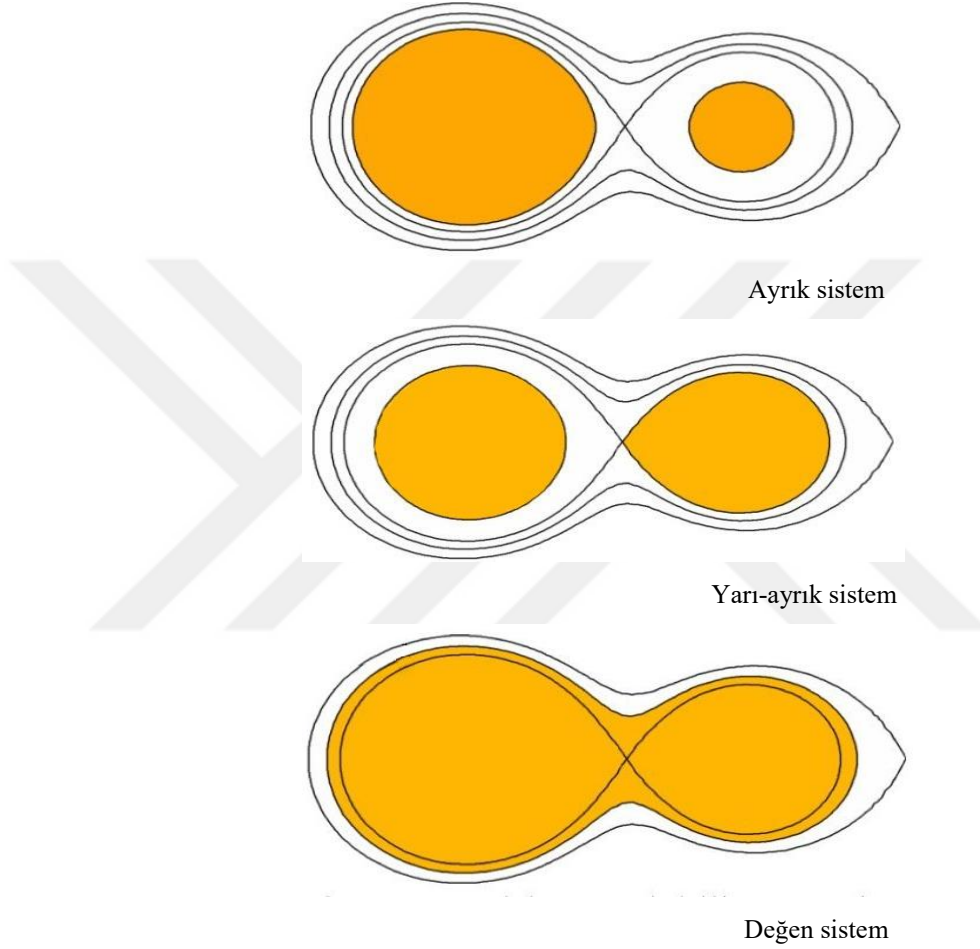
Şekil 2.3 Kütle oranı $q = 0.3$ olan bir çift yıldızın yörünge düzlemindeki eşpotansiyellerin eş düzlem haritası. Büyük ve küçük yıldızların kütle merkezleri sırasıyla m_1 ve m_2 ile gösterilmiştir. Roche loblarını belirleyen iç Lagrange yüzeyi kırmızı, dış Lagrange yüzeyi ise mavi ile gösterilmiştir. İç ve dış Lagrange noktaları sırasıyla L_1 ve L_2 olarak belirtilmiş (Skelton ve Smits 2009).

Örten çift sistemler, bileşen yıldızlarının Roche lobunu doldurup doldurmamasına bağlı olarak sınıflandırılabilir (Şekil 2.4). Bu sınıflandırma üç ayrı sistem türü tanımlanır:

- i. **Ayrık sistem:** Bileşenlerden hiçbiri kendi Roche lobunu doldurmamıştır ve bu nedenle sistemde kütle transferi yoktur.
- ii. **Yarı-Ayrık sistem:** Bileşenlerden biri Roche lobunu tam olarak doldurmuştur ve Roche lobunu dolduran bileşenden L_1 Lagrange noktasından yoldaşına kütle transferi gerçekleşir.
- iii. **Değen veya Aşırı değen sistem:** Her iki bileşen de Roche lobunu doldurmuştur ve fiziksel olarak birbirleriyle temas halindedir. Bu sistemlerin temas durumunda olması değme derecesi " f " parametresiyle ifade edilir ve $0 \leq f \leq 1$ arasında değişir. Sistem $f = 0$ durumunda ise değmeye yeni başladığı, $f = 0.5$ durumunda ise eşpotansiyel yüzeylerin yarısını doldurduğu, $f = 1$ durumunda ise sistemin tüm eşpotansiyel yüzeylerini doldurmuş olduğunu belirtir (Rucinski 1973).

$$f = \frac{\Omega_{iç} - \Omega}{\Omega_{iç} - \Omega_{dış}} \quad (2.5)$$

denklemini ile hesaplanır. Ω : eşpotansiyel yüzeyi, $\Omega_{iç}$: L_1 noktasından geçen ortak zarf, $\Omega_{dış}$: L_2 noktasından geçen dış ortak potansiyellerini göstermektedir.



Şekil 2.4 Ayrık, yarı-ayrık ve değeri sistemlerin Roche geometrisi (Terrell 2001)

Değeri bir çift, iki bileşeni birbirine çok yakın olan, gaz halindeki zarflarını paylaşan ve birbirlerine çekimsel olarak bağlı olan bir çift sistemdir (Duerbeck 1984, Muller & Kempf 1903). Bu sistemler (veya W UMa türü yıldızlar) F, G veya K tayf türünden (daha erken tayf türünde çok az örneği bulunmaktadır) olan Roche loblarını doldurmuş iki cüce yıldızdan oluşur. Binnendijk (1965), değeri bir çift sistemdeki bileşenlerin, genellikle büyük ölçüde farklı kütlelere sahip olmalarına rağmen neredeyse eşit yüzey sıcaklıklarına ve parlaklıklara sahip olduklarına dikkat çekmiştir. Bu tür sistemlerde bileşen yıldızların

ayrı ayrı ürettikleri enerji ortak zarf boyunca dağılır ve bunun da bileşenlerin kütlelerinden bağımsız olarak tüm ortak yüzey boyunca neredeyse sabit bir sıcaklığa yol açtığı kabul edilir (Lucy 1968b, a; Shu vd. 1976; Shu & Lubow 1981).

2.1.1 W UMa Türü Örten Çift Sistemler

W UMa türü sistemler, neredeyse eşit minimumlara ve sürekli ışık değişimine sahiptirler (Lucy 1968a). Yıldızların benzer bir evrimsel durumda olduğu, anakolun yakınında veya hemen üzerinde yer aldığı varsayılır (Lucy 1968b). Çift sistemdeki, bileşen yıldızların her biri farklı kütlelere sahip olmasına rağmen aynı yüzey sıcaklığına sahiptir. Değen çiftlerin ışık eğrisi özellikleri, ışık eğrisinin şeklini ve bileşenlerin eşit sıcaklık ve parlaklıklarını aynı anda açıklayan değme modeli (Lucy 1968a,b), W UMa türü yıldızların teorik bir açıklaması olarak kabul edilir. Model, her iki yıldızın da Roche lobunu doldurduğunu, dolayısıyla birbirlerine değdiklerini varsayar. Kütle ve parlaklık, bileşenler arasındaki dar boyun yoluyla baş bileşenden yoldaş bileşene aktarılır. Modelde iki anakol yıldızı, konvektif olan ortak bir fotosfer içine gömülüdür. Bu model sistemin ışık eğrisi şeklini ve eş sıcaklıkları açıklasa da değen çift yıldız evrimi ve ortak fotosferin iç yapısını açıklamada yetersiz kalmaktadır.

W UMa türü sistemlerin yörünge dönemleri 0.25 gün ile yaklaşık 1.0 gün arasında değişim gösterir. Yıldızların benzer bir evrimsel durumda olduğu, anakolun yakınında veya hemen üzerinde yer aldığı varsayılır (Lucy 1968b). Çift sistemdeki bileşen yıldızların her biri farklı kütlelere sahip olmasına rağmen aynı yüzey sıcaklığına sahiptir ve bunun temel nedeni ortak bir zarfı paylaşmalarıdır (Lucy 1968, 1976; Wilson 2001).

Bu sistemlerdeki bileşenler kendi Roche loblarını doldurmuş durumdadır ve yıldız maddesi bileşenlerin dış katmanlarından Roche loblarını birleştiren iç Lagrange noktasına doğru akar. Roche lobu, W UMa türü değen çiftlerin bileşenleri arasında kütle transferine izin verir (Eggleton 1983). İç ve dış kritik Roche yüzeyleri arasında uzanan ortak bir konvektif zarfı çevrelenmiş, birbiriyle temas halinde iki yıldızdan oluşurlar.

Bu sistemlerdeki yıldızların yapısı, bileşenler arasındaki kütle transferi nedeniyle tek yıldızlardan farklı özelliklere sahiptir.

Binnendijk (1970) W UMa sistemlerini, gözlemsel özelliklerine göre A- ve W-türü sistemler olarak iki alt sınıfa ayırmıştır:

A-türü: Genellikle daha erken tayf türüne (tipik olarak A'dan G'ye), daha yüksek ışıyım gücüne, daha büyük kütle ve daha küçük kütle oranına sahip sistemlerdir. A-türü sistemlerin ışık eğrileri, daha büyük, daha kütleli, daha sıcak bileşenin transit tutulması nedeniyle, daha derin birinci minimuma sahiptir. Değme oranı daha büyüktür ve kalın bir ortak zarf mevcuttur (Van Hamme 1982).

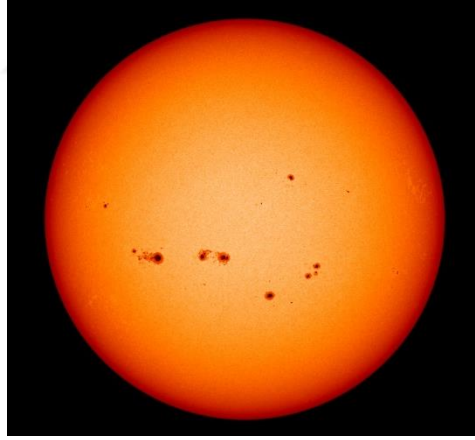
W-türü: Genellikle daha geç tayf türünden yıldızlardan oluşur (G'den K'ya). W-türü W UMa'larda, daha derin birinci minimum, daha küçük, daha az kütleli bileşenin örtülmesi ile gerçekleşir. W-türü sistemlerdeki yıldızlar genellikle, A-türü yıldızlara göre sıfır yaş anakoluna (ZAMS) daha yakındır. W-türü sistemlerde yoldaş bileşenler yaklaşık aynı kütleyle sahip ZAMS'da bulunan yıldızlardan daha büyük yarıçaplara sahiptirler.

W UMa türü sistemlerde bileşenlerinin yüzey sıcaklıkları arasındaki fark genellikle birkaç yüz Kelvinden daha azdır. Lucy ve Wilson (1979) tarafından bileşenlerin daha büyük yüzey sıcaklık farkına sahip olduğu yeni bir B alt sınıfı tanımlanmıştır. Ayrıca, Csizmadia ve Klagyivik (2004), q (kütle oranı) ≥ 0.72 ve büyük açısal momentuma sahip H (yüksek kütle oranı) alt sınıflandırmasını önermişlerdir. Günümüzde halen bu sistemlerin kökenleri, yapıları, evrimleri ve gelecekteki evrimsel durumlarını bütünüyle açıklayan bir teori mevcut değildir.

2.2 Yıldız Lekeleri

Güneş, manyetik olarak aktif bir yıldız olup, aktivitesi Güneş'in konveksiyon bölgesinde işleyen manyetik dinamo sürecinin bir sonucu olarak karşımıza çıkar. Güneş'in büyük ölçekli manyetik alanının çevrimsel olarak ortaya çıkması, "Güneş aktivitesi" olarak da bilinen tüm olayların temelini oluşturur (Charbonneau 2020).

Güneş'in manyetik alanı, 11 yıllık bir döngüye sahip iç dinamo süreci tarafından üretilir. Güneş dinamosunun önemli bir bileşeni, dinamo mekanizmasının 11 yıllık çevrimi boyunca üretilen ve kaybedilen manyetik akı miktarları arasında bir denge oluşturmaktır. Çevrimin başlangıcında, Güneş'in yüzeyinde orta enlemlerde manyetik akı ortaya çıkar. Çevrim boyunca, Güneş'in iç manyetik alanının değişen doğasını yansıtan akının ortaya çıktığı enlemi değişerek sonunda Güneş'in ekvatoruna ulaşır (Şekil 2.5). Bu her 11 yıllık çevrimde manyetik alan kutup değiştirerek 22 yıllık bir manyetik çevrime yol açar.



Şekil 2.5 Güneş üzerinde görülen güneş lekeleri¹

Güneş'ten biraz daha büyük kütleli ve Güneş kütlelerinin yaklaşık üçte birine kadar değişen kütleyle sahip yıldızlar için; iç radyatif bölge ve konvektif zarf şeklinde Güneş ile karşılaştırılabilir bir iç yapıya sahip oldukları bilinmektedir. Yıldız aktivite çevrimi, tıpkı Güneş'in toplam ışıınının Güneş'in 11 yıllık döngüsü boyunca küçük değişimler

¹ <https://www.nasa.gov/missions/sdo/what-will-solar-cycle-25-look-like/>

göstermesi gibi, yıldız parlaklığının dönemsel değişimleri olarak da kendini gösterebilir (Baliunas ve Vaughan 1985).

Yıldız lekeleri, yıldızların yüzeylerinde yer alan ve sıcaklıkları, onları çevreleyen fotosferden önemli ölçüde farklı olan alanlardır. Leke aktivitesi, çeşitli yıldız olayları ve yıldızların iç yapısı ile yakından ilişkilidir. Güneş lekeleri, Güneş'in yüzey alanının leke aktivitesi, çeşitli yıldız fenomenleri ve yıldızların iç yapısı ile yakından ilişkilidir. Buna göre, yıldız lekesi özelliklerini ortaya çıkarmak, yıldız aktivitesini anlamak için de çok önemlidir.

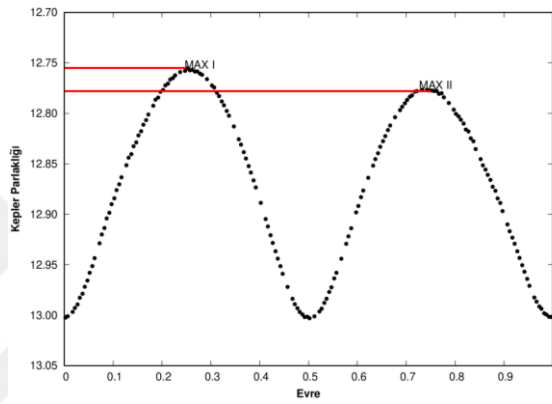
Leke sıcaklığı açısından iki tür leke tanımlanır: soğuk ve sıcak lekeler. Soğuk lekeler genellikle fotosferik manyetik alanlara atfedilir. Geç tür yıldızların manyetik aktivitesi dinamo teorisi ile açıklanmaktadır. Dinamo teorisinde manyetik enerji, dış katmandaki konveksiyondan gelen kinetik enerjinin dönüşümü ile üretilir.

Örten çift sistemler ve tek yıldızlar, yıldız lekelerinin varlığıyla düzensiz parlaklık değişimleri gösterebilmektedir. Yıldız lekelerini tespit etmek için Doppler görüntüleme (Vogt ve Penrod 1983), moleküler bant modelleme (Vogt 1979, Huenemoerder vd. 1989), tutulma haritalaması (Collier Cameron 1997, Lister vd. 2001) ve kütleçekimsel mikro mercekleme (Heyrovsk'y ve Sasselov 2000) gibi teknikler kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sentetik ışık eğrisi analizi, leke parametrelerini tahmin etmek için nispeten kolay bir yöntemdir.

Yıldızlardaki leke çevrimlerini anlamak açısından, bir yıldızın büyük ölçekli manyetik alanının geometrisinin manyetik çevrimi boyunca nasıl değiştiğini anlamada son zamanlarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Asterosismoloji alanında CoRoT (Auvergne vd. 2009), Kepler ve şu anda TESS gibi yüksek hassasiyetli fotometrik gözlemlerin elde edilmiş veya elde ediliyor olmasıyla son 15 yılda bu alanda hızla ilerleme sağlanmıştır. Bu uzay görevlerinden elde edilen gözlemsel veriler, yıldız manyetik alanlarının yıldızların iç katmanları üzerindeki etkisini izleyebilmemize önemli katkılar sağlamıştır.

2.3 O'CONNELL Etkisi

O'Connell etkisi (O'Connell 1951, Milone 1968), bazı örten çift sistemlerin ışık eğrilerinde görülen tutulmalar dışındaki maksimum parlaklıkların eşit olmadığı bir asimetrik yapıdır (Şekil 2.6). Bu konu ilk kez Roberts (1906) tarafından tartışılmış ve eksantrik yörüngedeki yıldızların enberi yakınlarında gelgitsel olarak bozulmasıyla oluştuğu ileri sürülmüştür. Ancak bu durum dairesel yörüngeye sahip sistemlerde görülen O'Connell etkisinin varlığını açıklayamamıştır.



Şekil 2.6 O'Connell etkisi, birinci maksimum (Max I) ve ikinci maksimum (Max II) arasındaki fark

O'Connell etkisi üzerine yapılan araştırmalar arasında O'Connell (1951), Davidge & Milone (1984) ve Wilsey & Beaky (2009) tarafından yapılan çalışmalar en önemlileridir. Bu alanda yapılan en önemli çalışmada O'Connell (1951), $\Delta m = \phi_{\max 1} - \phi_{\max 2}$ (O'Connell etkisinin büyüklüğü: OEB), tayf türü, yüzey çekim ivmesi, boyut ve mutlak parlaklıkları bilinen toplam 87 örten çift sistemi dikkate almış ve 75'inde O'Connell etkisinin bulunduğu belirlenmiştir. O'Connell etki büyüklüğü (OEB) ile farklı dalga boylarındaki OEB farkı, bileşen yıldızların eliptikliği, yıldız yarıçapları oranı ve yıldız yoğunlukları oranı arasında güçlü korelasyonların bulunduğunu göstermiştir. Bu korelasyonlardan biri, OEB'nin kısa dalga boylarında daha büyük değerlere sahip olduğu, yani $(OEB_{\text{mavi}} - OEB_{\text{kırmızı}})$ farkının arttığı ile ilgilidir.

O'Connell (1951) çalışmasında O'Connell etkisini açıklamak için üç hipotez incelemiştir. Mergentaler (1950) tarafından, yıldızları çevreleyen ve bir tarafta daha kalın olan bir gaz

tabakasının ön ve arka yarı-küreler arasındaki akı farkına neden olduğunu öne süren ilk hipotezi ortaya atmıştır. Mergentaler (1950) daha sonra gözlemlenen varyasyonun negatif hidrojen iyonlarının seçici soğurmasından kaynaklandığı sonucuna varmıştır. O'Connell (1951), pozitif OEB'nin baskınlığını açıklamak için bu soğurmanın daha soğuk yıldızda gerçekleşmesi gerektiğini belirtmiştir. Struve (1941) tarafından ortaya atılan ikinci hipotez, tayflardaki salma özelliklerini açıklamak için β Lyrae'nin bir bileşenini çevreleyen bir gaz halkası önermiştir. Yıldızı çevreleyen maddenin "ikiz akışı (ing. twinstream)" şeklini aldığını ve birinin sıcak yıldızdan soğuk yıldıza doğru akarken, diğerinin ters yöne doğru akacağını ileri sürmüştür. O'Connell (1951), birinci tutulmadan sonra görülebilen akışın daha sıcak yıldızdan daha soğuk yıldıza doğru olacağını ve bunun da sistemin o sırada daha mavi görüneceği gözlemiyle uyduğunu belirtmiştir. Son olarak, Kuiper'in (1941) hipotezi, en az bir bileşenin kritik bir loba temas ettiği sistemlerde maddenin bir Lagrange noktası (L_1 veya L_2) boyunca transfer edildiğini öne sürmüştür. Bu madde akışı bileşenleri 0.25 ya da 0.75 evrelerinde gizlerken diğerinde gizlemez, bu da asimetric ışık eğrisini açıklamaktadır.

Davidge & Milone (1984)'nin çalışması, O'Connell (1951)'in çalışmasının devamı niteliğindedir. O'Connell (1951)'in çalışmasında olduğu gibi aşırı değen sistemleri ve ışık eğrileri zamanla değişen sistemleri hariç tutmuşlar. Bu sistemlere ilişkin parametrelerin o dönemde iyi belirlenememesini neden olarak belirtmişlerdir. O'Connell (1951) tarafından kullanılan parametrik analize ek olarak daha az aykırı değer veren ikinci bir, parametrik olmayan, analiz biçimi kullanarak O'Connell'in çalışmasını geliştirmişlerdir. O'Connell (1951)'in aksine, Struve'nin (1941) "ikiz akım" modelinin daha parlak maksimumun daha mavi olduğu sistemler için olası bir mekanizma olduğunu, ancak Mergentaler'in (1950) negatif hidrojen iyonu modelinin, çalışmalarında olduğu gibi daha parlak maksimumun daha kırmızı olduğu sistemler için daha uygun olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca O'Connell etkisinin muhtemelen birden fazla nedeni olduğu sonucuna varmışlardır.

Wilsey & Beaky (2009) çalışmalarında, Mergentaler'in (1950) negatif hidrojen soğurma teorisi ve Struve'nin (1941) "ikiz akışı (ing. twinstream)" teorisinin artık O'Connell etkisinin olası açıklamaları olarak görülmediğini belirtmişlerdir. O'Connell etkisine tek

bir açıklama yapılamamasını ise, bazı sistemlerde bu etki zamana bağlı olarak oldukça değişken iken, diğerlerinde değişkenlik görülmemesine bağlamışlardır. Çalışmalarında her türdeki yıldızların yapısı ve evrimsel durumlarının temel farklılıklara rağmen, tüm morfolojik türlerdeki sistemlerde görüldüğü ve bunun birden fazla nedeni olduğu sonucuna varmışlardır. O'Connell etkisi için önerilen dört açıklamaya odaklanmıştır: Yıldız lekeleri, gaz akışı etkileri, yıldız çevresi materyal etkileri ve Coriolis kuvveti nedeniyle aşırı değen sistemlerde asimetrik çevre-akımı.

Yıldız lekesi: Bu teori, bir bileşen üzerindeki kromosferik aktivitenin neden olduğu sıcak veya soğuk lekelerin ışık eğrilerinde gözlenen akı farkını yarattığını belirtir. Wilsey & Beaky (2009), yıldız lekelerinin O'Connell etkisinin en yaygın açıklaması olduğunu belirtmiştir.

Kütle Transferi: Bu teori, bir madde akımının yıldız yüzeyine veya yıldız çevresindeki bir yığılma diskine çarpmasının, gözlenen akı farkından sorumlu bir sıcak leke yarattığını belirtir. Madde akışı, yarı-ayrık bir sistemin Roche lobunu dolduran bileşeninden kaynaklanmaktadır. Akış, L_1 noktası boyunca kaybedilen maddeden oluşur. Maddenin kinetik enerjisi, çarpma noktasını çevreleyen malzemeyi ısıtarak görünür olduğunda gözlenen akıyı artıran sıcak lekeyi oluşturur.

Çevresel Yıldız Malzemesi: Bu teoriye göre (Liu & Yang 2003) serbest çevresel maddenin yıldızların yörüngesinde dönerken onları etkilemekte, öndeki yarımküreleri ısıtmakta ve gözlemlenen akı farkına neden olmaktadır. Bu fikir, OEB'yi teorik olarak tahmin etmekte, ancak çevresel maddenin ölçülmesi zor olan yoğunluğunun bilinmesini gerektirmektedir. Liu&Yang (2003) bu materyal için bir kaynak öne sürmemiştir.

Asimetrik Çevresel-Akım: Bu fikir (Zhou & Leung 1990) sıcak maddenin tercihen aşırı değen bir çiftin bir tarafına gönderildiğini ve gözlemlenen asimetriye neden olduğunu belirtmektedir. Coriolis kuvveti madde akışını saptırdığı için sıcak madde bir tarafta birikir. Liu&Yang (2003) modelinin aksine, onların modeli OEB'yi tahmin etmemektedir.

Wilsey ve Beaky (2009), birçok sistemde gözlemlenen O'Connell etkisini açıklamak için lekelerin gerçekçi olmayacak kadar büyük olması gerektiğini ve Maceroni & van't Veer (1993) bu modelleri oluşturmak için kullanılan fotometrik ışık eğrilerinin yıldız

lekelerinin varlığını doğrulamak için genellikle yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yıldız lekeleri parametre uzayına leke başına dört yeni parametre ekler: Leke enlemi, boylamı, yarıçapı ve sıcaklık faktörü. Bu ek parametreler teklik problemini artırdığı için (Kallrath & Milone 2009), parametre uzayında (ve dolayısıyla sistemin en iyi modelinin) elde edilmesini neredeyse olanaksız hale getirir. Daha sonra Wilsey ve Beaky (2009) çalışmasında bir madde akışı sonucunda oluşan bir sıcak lekenin, her iki yıldızın merkezlerini birleştiren merkezi eksenden kayması durumunda nasıl maksimum fark yaratabileceğini tartışmıştır. Wilsey & Beaky (2009), O'Connell etkisi için model öneren iki makaleyi (Liu & Yang 2003; ve Zhou & Leung 1990) tartışmıştır. Liu & Yang (2003), her iki yıldız çevreleyen maddenin etkisinin önde gelen yarım küreleri ısıtarak parlaklık ve sıcaklıkta bir farka neden olduğunu öne sürmüştür. Ancak Wilsey ve Beaky (2009), Liu & Yang (2003)'ün bu varsayımlarının gerçekçi olmadığını belirtmiştir. Wilsey & Beaky tarafından, 2009 yılı çalışmalarında O'Connell etkisi için birkaç olası açıklamayı özetlemişlerdir: Bir veya her iki bileşen üzerindeki kromosferik lekeler, kütle transferinin neden olduğu sıcak bir leke veya yörüngede dolanırken yıldızlara çarpan çevresel madde (Liu & Yang 2003). Wilsey & Beaky (2009) bunların hiçbirinin O'Connell etkisini her durumda açıklamadığını belirtmişlerdir. Papageorgiou ve diğerleri (2014) "O'Connell etkisinin hala çift sistem çalışmalarında en kafa karıştırıcı zorluklardan biri olduğunu" belirtmektedir. Yıldız lekelerinin O'Connell etkisi için en yaygın kullanılan açıklama olduğunu vurgulamışlardır.

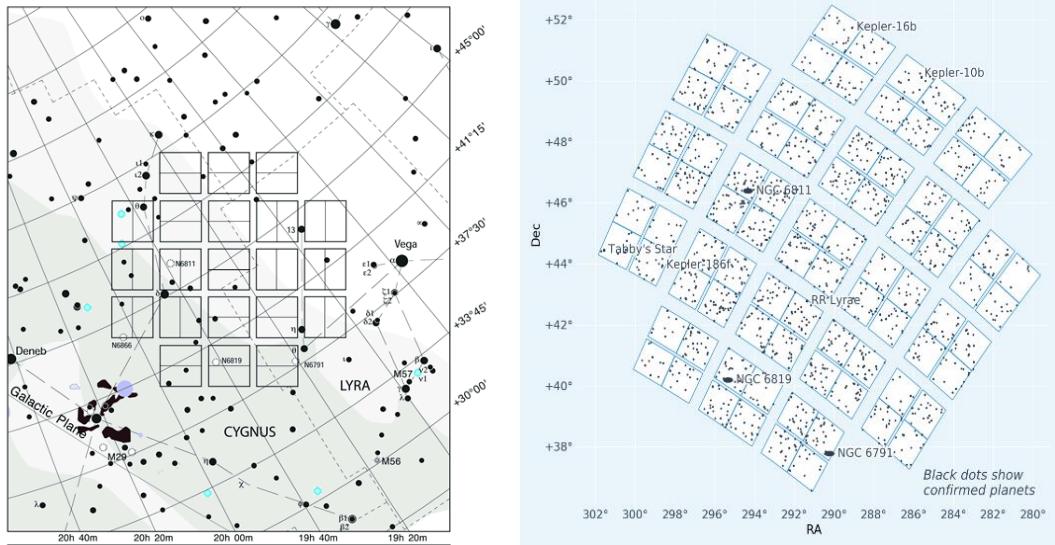
Leke modelleri hem Güneşte bulunan kromosferik yıldız lekelerini hem de bir madde akımının etkisinden kaynaklanan yıldız lekelerini açıklamak için kullanılmaktadır.

Kepler (Borucki vd. 2010) ve *TESS* (Ricker vd. 2014) uzay görevleri gibi son araştırmalar ve gelecekteki araştırmalar, değişken evren hakkında muazzam miktarda veri sağlayacaktır. Bu veriler ışığında yapılacak araştırmaların, O'Connell etkisi de dahil olmak üzere yeterince anlaşılmamış fenomenler sergileyen kaynakları ortaya çıkararak bu sistemlerin evrim doğasında meydana gelen değişimleri anlamamızı sağlayacağı öngörülmektedir.

2.4 KEPLER Uzay Teleskobu

NASA tarafından 7 Mart 2009 yılında fırlatılan uzay teleskobu, Kuğu (Cygnus) ve Çalgı (Lyra) takımyıldızları bölgesi doğrultusunda gözlemlerini gerçekleştirmiş olup, 115.6 derece karelik çok geniş bir görüş alanına (FOV) sahiptir. Bu teleskop Güneş benzeri yıldızların yaşanabilir bölgesinde Dünya boyutunda ve daha büyük boyutlu gezegenlerin sıklığını belirlemek amacıyla fırlatılmıştır. Fırlatıldığı yıldan itibaren 4 yıl boyunca uydu Kuğu ve Çalgı takım yıldızı civarını gözlemlerini gerçekleştirmiştir (Şekil 2.6).

Kepler teleskobu, dört yıl boyunca tek bir görüş alanında 100.000 yıldızı sürekli olarak izlemek için geniş bir CCD dedektör dizisine sahiptir. 0.95 m açıklıklı geniş görüş alanı Schmidt tipi bir teleskop etrafında 42 adet CCD düzeneği üzerine tasarlanmıştır (Şekil 2.7). Karasal gezegenleri tespit etmek için fotometre, parlaklığı 12^m büyüklükteki yıldızlar için 29 ppm'lik ve görünür parlaklığı $14^m.5$ olan bir yıldız için 80.7 ppm hassasiyete sahiptir ki bu duyarlılık yer tabanlı gözlemlerle elde edilebilecek duyarlılıktan çok daha kaliteli veriler anlamına gelmektedir (Gilliland vd. 2011). *Kepler* verileri, $V=12^m$ 'den daha sönük yıldızlar için yer tabanlı gözlemlerden çok daha hassastır, bu nedenle zamana bağlı en küçük değişimleri bile yakalamakta daha başarılıdır.



Şekil 2.7 Kepler uzay teleskobunun uzayda gördüğü görüş alanı (FOV)²

² https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/fov-kepler-drawing.html

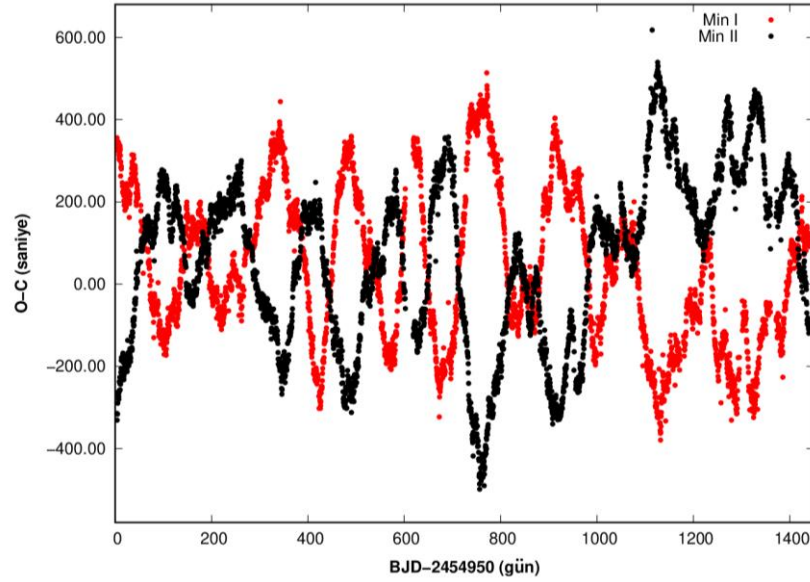
Kepler uydusu verileri uzun yıllara yayılmış, kesintisiz fotometrik gözlemleri sayesinde, görüş alanındaki yıldızların ışık eğrilerinde bulunması olası, hızlı ve dinamik değişimleri incelemede büyük olanaklar sağlamaktadır.

0.52 saniyelik okuma süresine ve 6.02 saniyelik poz süresine sahip *Kepler* uydu görüntülerin birleştirilmesiyle "kadans" (cadance) adı verilen fotometrik veri dosyaları oluşturulmuştur. Bu veri dosyaları üç farklı veri türünden; uzun kadans (LC; 270 tane görüntünün birleştirilmesinden oluşur), kısa kadans (SC; 9 görüntünün birleşmesinden oluşur) ve tam alan görüntüsünden (Full Frame Image: FFI) oluşmaktadır. *Kepler* uydusu verilerinden oluşturulmuş olan Kepler Örten Çift Yıldız Kataloğunda yer alan yaklaşık 2920 sistem içerisinde, O'Connell etkisi gösteren ~400 adet W UMa türü ışık eğrisi tespit edilmiştir. Bu türden değişim gösteren sistemlerden üç tanesi bu çalışmada detaylı olarak incelenmiştir. Bu sistemlerin fotometrik incelenmesi ve analizlerinde, uzun kadans türü Kepler verileri kullanılmıştır.

2.5 KIC 7542091 Örten Çift Sistemi

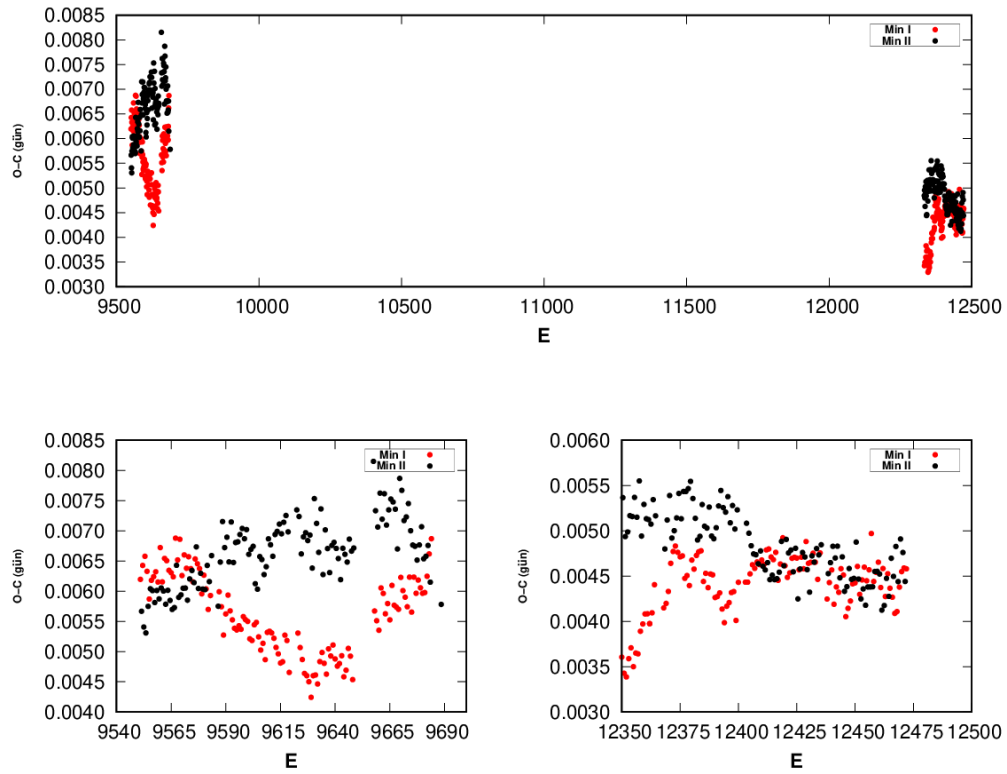
KIC 7542091 (ASAS021209+2708.3, NSVS 5562515, TIC 271958272, $V=12^m.457$, $\alpha_{2000} = 19^{\text{sa}} 42^{\text{dk}} 52^{\text{s}}.00$, $\delta_{2000} = +43^{\circ} 09' 52''.62$) sisteminin ilk fotometrik gözlemleri ASAS (All Sky Automated Survey) projesi kapsamında V ve I bantlarında gerçekleştirilmiş ve örten değişen olarak tanımlanmıştır (Pigulski vd. 2009). NSVS (The Northern Sky Variability Survey) kataloğunda yörünge dönemi (P) 0.39055 gün olan W UMa türü bir örten değişen olarak sınıflandırılmıştır (Hoffman vd. 2009). *Kepler* görevi çerçevesinde yapılan "DR1 Örten Çift" kataloğunda, sistemin etkin sıcaklığı (T_e) 5673 K ve yüzey çekim ivmesi ($\log g$) 3.968 cm/s^2 olarak verilmiştir (Prsa vd. 2011). Slawson vd. (2011) tarafından sistemin Kepler bandında alınmış ilk fotometrik veri seti yayınlanmıştır. Frasca vd. (2016), LAMOST (Large sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) tayf analizinden, sistemin tayf türünü G1V, etkin sıcaklığını (T_e) 5854 K ve yüzey çekim ivmesini ($\log g$) 4.190 cm/s^2 olarak belirlemiştir. Tran vd. (2013) tarafından sistemin *Kepler* verileriyle elde edilen O-C eğrisinde birinci ve ikinci minimumlar arasında ters korelasyonlu bir davranış sergilediği gösterilmiştir (Şekil 2.7). Kepler örten çiftlerinde görülen bu ters korelasyonlu yapıyı açıklamak için, özellikle bir

lekenin genel olarak birinci ve ikinci minimum zamanlarını farklı şekilde etkileyeceğini ve bu sistemin yörünge döneminin büyük bir kısmında görünür olacak şekilde modellenebileceğini belirtmişlerdir. Balaji vd. (2015) tarafından 414 *Kepler* örten çift sisteminin O-C eğrilerinde görülen ters korelasyonlu değişim, leke veya leke gruplarının yıldız boylamındaki değişimleri modellenerek açıklanmıştır. Tran vd. (2013) ve Balaji vd. (2015) tarafından sistemin O-C eğrilerinde ters korelasyonlu yapıya sahip olduğu gösterilmiş (Şekil 2.8) ancak leke modellemesi yapılmamıştır. Sistemin *TESS* verilerinden oluşturulan O-C eğrilerinde (Şekil 2.9) ters korelasyonlu yapı gösterdiği belirtilmiştir (Terzioğlu vd. 2023).



Şekil 2.8 KIC 7542091 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı nokta birinci minimumu (Min I), siyah nokta ise ikinci minimumu (Min II) temsil etmekte (Balaji vd. 2015).

Sisteme ilişkin literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen ışık eğrisi analizlerinden elde edilen bazı geometrik ve fiziksel parametrelere ilişkin bilgiler Çizelge 2.1’de verilmiştir.



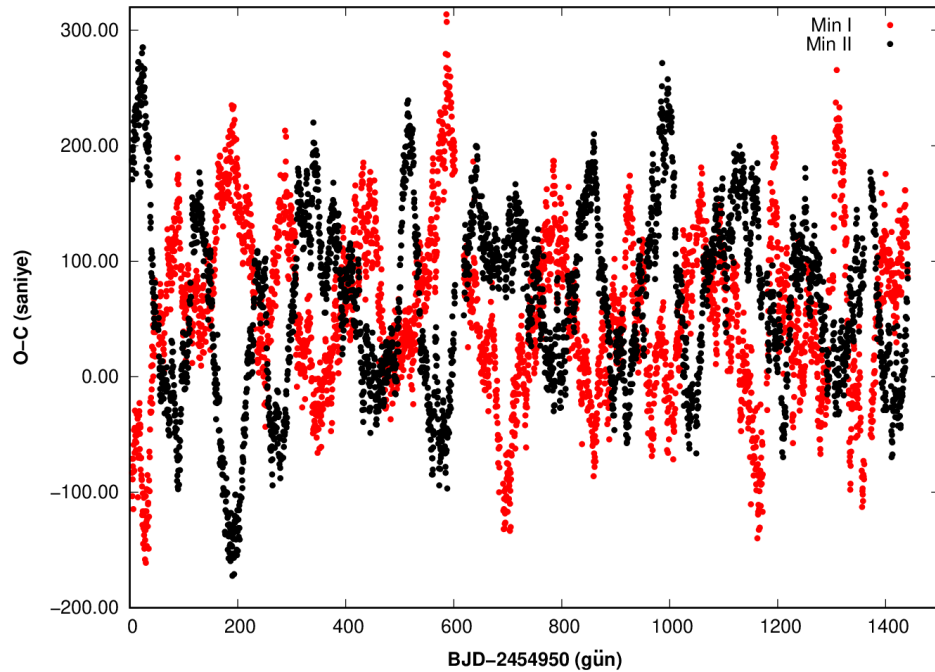
Şekil 2.9 KIC7542091 sisteminin *TESS* verilerinin tüm minimum zamanları ile oluşturulan O-C eğrisi (üst panelde). Üst panelin ayrıntılı gösterimi; 9540-9700 (sol alt panel) ve 12350-12480 (sağ alt panel) çevrimleri arasındaki minimum zamanlarına karşılık gelen O-C değişimi (Terzioğlu vd. 2023)

Çizelge 2.1 KIC 7542091 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri

Analiz Yöntemi	Veri Türü	q	i(°)	T ₁ (K)	T ₂ (K)	I ₃	Kaynak
Phoebe	<i>Kepler</i> (Q0-Q1)	0.74 (1/q=1.35)	74.05	5673	5942	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	<i>Kepler</i> (Q0-Q2)	0.865 (1/q=1.16)	50.01	5673	5962	-	Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	<i>Kepler</i>	0.92 (1/q=1.09)	60.19	5673	5827	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	<i>Kepler</i>	2.67	65.4	5673	5508	0.24	Kobulnicky vd. (2022)

2.6 KIC 7512381 Örtlen Çift Sistemi

KIC 7512381 (ASAS0190600+4307.8, NSVS 5522024, TIC 158218818, $V=12^m.489$, $\alpha_{2000} = 19^{\text{sa}} 05^{\text{dk}} 59^{\text{s}}.94$, $\delta_{2000} = +43^{\circ} 07' 49''.77$) sisteminin ilk fotometrik gözlemleri ASAS (All Sky Automated Survey) projesi kapsamında V ve I bandlarında gerçekleştirilmiş ve örten değişen olarak tanımlanmıştır (Pigulski vd. 2009). NSVS (The Northern Sky Variability Survey) kataloğunda sistemin yörünge dönemi 0.4239248 gün olan W UMa türü bir örten değişen olarak sınıflandırılmıştır (Hoffman vd. 2009). *Kepler* görevi çerçevesinde yapılan “DR1 Örtlen Çift” kataloğunda, sistemin etkin sıcaklığı 5911 K ve yüzey çekim ivmesi 4.193 cm/s^2 olarak verilmiştir (Prsa vd. 2011). Slawson vd. (2011) tarafından sistemin, *Kepler* bandında alınmış ilk fotometrik veri seti yayınlanmıştır. Balaji vd. (2015) tarafından 414 *Kepler* örten çift sisteminin O-C eğrilerinde görülen ters korelasyonlu değişim, leke veya leke gruplarının yıldız boylamındaki değişimleri modellenerek açıklanmıştır. Ancak bu çalışmada sadece sistemin O-C eğrilerinde ters korelasyonlu yapıya sahip olduğu gösterilmiş (Şekil 2.10) ve leke modellemesi yapılmamıştır.



Şekil 2.10 KIC 7512381 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı noktalar birinci minimumu (Min I), siyah noktalar ise ikinci minimumu (Min II) temsil etmekte (Balaji vd. 2015).

Sisteme ilişkin literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen ışık eğrisi analizlerinden elde edilen bazı geometrik ve fiziksel parametre bilgileri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 KIC 7512381 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri

Analiz Yöntemi	Veri	q	i(°)	T ₁ (K)	T ₂ (K)	I ₃	Kaynak
Phoebe	Kepler (Q0-Q1)	1.14	60.57	5911	5698	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	Kepler (Q0-Q2)	1.286	76.09	5911	6041	-	Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	Kepler	2.38	75.98	5911	5798	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	Kepler	1.44	74.20	5911	5792	0.005	Kobulnicky vd. (2022)

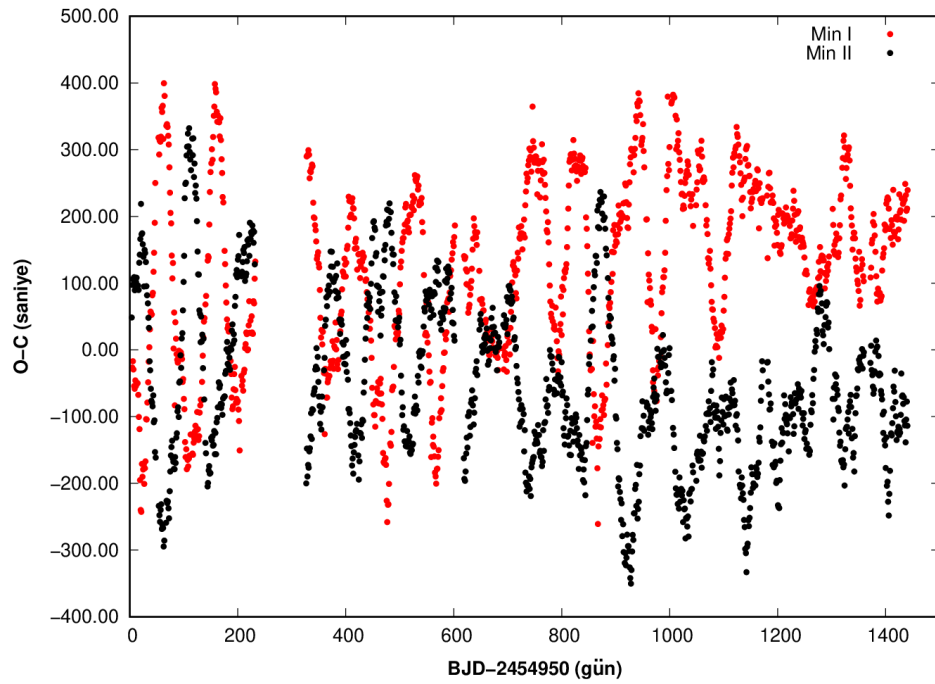
2.7 KIC 9649493 Örtlen Çift Sistemi

KIC 9649493 (NSVS 5618377, TIC 63072602, $V=12^m.922$, $\alpha_{2000} = 19^{\text{sa}} 27^{\text{dk}} 50^{\text{s}}.31$, $\delta_{2000} = +46^{\circ} 18' 32''.68$) sisteminin ilk fotometrik gözlemleri ASAS (All Sky Automated Survey) projesi kapsamında V ve I bandlarında gerçekleştirilmiş ve örtlen değişen olarak tanımlanmıştır (Pigulski vd. 2009). Hoffman vd. (2009) tarafından, NSVS (The Northern Sky Variability Survey) kataloğunda sistem, 0.3715687 gün yörünge dönemine sahip W UMa türü örtlen bir değişen olarak sınıflandırılmıştır. Kepler görevi çerçevesinde yapılan “DR1 Örtlen Çift” kataloğunda, sistemin etkin sıcaklığı 5964 K ve yüzey çekim ivmesi 4.325 cm/s^2 olarak verilmiştir (Prsa vd. 2011). Slawson vd. (2011) tarafından sistemin, Kepler bandında alınmış ilk fotometrik veri seti yayınlanmıştır. Debosscher vd. (2011) sistemin ışık eğrisinde gözlenen değişimlerin, yıldız aktivitesine bağlı lekelerden kaynakladığını ileri sürmüştür. Frasca vd. (2016) tarafından, farklı zamanlarda alınmış LAMOST (Large sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope) tayf gözlemlerinden sisteme ilişkin belirledikleri parametreler Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3 KIC 9649493 sisteminin, LAMOST tayf gözlemlerinden elde edilen bazı parametreler (Frasca vd. 2016)

HJD (gün)	Evre	Tayf Türü	Etkin Sıcaklık T_e (K)	Yüzey Çekim İvmesi $\log g$ (cm/s ²)
2456798.2796	0.04	G2 V	5906	4.19
2456914.0649	0.65	F8 V	5947	4.15

Debusscher vd. (2011) sisteminin ışık eğrisinde gözlenen değişimlerin, yıldız aktivitesine bağlı lekelerden kaynaklandığını ileri sürmüştür. Balaji vd. (2015) tarafından 414 Kepler örten çift sisteminin O-C eğrilerinde görülen ters korelasyonlu değişim, leke veya leke gruplarının yıldız boylamındaki değişimleri modellenerek açıklanmıştır. Bu çalışmada KIC 9649493 sisteminin O-C eğrilerinde ters korelasyonlu yapıya sahip olduğu gösterilmiş (Şekil 2.11) ancak leke modellemesi yapılmamıştır.



Şekil 2.11 KIC 9649493 sisteminin O-C eğrisi. Kırmızı noktalar birinci minimumları (Min I), siyah noktalar ikinci minimumları (Min II) temsil etmektedir (Balaji vd. 2015)

Sisteme ilişkin literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen ışık eğrisi analizlerinde elde edilen bazı geometrik ve fiziksel parametre bilgileri Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 KIC 9649493 sisteminin literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametreleri

Analiz Yöntemi	Veri	q	i(°)	T₁(K)	T₂(K)	l₃	Kaynak
Phoebe	<i>Kepler</i> (Q0-Q1)	1.5	41.76	5964	5738	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	<i>Kepler</i> (Q0-Q2)	3.355	58.16	5964	6142		Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	<i>Kepler</i>	2.06	58.52	5964	6183	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	<i>Kepler</i>	0.52 (1/q=1.92)	73.4	5964	5975	0.583	Kobulnicky vd. (2022)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kepler uydusunun uzun yıllara yayılmış, kesintisiz fotometrik gözlemleri, yıldızların ışık eğrilerinde bulunması olası, hızlı ve dinamik değişimleri incelemede büyük olanak sağlamaktadır. Bu verilerden oluşturulan “*Kepler Örtlen Çift Yıldız Kataloğu*”nda yaklaşık 2920 sisteme ilişkin ışık eğrisi ve bu sistemlere ilişkin çeşitli bilgiler yer almaktadır (<http://keplerebs.villanova.edu/>). Bu tez çalışması kapsamında O’Connell etkisi gösteren W UMa türü örtlen çift sistemlerin belirlenmesinde “*Kepler Örtlen Çift Yıldız Kataloğu*” kullanılmıştır. Bu sistemler aşağıdaki kriterler dikkate alınarak seçilmiştir.

- i. Işık eğrisi W UMa türü değişime sahip,
- ii. Yaklaşık dört yıla yayılmış kesintisiz veri seti olan,
- iii. Işık eğrilerinde gözlenen maksimum seviyeleri göreceli olarak farklı olan (O’Connell etkisi),
- iv. *Kepler Örtlen Çift Yıldız Kataloğu*’nda verilen tutulma zaman grafiğinde ters korelasyonlu değişim gösteren,
- v. Sistemlerde olası leke çevrimini daha iyi görebilmek için kısa yörünge dönemine ($P < 0.5$ gün) sahip olan ve tayfsal gözlemleri yapılması durumu için parlak kaynaklar dikkate alınmıştır.

Bu kriterler doğrultusunda KIC 7542091, KIC7512381 ve KIC 9649493 sistemleri seçilmiştir. Bu sistemlerin görünür parlaklıkları 13^m den daha parlak ve yörünge dönemleri 0.5 günden daha kısa olan ve literatürde O-C değişimlerinde ters korelasyon gösteren sistemlerdir (Şekil 2.7, Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10). Bu tez çalışmasında kullanılan *Kepler* fotometrik verileri, Mikulski Uzay Teleskopları Arşivi olan MAST (MAST: Mikulski Archive for Space Space Telescope) veri tabanından alınmıştır. Gözlemsel veriler için saçılmanın daha az olduğu tespit edilen SAP (Simple Aperture Photometry) seti tercih edilmiştir.

Sistemlerin dört yıllık verilerinden elde edilen ışık eğrilerini minimum ve maksimum parlaklık farklarının zamana göre değişimlerinin çevrimsel yapıları Period04 programı (Lenz ve Breger 2005) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında sadece KIC 7542091 sisteminin tayfsal gözlemleri yapılabilmektedir. KIC 7542091 sistemine ait tayfsal gözlemler, TUG'da (TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi) bulunan 1.5 metre ayna çaplı RTT150 (Russian Turkish Telescope) teleskobuna bağlı TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera) tayfçeki ve Asiago Astrofizik Gözlemevi'nde yer alan 1.22 metre ayna çaplı Galileo Teleskobu'na bağlı slit tayfçeki kullanılarak elde edilmiştir. Tayfsal gözlemlerin indirgenmesinde IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) programı kullanılmıştır. İndirgemesi yapılan Asiago tayflarından, IRAF'ın içerisinde yer alan guiapps paketinin alt programı olan fxcor kullanılarak sistemin dikine hızları çarpaz korelasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca KIC 7542091 sisteminin TUG ve Asiago tayfları kullanılarak tayf türü belirleme işlemi yapılmıştır.

Kepler gözlem verileri kullanılarak sistemlere ilişkin ışık eğrileri oluşturulmuş ve O'Connell etkisinin minimum olduğu ışık eğrisi tespit edilmiştir. Sistemlerin ışık eğrisi analizleri ve leke modellemesi Wilson-Devinney (2015) programı kullanılarak yapılmıştır. KIC 7542091 sisteminin mutlak parametreleri, Asiago Gözlemevi tayflarından elde edilen dikine hız eğrisi ile ışık eğrisinin eş zamanlı çözümünden belirlenmiştir. Bu tez çalışması kapsamında yapılan tüm ışık eğrisi analizleri ve lekelerin modellenmesi Wilson-Devinney (2015) programı kullanılarak yapılmıştır. KIC 7512381 ve KIC 9649493 sistemlerine ilişkin mutlak parametreler ise ışık eğrisi analizlerinden elde edilen parametreler dikkate alınarak, sırasıyla bolometrik parlaklık ve bileşen yıldızların ışıyım güçleri aşağıda verilen bağıntılar kullanılarak elde edilmiştir (Gürol 2016).

$$M_{bol1,2} = 4.75 - 5 \log(R_{1,2}/R_{\odot}) - 10 \log T_{1,2}/T_{\odot},$$
$$L_{1,2} = (R_{1,2}/R_{\odot})^2 (T_{1,2}/T_{\odot})^4$$

Işık eğrilerinde görülen minimum parlaklık farkları (MinI-MinII) ile maksimum parlaklık

farklarının (MaxI-MaxII) zamana bağılı değişimi ve leke modellemesi sonucunda belirlenen lekelerle ilişkin boylamsal değişimin incelenmesinde Period04 programı kullanılmıştır.

3.1 Wilson Devinney Programı

Modelin ana teorisi, organizasyonu, kavramları ve matematiğinin çoğu Wilson & Devinney (1971), Wilson (1979, 1990, 1993, 2008, 2012a, b), Van Hamme & Wilson (2003, 2007), Wilson, Van Hamme, & Terrell (2010), ve Wilson & Van Hamme (2014) tarafından yayınlanan çalışmalarda tanımlanmıştır. Örtün değişen çift yıldızların ışık eğrisi analizlerinde kullanılan bu programın kaynak dosyası Fortran dilinde yazılmıştır ve çeşitli bilgisayar sistemlerinde derlenerek kullanılabilir.

Wilson-Devinney programı, ışık ve dikine hız eğrileri, tayfsal çizgi profilleri, çıktı görüntüleri, kavuşum zamanları ve artık zamanları üreten bir ana FORTRAN programı ile ışık eğrilerinin (LC), dikine hız eğrilerinin (RV) ve tutulma zamanlarının “En Küçük Kareler” kriterine göre parametre ayarlamasına olanak tanıyan diferansiyel düzeltmeleri içeren ana programdan (DC) oluşmaktadır.

Programın 1982 revizyonunda, eksantrik yörüngeler, eş zamanlı olmayan dönme, farklı türde ışık eğrileri için kısıtlı çözüm yapma kapasitesi, dikine hız eğrilerinin hesaplanmasını (yakınlık ve tutulma etkileriyle), eş zamanlı ışık ve dikine hız çözümleri ve basit bir yıldız lekesi özelliği getirilmiştir. Daha sonra 1992 revizyonunda ayrıntılı yansıma ve doğrusal olmayan (logaritmik yasa) kenar kararına, leke parametrelerinin ayarlanması, lekelerin yüzey üzerinde hareketi için tercihe bağlı bir koşul, çok sayıda yörünge üzerinde ışık eğrisi değişimini takip etme ve daha yüksek hız seçenekleri ilave edilmiştir.

Üçüncü revizyon (1998) yarı saydam yıldız çevresi bulutları, hızlı dönen yıldızlar için basit bir tayfsal çizgi profili çıktısı, Marquardt λ faktörünün diferansiyel düzeltme

çözümlerine dahil edilmesi, görüntüler için gökyüzü koordinatlarının oluşturulması, gözlem zamanı (JD) veya evrelerle çalışabilme seçeneği, ek çözüm parametreleri (T_0 , P_0 , dP/dt ve $d\omega/dt$), tüm programın çift duyarlılıkta çözüm yapabilme kapasitesinin dahil edilmesini içermektedir.

Dördüncü revizyon 2003 yılında, esas olarak bant geçişlerinin önceki etkin dalgaboyu karakterizasyonundan standart fotometrik sistemlerin gerçek bantları üzerindeki entegrasyonlara dayanan bir dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Işınım fonksiyonları etkin sıcaklığa, $\log g$ 'ye ve kimyasal bileşime bağlı olarak kullanılabilme yeteneği kazandırılmıştır. Bazı aşırı değen çiftlere uygulanan kısıtlamalarda da birkaç değişiklik yapılmıştır. 2007'deki beşinci revizyon, üçüncü cisimden kaynaklanan ışık-zaman etkisi ve hız kaymalarını, ilgili üçüncü cisim parametrelerinin ayarlanmasını, programda kullanılan üç yasadan herhangi biri için yerel T_e , $\log g$ ve $[M/H]$ fonksiyonları olarak x , y kenar kararım katsayılarının hesaplanabilmesi dahil edilmiştir. DC programında parlaklık veya akı girdisi seçeneği, basitleştirilmiş yeniden boyutlandırmayı (Andrej Prsa tarafından sağlanmıştır) ve çıktı formatlarında birkaç ekleme ve iyileştirmeler yapılmıştır.

Altıncı (2010) revizyonun birincil amacı “Doğrudan Uzaklık Tahmini (DUT)” olarak tanıyan mutlak akı çözümleri sunulmuştur. Bu mutlak çözümlerde, uzaklık ($\log_{10}d$) parametresinin mutlak akı ile hesaplanabilmesi sağlanmıştır. Mutlak akı çözümleri, uygun koşullar altında her iki bileşenin sıcaklıklarının da tahmin edilebilmesine olanak sağlamaktadır.

Yedinci (2013) revizyon, lekeler için başlangıç, maksimum boyut ve kaybolma zamanı gibi parametrelerle karakterize edilen lekelerin geliştirilmesine olanak tanıyan yüksek hassasiyetli bir yıldız lekeli algoritması eklenmiştir. Lekelerin yer değiştirmesi yıldızın dönüşünden bağımsızdır. Işınımsal işlem artık yıldız atmosferlerine (eskiden Legendre polinomları) kübik spline uyumlarına dayanmaktaydı ve 2003 yılında tanıtılan 25 fotometrik banttan oluşan orijinal liste 93 banda genişletilmiştir. Şu anda kullanılan WD programında, “KEPLER” ve “TESS” bantları kullanıcılar tarafından isteğe bağlı olarak

eklenerek 95 bantta kullanım imkanı sunmuştur. Sekizinci revizyon, tutulma zamanlamalarını bir veri girişi seçeneği olarak eklenmiştir.

Wilson-Devinney programı aynı anda n-tane ışık eğrisi ve en fazla iki tane dikine hız eğrisi üzerinde eşzamanlı olarak analiz yapabilme özelliğine sahiptir. Programın geliştirilmesi güncel olarak devam etmektedir.

3.1.1 Wilson-Devinney ana programında kullanılan LC ve DC programları

Wilson-Devinney ana program, iki kaynak dosyayı içeren programdan oluşmaktadır. Bu kaynak dosyadan biri teorik ışık eğrisi ve dikine hız eğrisi için kullanılan LC (Light Curve), diğeri ise en küçük kareler yöntemine göre parametrelerde düzeltme yapan DC (Differential Correction) modülüdür.

3.1.2 Wilson-Devinney programında kullanılan model parametreleri

Wilson-Devinney programının parçaları olan LC ve DC programları 50 den fazla model parametresini içermektedir. Bu parametrelerin sayısı analiz sırasında kullanılan ışık eğrisi ve leke/lekelerin sayısına bağlı olarak değişiklik gösterir.

DC program tarafından ayarlanamayan ışık eğrisinden bağımsız parametreler:

THE (ϕ_e): Birinci minimumda yarı-kalma süresi. Sadece Mod -I'de kullanılmaktadır.

XBOL1, XBOL2 (x_{bol1} , x_{bol2}): Bolometrik kenar kararına yasası $\cos \gamma$ teriminin katsayısıdır. MREF=2 olarak alındığında sadece yansıma etkisinin hesaplanmasında kullanılır (Wilson 1990).

YBOL1, YBOL2 (y_{bol1} , y_{bol2}): Eğer kontrol tamsayısı LD1(2)=+2 veya -2 ise, bunlar bolometrik logaritmik kenar kararına yasasındaki $\cos \gamma \ln(\cos \gamma)$ terimidir.

Logaritmik yasa:

$$\frac{I}{I_0} = 1 - x + x \cos \gamma - y \cos \gamma \ln(\cos \gamma) \quad (3.1)$$

Klinglesmith & Sobieski (1970) tarafından bu denklemle önerilmiştir. Eğer LD1(2)=+3 veya -3 ise, bunlar Bolometrik karekök yasasına ait katsayılarıdır.

Tam karekök yasası (Diaz-Cordoves & Gimenez1992) ise,

$$\frac{I}{I_0} = 1 - x + x \cos \gamma - y(1 - \sqrt{\cos \gamma}) \quad (3.2)$$

Tüm bu kenar karar yasalrı için katsayılar Van Hamme (1993) tarafından tablolaştırılmıştır.

3.1.3 DC program tarafından ayarlanabilen ışık eğrisinden bağımsız parametreler

XLAT: Yıldız yüzeyindeki leke merkezinin enlemidir. Kuzey kutup bölgesinde 0°, ekvator bölgesinde 90° ve güney kutup bölgesinde 180° olacak şekilde ölçölür.

XLONG: Yıldız yüzeyindeki leke merkezinin boylamıdır. Yıldızlara +z ekseninden bakıldığında yıldızları birbirine bağlayan doğrultu 0° olmak üzere saat yönünde 0° ile 360° arasında ölçölür.

RADSP: Yıldızın yüzeyinde bulunan lekenin derece cinsinden açısal çapıdır.

TEMSP: Yıldızın yüzeyinde bulunan lekenin sıcaklık faktörüdür. Yıldız yüzey sıcaklığının kesri olarak verilir. Bu değer 1'den küçük olduğunda yıldızın yüzey sıcaklığından daha soğuk, 1'den büyük olduğunda ise leke yıldızın yüzey sıcaklığından daha sıcak kabulunu temsil eder.

E (e): Çift yıldız sisteminin dışmerkezliği.

A (a): Görelı yörünęe elipsine ait yarı-büyük eksen uzunluğudur. Birimi Güneş yarıçapı cinsindendir.

F1, F2: Sırasıyla birinci ve ikinci yıldız için kendi eksenleri etrafında dönme dönemlerinin ortalama yörünęe dönemine oranıdır. F=1 olması eşzamanlı dönmenin

olduğu durumu ifade eder. F değerleri yıldızların biçimini, yüzey parlaklıklarını, Roche şişimlerine ait boyutları ve dikine hız değerlerini etkiler.

$$F = \sqrt{\frac{1+e}{(1-e)^3}} \quad (3.3)$$

VGA (V_γ): Çift yıldız sisteminin kütle merkezinin dikine hızıdır. Birimi km/s dir.

PSHIFT (ϕ_0): Hesaplanan evre değerlerine ilave edilen sabit kayma miktarıdır.

XINCL (i): Çift yıldız sisteminin yörünge düzleminin bakış doğrultumuz ile yaptığı açıdır ve birimi derece cinsindendir.

GR1, GR2 (g_1, g_2): Sırasıyla birinci ve ikinci yıldız için bolometrik çekim kararma sabitleridir.

TAVH, TAVC (T_1, T_2): Sırasıyla birinci ve ikinci yıldız için ortalama etkin yüzey sıcaklık değerleridir.

ALB1, ALB2 (A_1, A_2): Sırasıyla birinci ve ikinci yıldız için bolometrik akı değerleridir. Bolometrik albedo; yerel olarak geriye yansıyan bolometrik enerjinin, gelen bolometric enerjiye oranı olarak tanımlanır. Işımasal zarfa sahip olan yıldızlar için bu değer 1.0 ve konvektif zarfa sahip yıldızlar için 0.5 olarak alınır. Gözlemsel olarak konvektif zarflı yıldızlarda bu değer 0.5 ile 1.0 arasında değerler alabildiği görülmüştür.

PHSV, PCSV (Ω_1, Ω_2): Sırasıyla birinci ve ikinci yıldız için eş potansiyelleridir (Ω) ve Kopal tarafından çift yıldız sistemi için senkronize ve dairesel yörünge durumları için tanımlanmıştır. Bu parametreler bir çift yıldız sisteminde, bileşen yıldızların sabit bir potansiyel yüzeyi ile tanımlanabilmesini sağlamaktadır. Plavec (1958), Limber (1963) ve Avni (1976) tarafından Ω potansiyellerini senkronize olmayan ve dışmerkezliğe sahip yörüngeli sistemler için genelleştirilmiş denklemler oluşturulmuştur. Kütle oranı, dönme oranı, yörünge dışmerkezliği, enberinin argümanı ve evre ile birlikte Ω terimi, yıldızların büyüklüğü, şekli, yüzey çekimi ve geometrik özelliklerini belirler.

RM (q): İkinci yıldızın kütesinin, birinci yıldızın kütesine oranını temsil eder ve q (m_2/m_1) ile gösterilir. Kütle oranı olarak tanımlanır.

3.1.4 Wilson-Devinney (WD) programının çalışma modları ve çözüm kısıtlamaları

WD programı, yıldızların gözlemsel özelliklerine bağlı olarak analizlerde bazı kısıtlamalar ile kullanılır. Bu kısıtlamalar analiz işlemlerinde serbest bırakılabilir parameter uzayında sınırlamalar getirerek analizin daha hızlı ve güvenilir olarak elde edilmesini olanak sağlar. WD programında çift yıldızların ışık eğrisi çözümlerinde kullanılan Modlar ile kısıtlamaları aşağıda belirtilmiştir.

Mod -1: Bu mod, kompakt bir nesnenin tutulma süresinin X-ışını gözlemlerinden bilindiği X-ışını çiftleri içindir. Kompakt yıldız birinci yıldız olarak kabul edilir. Bu modda uygulanan kısıtlama, ikinci yıldızın yüzey potansiyelinin gözlemlenen X-ışını tutulma süresini üretecek şekilde olmasını içerir. Bu nedenle, program q , F_2 , e , ω , i ve X-ışını tutulması yarı süresi, ϕ_e (FORTRAN adı THE) girdilerinden Ω_2 potansiyelini hesaplar. Çözümlerin dairesel yörüngeler veya eşzamanlı dönüşle sınırlı olmadığını, herhangi bir F_2 gibi 0 ile 1 arasındaki herhangi bir e 'ye izin verilmekte. Ayrıca Roche şişimini doldurma zorunlu değil. Mod -1 mantığının uygulanacağı çoğu durumda iki yıldız için eşit sıcaklıkların kullanılması tavsiye edilir.

Mod 0: Bu modda hiçbir kısıtlama uygulaması yoktur ve bileşen yıldızların ışıınım güçleri oranının yüzey sıcaklıklarıyla tutarlı olması gerekmez. Yani, program ışıınım güçleri olan L_1 ve L_2 'yi verildiği gibi kullanır ve L_2 'yi girdi sıcaklıklarına göre yeniden hesaplamaz.

Mod 1: W UMa yıldızları gibi aşırı değen çiftler içindir. Altı veya yedi kısıtlama sabit veya hesaplanmış kenar kararmasının belirtilmesine bağlı olarak uygulanır. Bunlardan birincisi, ikinci yıldızın yüzey potansiyelinin birinci yıldızinkine eşit olmasıdır. Bir diğeri ise, ikinci yıldızın sıcaklığının, sistemin tüm ortak zarfın kararma yasasıyla belirlenmesidir. Diğer kısıtlamalar ise birinci ve

ikinci yıldızlarının çekim kararması, bolometrik albedosu ve kenar kararma parametrelerinin aynı olmasıdır. Son olarak ikinci yıldızın L_2 parametresi, kara cisim veya yıldız atmosferi ışıınım formülleri aracılığıyla diğer parametrelerden hesaplanır. Bu nedenle Ω_2 , g_2 , T_2 , A_2 , L_2 , x_2 ve y_2 parametreleri Mod 1'de serbest bırakılmaz.

Mod 2: Bu mod, bileşenlerin yüzey potansiyeller üzerinde herhangi bir kısıtlama olmaksızın ayırık çift yıldızlar içindir. Tek kısıtlama, L_2 (ikinci yıldızın ışıınım gücü) kara cisim veya yıldız atmosferin aracılığıyla diğer parametrelerden hesaplanmasıdır. Yani, L_2 sıcaklıklara bağlıdır. Sıcaklık-ışıınım gücü arasındaki bu bağlantı, IPB=1 (normal değer = 0) olarak ayarlanarak değiştirilebilir. Mod 2, bu kısıtlama dışında mod 0 ile aynıdır.

Mod 3: Bu mod aşırı değen çift yıldızlar içindir ve g_2 , T_2 , A_2 , x_2 ve y_2 üzerindeki kısıtlamaların uygulanmaması dışında Mod 1 gibi çalışır. Diğer iki Mod 1 kısıtlaması (L_1 ve L_2 üzerinde) Mod 3'te uygulanır, ancak g_2 , T_2 , A_2 , x_2 ve y_2 serbest bırakılabilir. Bu uygulama 1998 versiyonundan değiştirilmiştir. Yıldızlar Mod 3'te aşırı değen olabilir, ancak çok farklı yüzey parlaklıklarına sahiptirler. Yapısal olarak, ısısal değen olmadan geometrik olarak değen sistemlerin olabilmelerine olanak tanır.

Mod 4: Bu mod, birinci yıldızın eşzamanlı dönüş ve dairesel yörünge için klasik Roche şişimini doldurmuş olan yarı-ayırık çiftler içindir. Uygulanan kısıtlamalar Ω_1 'in Roche şişimini doldurma değerine sahip olması ve L_2 'nin sıcaklığına bağlı olmasıdır (IPB=1 olmadığı sürece).

Mod 5: Bu mod, ikinci yıldızın sınırlayıcı Roche şişimini doldurmuş olması dışında Mod 4 ile aynıdır. Bu Algol türü çift yıldızlar için kullanılan moddur.

Mod 6: Bu mod, her iki yıldızın da sınırlayıcı Roche şişimlerini tam olarak doldurduğu çift yıldızlar içindir (Wilson 1979). Mod 6, Mod 4 ve 5'in yüzey potansiyeli kısıtlamalarını birlikte uygular.

Program genel bir sınırlayıcı Roche şişimi tanımı altında çalışmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen W UMa türü örten çift sistemlerin Wilson-Devinney programıyla yapılan analizlerinde “Mod 3” kullanılmıştır.

3.2 PERIOD04 Programı

Period04 (Lenz ve Breger 2005), Windows, LINUX ve Mac OS X sistemlerinde çalışabilen Java/C++ hibrid bir program olup, özellikle zamansal boşluk içeren büyük astronomik verilerin istatistiksel analizinde kullanılmaktadır. Program zaman serilerinin çoklu dönem içeren frekansları elde etmek ve çoklu frekans fitlerini gerçekleştirmek için de kullanışlı bir arayüz sağlar. Program temelde aşağıda verilen üç temel modülü içermektedir.

Zaman Dizisi Modülü: Bu modülde kullanıcı zaman dizisi verilerini yönetir. Modül, bir veri setinden alt settler oluşturmak, veri setlerini birleştirmek, ağırlıklandırmak vb. amaçlarla kullanılır.

Uyum Modülü: Bu modülde, elde edilen frekans değerleri, gözlemsel verilere en küçük kareler yöntemiyle fit edilebilir. Period04, temel fit tekniklerinin yanı sıra, genlik ve/veya evre değişimlerini veya periyodik bir zaman kaymasını dikkate alarak fit etmeyi de içerir. Ayrıca, Monte Carlo simülasyonları gibi fit parametrelerinin hatalarının hesaplanması için çeşitli araçlar içerir.

Fourier Modülü: Verilerden yeni frekansların çıkarılması için bu modül kullanılır. Period04'teki Fourier analizi, ayrık fourier dönüşüm (DFT: Discret Fourier Transform) algoritmasına dayanmaktadır. Astronomik zaman veri setleri genellikle eşit zaman aralıklı veriler olmadığından Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) algoritması kullanılmamaktadır.

Program algoritmasında fourier fiti için $Z + \sum A_i \sin(2\Pi(\Omega_i t + \Phi_i))$ denklemi kullanılır. Denklemden, Z değişimin sıfır noktasını, A_i parametresi genliği, Ω_i frekansı, Φ_i evreyi temsil eder. Programda frekans, genlik ve evreye ilişkin hata hesabı aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma(f) = \sqrt{\frac{6}{N} \frac{1}{\pi T} \frac{\sigma(m)}{a}} \quad (3.4)$$

$$\sigma(a) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sigma(m) \quad (3.5)$$

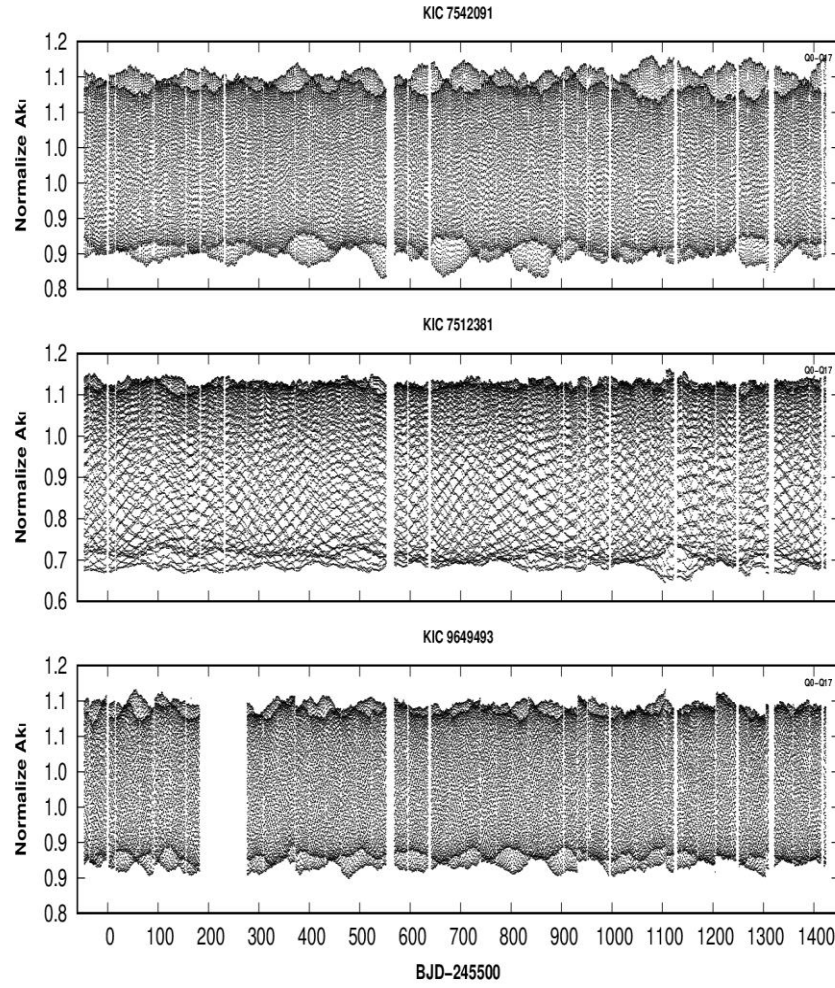
$$\sigma(\phi) = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{2}{N} \frac{\sigma(m)}{a}} \quad (3.6)$$

Burada f frekans, a genlik, ϕ evre, N gözlem nokta sayısı, T veri setinin zaman aralığı ve $\sigma(m)$ gözlem noktalarına yapılan fitten geriye kalan artığı temsil eder.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen sistemlerin zamana bağlı olarak fotometrik değişimlerinin frekans analizleri için Period04 programı tercih edilmiştir. *Kepler* verileri, kesintisiz olarak yaklaşık dört yıla yayılmış az sayıda zaman boşluğu içerdiği için analizlerde yüksek genlikli frekans değeri olası frekans olarak kabul edilmiştir. Breger vd. (1993) tarafından genliğin gerçek frekansı için genliğin 4σ üstünün anlamlı olduğu belirtilmiştir.

3.3 Fotometrik Veriler

Bu tez çalışmasında KIC 7542091, KIC 7512381 ve KIC 9649493 sistemlerine ilişkin *Kepler* fotometrik verileri; MAST veri tabanında yer alan saçılmanın daha az olduğu tespit edilmiş olan SAP (Simple Aperture Photometry) seti tercih edilmiştir. Tez kapsamında incelenen üç adet sistemin verileri Q0-Q17 gözlem aralıkları arasında kalan ~ 4 yılı kapsamakta ve uzun kadans (29.7 dakika) verisini içermektedir.



Şekil 3.1 KIC 7542091(üstte), KIC 7512381 (orta) ve KIC 9649493 (alt) sistemlerine ait yaklaşık dört yıllık Kepler verisinin normalize akı değerlerinin zamana göre değişimini gösteren ışık eğrileri

3.3.1 Işık eğrilerinin oluşturulması

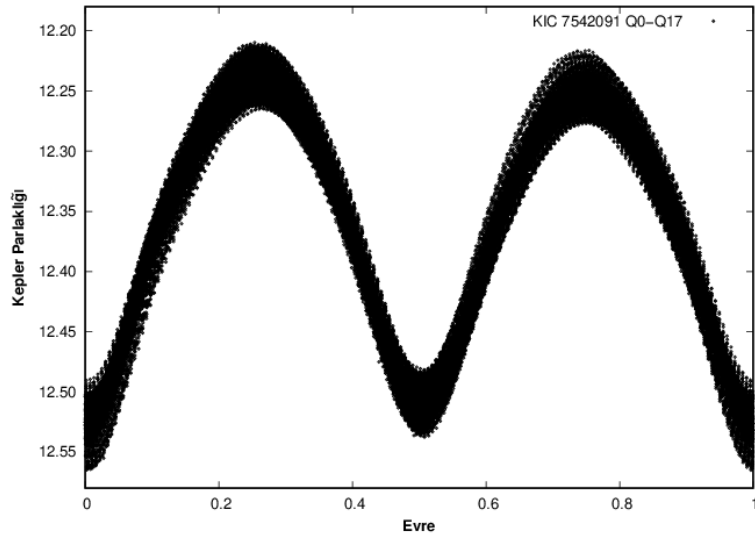
Kepler fotometrik verilerinin tamamı kullanılarak normal noktalardan (aynı evre aralığındaki gözlemlerin ortalaması) oluşturulacak tek bir ışık eğrisi (bkz. Şekil 3.2, Şekil 3.8, Şekil 3.14), sistemde mevcut aktivite veya aktivitelerin yok edilmesine neden olacaktır. Dolayısıyla bu ışık eğrisiyle yapılacak analizlerde sistemi oluşturan bileşen yıldızlar hakkında daha az bilgi edinilmesine sebep olacaktır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında incelenen sistemlerin, art arda gelen gözlemsel veriler arasındaki farkın en küçük olduğu değişimler dikkate alınarak birden fazla ışık eğrisinin oluşturulması tercih edilmiştir. Oluşturulan ışık eğrileri tüm evrede dağılım gösterecek şekilde

birleştirilmiştir. Sistemlerin ışık eğrilerinin evrelendirilmesinde literatürde verilen ışık elemanları dikkate alınmıştır.

3.3.2 KIC 7542091 sisteminin ışık eğrileri

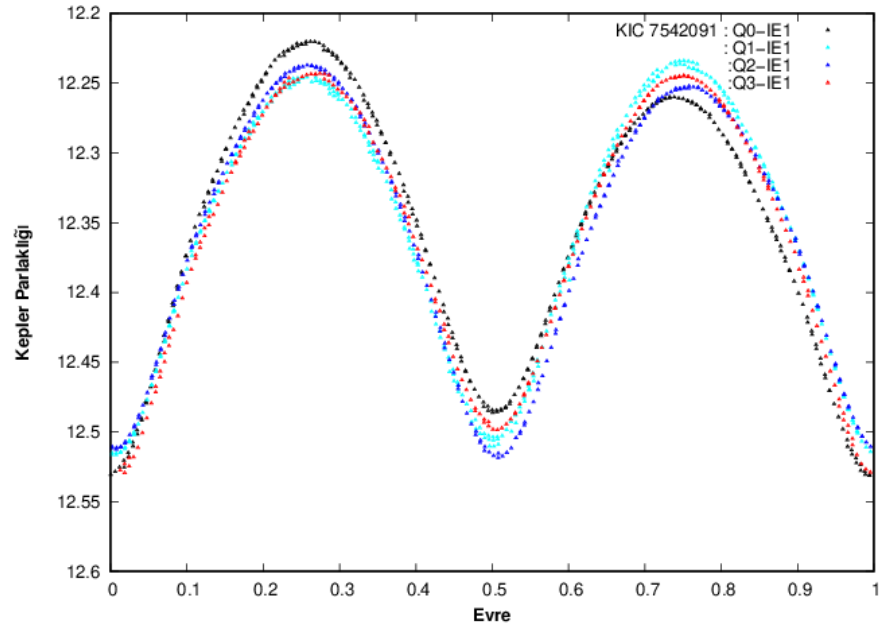
KIC 7542091 sisteminin ışık eğrisinin (Şekil 3.2) evrelendirilmesinde literatürde verilen ışık elemanları kullanılmıştır (Prsa vd. 2011).

$$BJD (Min. I) = 2454953.8731190 + 0.3904996 \times E.$$

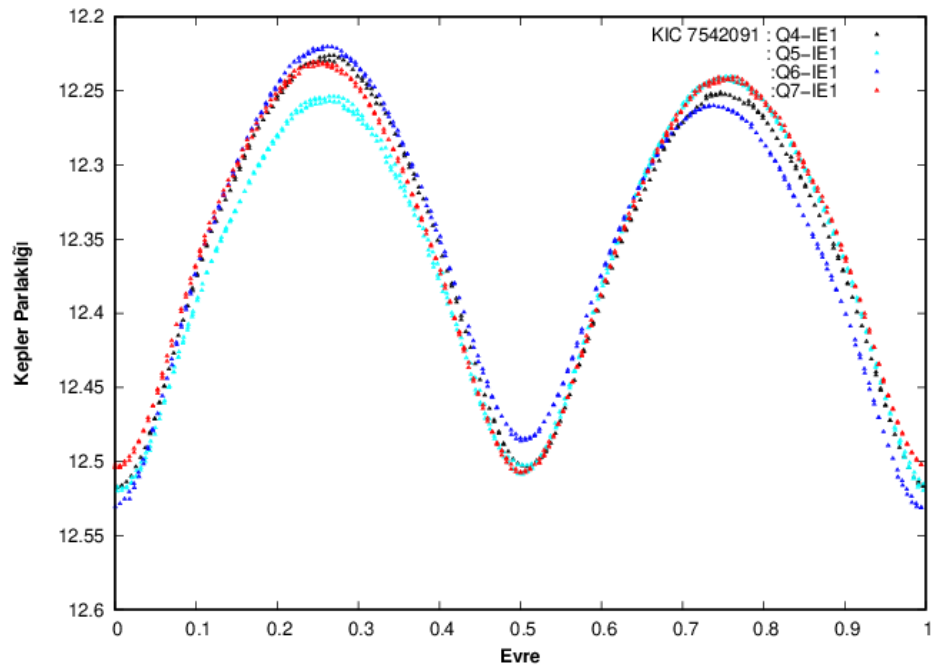


Şekil 3.2 KIC 7542091 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi değişimi

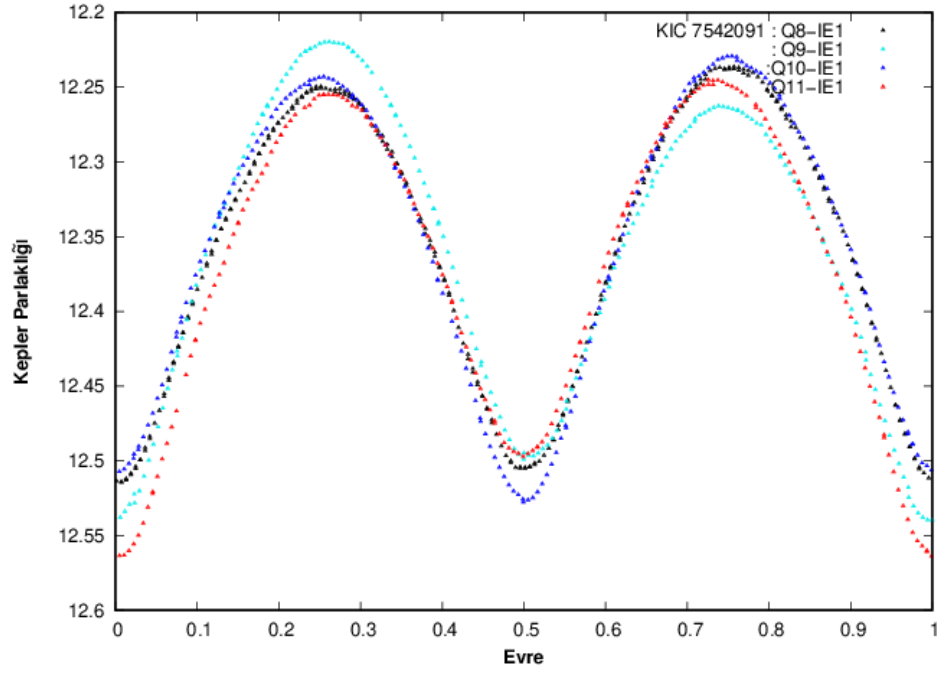
KIC 7542091 sisteminin, ayrıntılı fotometrik çalışmasında, Q0-Q17 arasında toplam 18 çeyreğin kendi içerisinde (her bir çeyrek) gözlenen değişimlerinden 170 adet ışık eğrisi oluşturulmuştur. Sistemin her bir çeyrek içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (kısaca IE1) Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6'da verilmiştir.



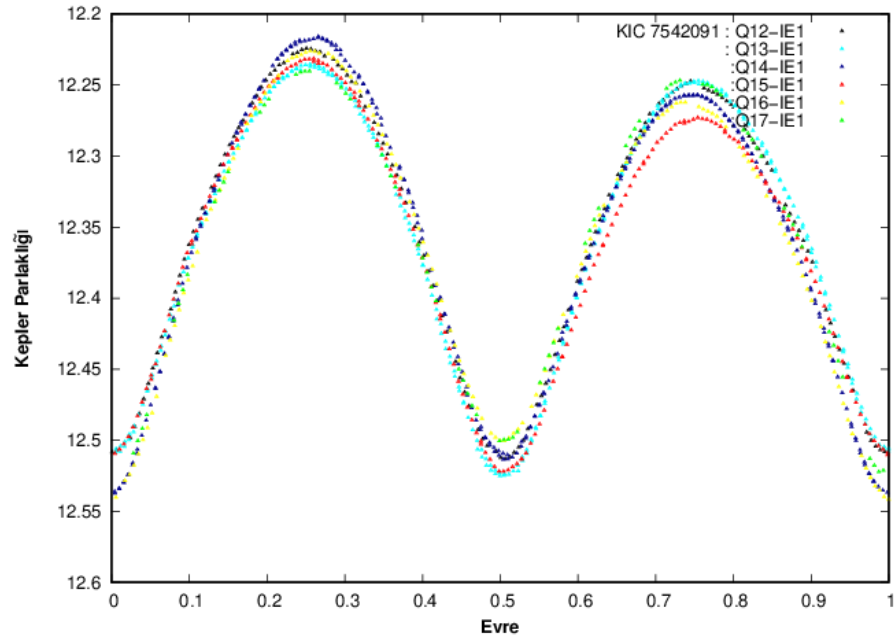
Şekil 3.3 KIC 7542091 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)



Şekil 3.4 KIC 7542091 sisteminin Q4, Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)

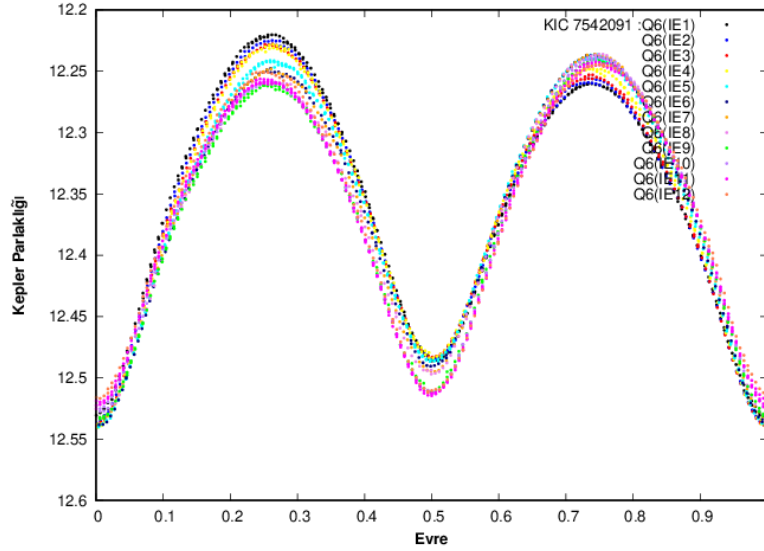


Şekil 3.5 KIC 7542091 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)



Şekil 3.6 KIC 7542091 sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)

Sistemin 6'ncı çeyreğinde oluşturulan 12 adet ışık eğrisi Şekil 3.7'de örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7 KIC 7542091 sisteminin Q6'da oluşturulan 12 adet ışık eğrisi (IE)

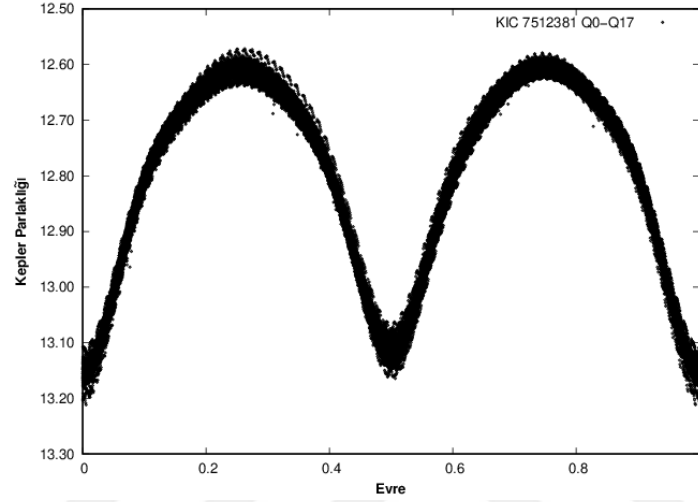
Her bir çeyrek için oluşturulan şekillerden anlaşılabileceği üzere KIC 7542091 sisteminde ışık eğrilerinin genel yapısı aynı kalmakla birlikte her iki maksimum ve minimum seviyelerinde kısa zaman ölçekli parlaklık değişimlerinin bulunduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu tür bir değişimin sistematik bir hatadan kaynaklanmadığını da doğrudan söyleyebiliriz, çünkü aynı çeyrekteki gözlemlerde bile maksimum seviyelerindeki farklar, pozitiften negatife veya negatiften pozitifte dönüşebilmektedir. Aynı durum minimum seviyeleri için de geçerlidir. Hatta bazı gözlemlerde daha derin olan birinci minimumun daha sıkı hale gelebildiği görülmektedir.

Her bir çeyreğin yaklaşık 90 günlük bir zaman aralığında alınmış verilerden oluştuğu dikkate alındığında böylesine değişimlerin ortaya çıkıyor olması sistemde bir başka ışık kaynağının (soğuk/sıcak leke veya flare vb.) etkin olduğunu göstermektedir. Böylesine bir değişimin periyodik bir yapıya sahip olup olmadığının anlaşılabilmesi ise ancak ışık eğrilerinin modellenmesi ve elde edilen modellerin değerlendirilmesi ile mümkün olacaktır.

3.3.3 KIC 7512381 sisteminin ışık eğrileri

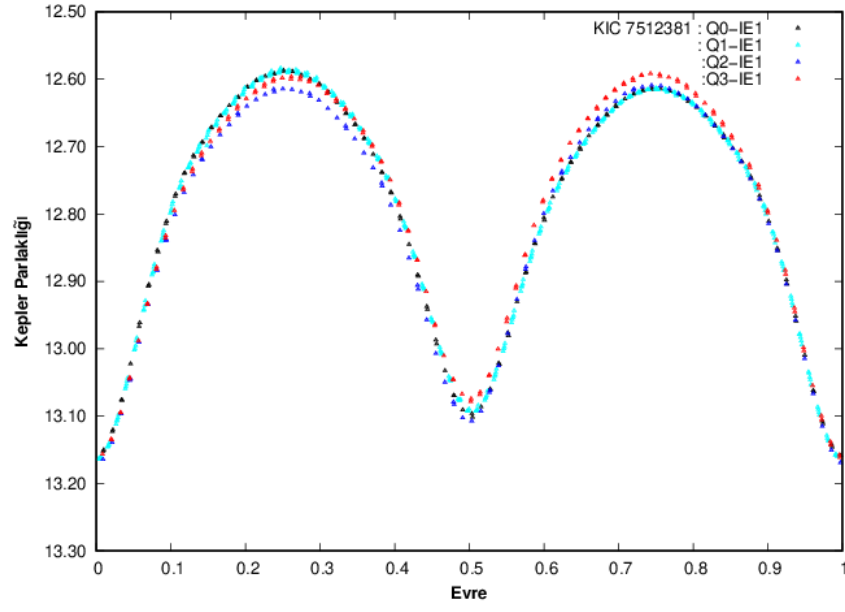
KIC 7512381 sisteminin, ışık eğrisinin (Şekil 3.8) evrelendirilmesi yapılırken literatürde verilmiş olan aşağıdaki ışık elemanı kullanılmıştır (Prsa vd. 2011).

$$\text{BJD (Min. I)} = 2454953.9698730 + 0.4239248 \times E.$$

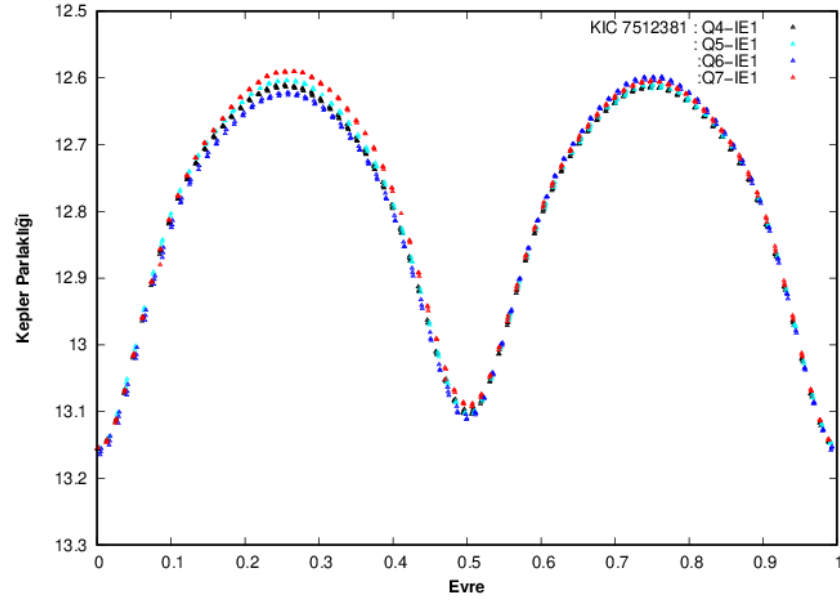


Şekil 3.8 KIC 7512381 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi değişimi

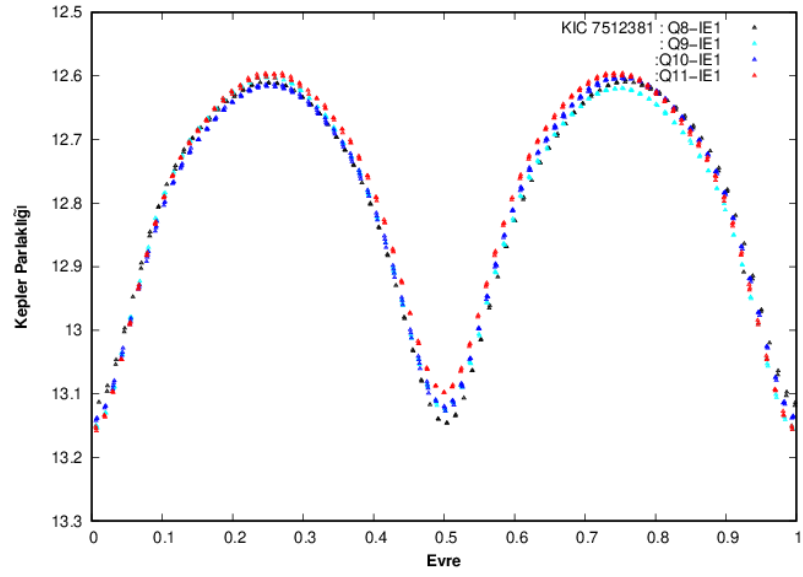
KIC 7512381 sisteminin, ayrıntılı fotometrik çalışmasında, Q0 ile Q17 arasında toplam 18 çeyreğin kendi içerisinde (her bir çeyreğin) gözlenen değişimlerinden 142 adet ışık eğrisi oluşturulmuştur. Sistemin her bir çeyrek içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrilerine örnekler (kısaca IE1) Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12'de verilmiştir.



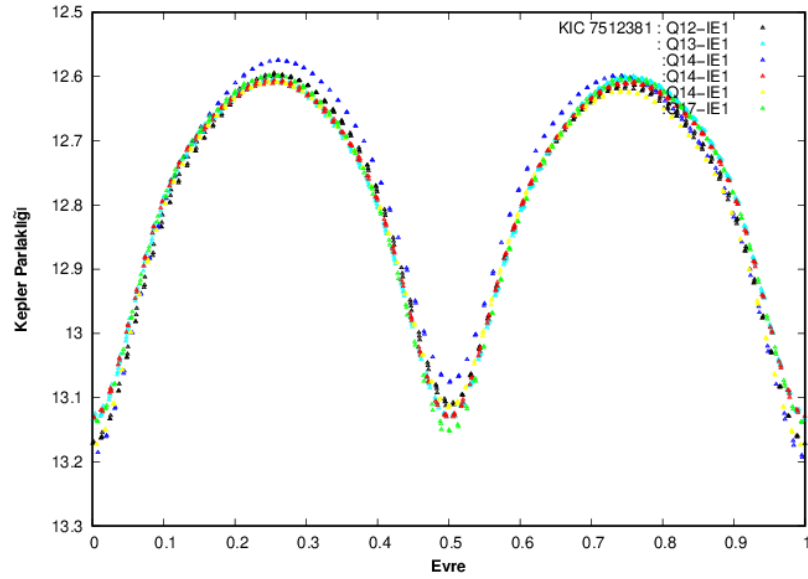
Şekil 3.9 KIC 7512381 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrisi (IE1)



Şekil 3.10 KIC 7512381 sisteminin Q4, Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrisine (IE1)

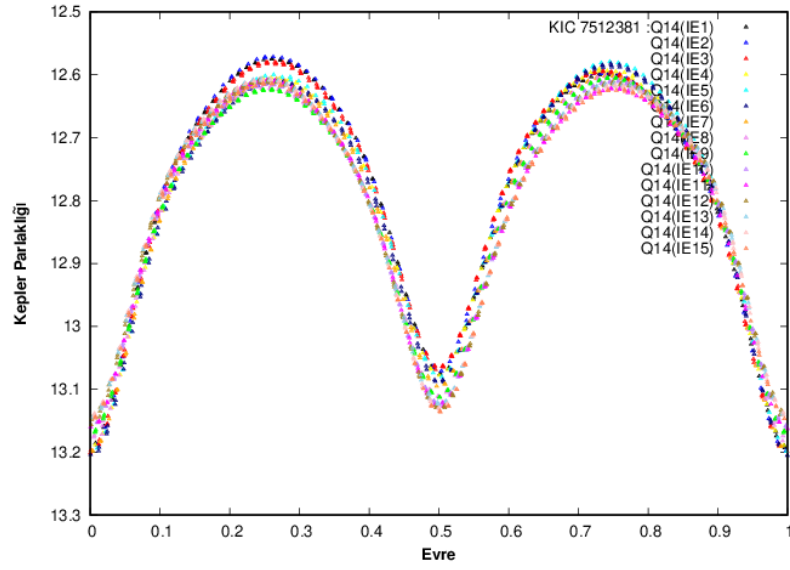


Şekil 3.11 KIC 7512381 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrisi (IE1)



Şekil 3.12 KIC 7512381 sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrisi (IE1)

Sistemin 14'üncü çeyreği içerisinde oluşturulan 15 adet ışık eğrisi, Şekil 3.13'te örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.13 KIC 7512381 sisteminin Q14'te oluşturulan 15 adet ışık eğrisi (IE)

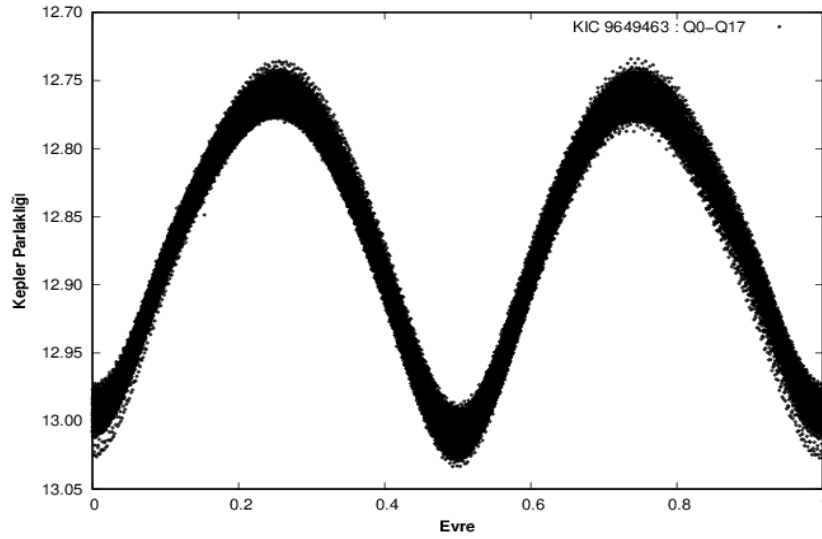
KIC 7512381 sistemi için oluşturulan ışık eğrileri incelendiğinde bir önceki sistemde olduğu gibi maksimum ve minimum seviyelerinde değişim olduğu net bir şekilde görülebilmektedir. Şekil 3.10'da görülebileceği üzere bazı quartırlarda değişimin çoğunlukla Max.I'de görülmekte ve ışık eğrisinin geri kalan bölümlerinin nisbeten daha küçük parlaklık değişimlerine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.13'e bakıldığında ise sistemin toplam parlaklığı arttığında ikinci minimum derinliğinin de benzer şekilde arttığı fakat birinci minimum derinliğinin benzer bir davranış göstermediği görülmektedir.

Maksimum seviyesindeki genel değişimin $\Delta m = 0.04$ kadar olduğunu kabul etmemiz durumunda sistemin toplam ışıınım gücündeki değişim (Pogson ifadesinden) yaklaşık olarak %3.6 kadar olacaktır. Bu fark ise ışıınım gücü denklemi ($L = 4\pi R^2 \sigma T^4$) dikkate alındığında (yıldız yarıçapının sabit kaldığı varsayımı altında), sıcaklıktaki küçük farklılıklar (örn. 100 K gibi) ile kolaylıkla üretilebileceğini söyleyebiliriz.

3.3.4 KIC 9649493 sisteminin ışık eğrileri

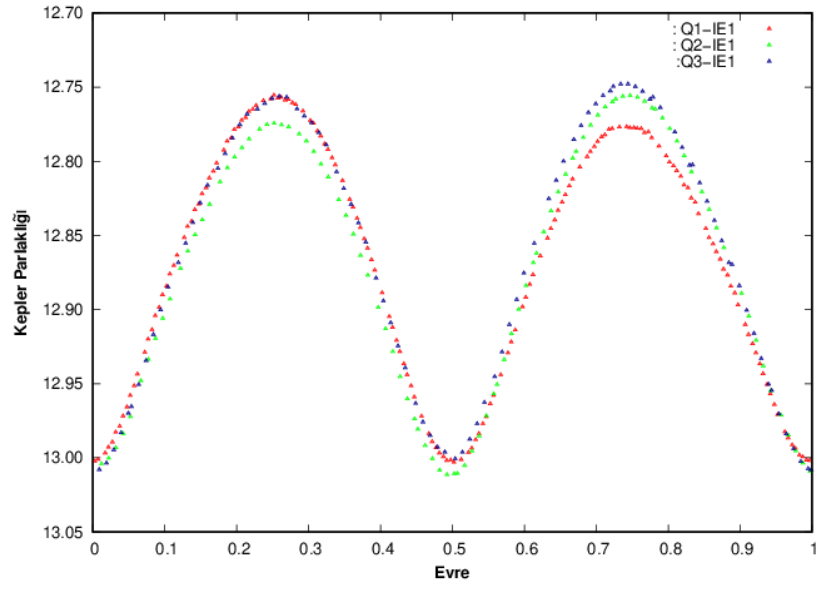
KIC 9649493 sisteminin, ışık eğrisinin (Şekil 3.14) evrelendirilmesi yapılırken literatürde verilmiş olan ışık elemanı kullanılmıştır (Prsa vd. 2011).

$$\text{BJD (Min. I)} = 2454953.797050 + 0.3715687 \times E$$

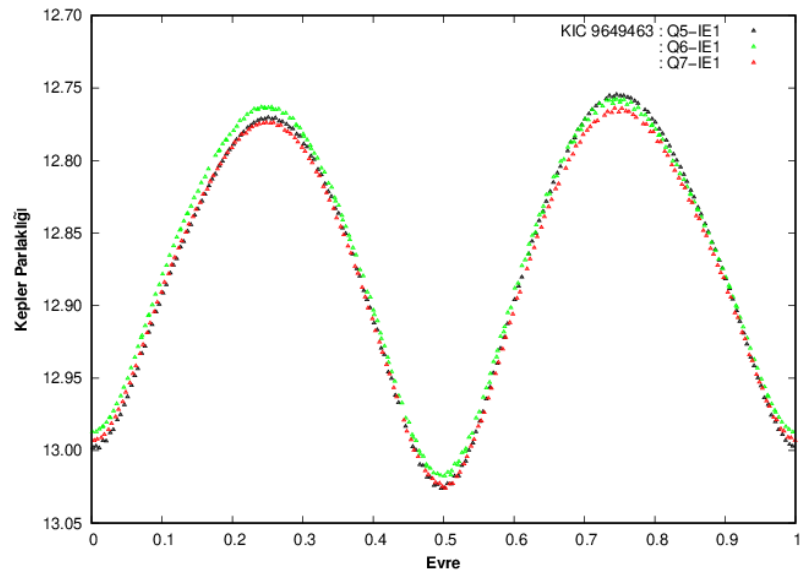


Şekil 3.14 KIC 9649493 sistemine ilişkin, Q0'dan Q17'ye kadar olan evrelendirilmiş ışık eğrisi değişimi

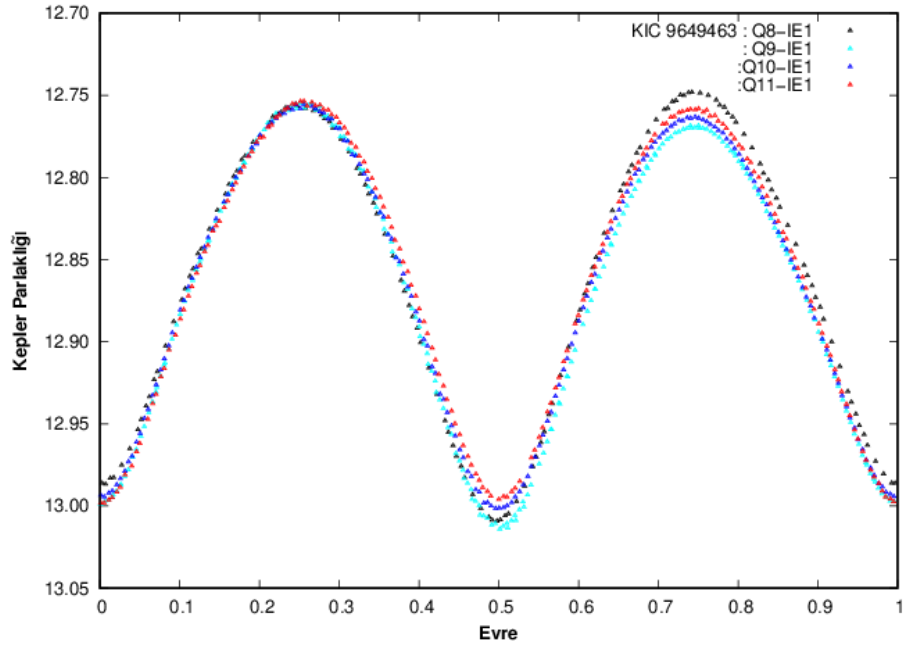
KIC 9649493 sisteminin, ayrıntılı fotometrik çalışmasında, Q0 ile Q17 arasında toplam 17 çeyreğin kendi içerisinde (her bir çeyreğin) gözlenen değişimlerinden 141 adet ışık eğrisi oluşturulmuştur. Sistemin her bir çeyrek içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (kısaca IE1) Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18'de verilmiştir.



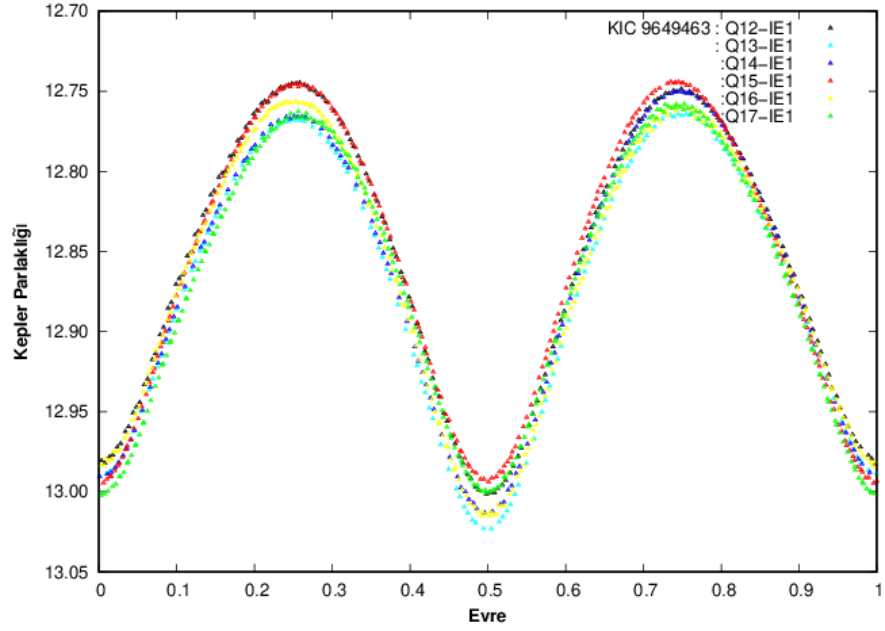
Şekil 3.15 KIC 9649493 sisteminin Q0, Q1, Q2, Q3 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)



Şekil 3.16 KIC 9649493 sisteminin Q5, Q6, Q7 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)

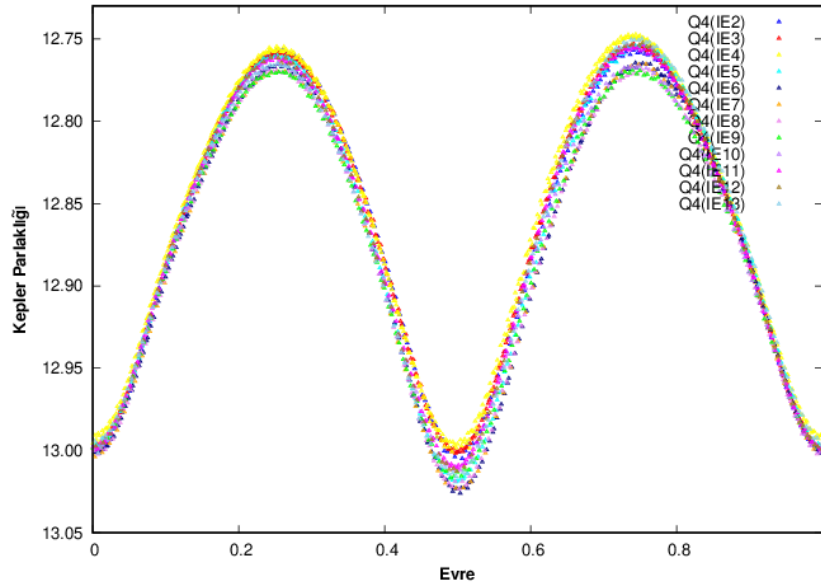


Şekil 3.17 KIC 9649493 sisteminin Q8, Q9, Q10, Q11 çeyrekleri oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)



Şekil 3.18 KIC 9649493 sisteminin sisteminin Q12, Q13, Q14, Q15, Q16, Q17 çeyrekleri içerisinde oluşturulan ilk ışık eğrileri (IE1)

Sistemin 4'üncü çeyreğinde oluşturulan 13 adet ışık eğrisi Şekil 3.19'da örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.19 KIC 9649493 sisteminin Q4'te oluşturulan 13 adet ışık eğrisi (IE)

KIC 9649493 sistemi için farklı çeyrekler için oluşturulan ışık eğrileri incelendiğinde O'Connell etkisinin varlığı ve zamanla maksimum seviyeleri arasında farkın yer değiştirebildiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 3.16, 3.17 ve 3.19'dan da görüldüğü gibi birinci maksimum seviyesinin görece olarak daha küçük değişimlere sahip olduğu zaman aralıkları bulunmaktadır. Aynı şekillerde birinci minimum seviyesi çok daha kararlı bir seviyede bulunuyorken, ikinci minimum derinliğinin çok daha değişken olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca neredeyse bütün gözlemlerde ikinci minimum seviyesinin, birinci minimumdan daha derin olduğu görülmektedir. Bu durum dikkate alındığında birinci ve ikinci minimumun seçiminin hatalı yapılmış olma ihtimalinin olduğunu söylemek mümkündür.

Birinci minimum zamanının hatalı olarak belirlenmiş olması durumunda sistemin q kütle oranının da hatalı olarak alınma ihtimali bulunmaktadır. Bu durum aslında Çizelge 4.2'de açık bir şekilde görülebilmektedir. Çizelgede aynı gözlem verilerinin kullanılmış olmasına karşılık $q=0.52, 1.5, 2.06$ ve 3.355 gibi birbirlerinden çok farklı değerlerin elde edilmiş olduğu açık bir şekilde görülmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında dikkate alınan üç adet W UMa türü örten değişen çift sistem için Çizelge 2.1, 2.2 ve 2.4'te verilmiş olan ışık eğrisi çözüm parametreleri ilginç bir çıkarımda bulunabilmemizi de sağlamaktadır. Örneğin incelenen her sistem için baş bileşen yıldızın sıcaklığı aynı olarak alınmış olmasına rağmen farklı yoldaş bileşen sıcaklığı, kütle oranı ve yörünge eğim açılarına ulaşılmıştır. En büyük farklılık ise yine Wilson-Devinney programı kullanılarak istatistiksel olarak en iyi çözüm parametre uzayı taraması gerçekleştirilerek elde edilen Phoebe çözümlerinde görülmektedir. Böylesine bir farklılığın temel nedeninin ışık eğrisi çözümünde otomatik olarak üçüncü ışık (I_3) etkisinin de dikkate alınmış olması olduğu anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında incelenen sistemler için her bir çeyrekte elde edilen ışık eğrileri dikkate alınarak birinci minimum ($\phi = 0.0, \Delta\phi = \pm 0.025$), ikinci minimum ($\phi = 0.5, \Delta\phi = \pm 0.025$), birinci maksimum ($\phi = 0.25, \Delta\phi = \pm 0.025$) ve ikinci maksimum ($\phi = 0.75, \Delta\phi = \pm 0.025$) evrelerine karşılık gelen parlaklık değerleri ölçülmüştür. Dört farklı evre için ölçülen parlaklık değerleri arasında oluşturulan parlaklık farkları, her bir ışık eğrisi için hesaplanan ortalama gözlem zamanları dikkate alınarak ayrıntılı olarak incelenmiştir.

3.4 Tayfsal gözlemler

Tez çalışmasında incelenen üç sistemin tayfsal gözlemleri yapılması amaçlanmış ancak sadece KIC7542091 sisteminin tayfsal gözlemleri gerçekleştirilebilmiştir. Diğer sistemler için gözlem zamanı alınamamıştır.

KIC 7542091 sisteminin tayfsal gözlemleri, Antalya'da yer alan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde bulunan 1.5 metre çaplı RTT150 teleskobu ve İtalya'daki Padova Üniversitesinin Astronomi Bölümüne bağlı Asiago Astrofizik Gözlemevi'nde yer alan 1.22 metre çaplı Galileo teleskobunda gerçekleştirilmiştir.

3.4.1 TUG gözlemleri ve verilerin indirgenmesi

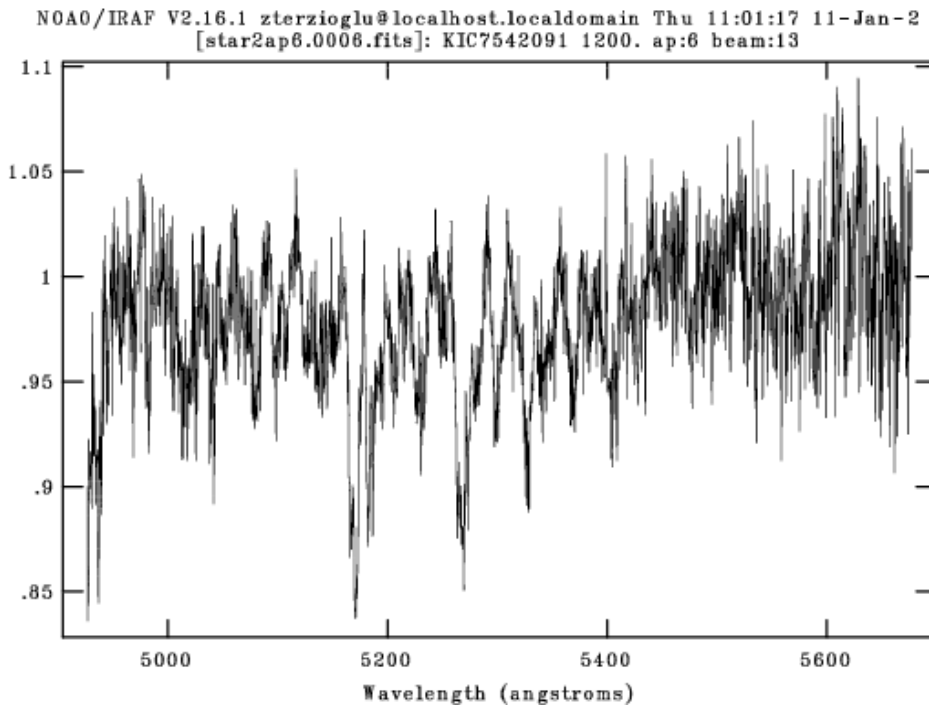
Tayfsal gözlemler, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'ne verilen ve 15BRTT150-856 nolu proje kapsamında 31 Temmuz 2019 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Gözlemler RTT150 teleskobuna bağlı TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera) tayf çekeri ve Andor CCD kamerası (Andor iKon-L 936 BEX2-DD-9ZQ) kullanılarak alınmıştır. CCD, 2048x2048 piksel ve 11.1' x 11.1' görüş alanına sahiptir. Tayfçekerin çözünürlüğü (R) slit için ~200, eşel için ~5000'dir. Tayfçeker ile 3300 Å ile 12000 Å dalgaboyu aralığında veri alınabilmektedir. Tayfsal gözlemler için 9 numaralı grism (optik ağ) kullanılmıştır. Bu grism 3350-9400 Å dalgaboyu aralığında 11 basamaktan oluşmakta ve tayfsal çözünürlüğü $R \sim 5000$ 'dir.

31 Temmuz 2019 tarihinde gerçekleştirilen tayfsal gözleminde sisteme ilişkin tek tayf alınabilmektedir. Bu tayf sistemin 0.6 evresine karşılık gelmektedir.

Tayfsal gözlemlerin indirgenmesi, LINUX işletim sisteminde çalışan IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) programı kullanılarak yapılmıştır. Tayfsal gözlemlerin indirgenmesinde *noao.imred.specred* paketinde bulunan alt programlar kullanılmıştır. IMLOT alt programı kullanılarak bias şeridi ve trim bölgeleri belirlenmiştir. Flat, kaynak ve lamba tayfları üzerinde overscan, trim ve zero düzeltmeleri uygulanmıştır. Ön indirgeme işlemleri CCDPROC alt programı kullanılarak yapılmıştır. Açıklıkların belirlenmesi için APALL alt programı kullanılmıştır. Daha sonra uygun referans tayflarına ilişkin açıklıklar dikkate alınarak öncelikle yıldız tayfları, ardından da kalibrasyon lamba tayfları, APALL alt programı kullanılarak elde edilmiştir.

ECHELLE paketinin içerisinde bulunan ve kalibrasyon lamba tayflarının tanımlama işlemi için ECIDENTIFY alt programı kullanılmıştır. Çizgi tanımlamasında TUG gözlemevinin veri tabanında bulunan TFOSC 9 numaralı grismi (optik ağ) için FeAr atlası kullanılmıştır.

REFSPECTRA alt programı yardımıyla çizgi tanımlamasının gerçekleştirildiği lamba tayfları, yıldız tayfları için referans tayf olarak atanmıştır. Ardından yıldız tayflarının dalgaboyu kalibrasyonu DISPCOR alt programı kullanılarak tamamlanmıştır. Dalgaboyu kalibrasyonu tamamlandıktan sonra gözlemsel verilerimize sırasıyla RVCORRECT programı ile HJD düzeltmesi ve DOPCOR alt programı ile Doppler düzeltmesi yapılmıştır. Ardından tayflarımız SPLOT alt programı ile süreklilik seviyesine normalize edilmiştir. Elde edilen normalize tayfa ilişkin S/G olan 42.12 değeri SPLOT programı kullanılarak ölçülmüştür. İndirgeme sonucunda elde edilen tayfın 6.basamağı örnek olarak Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20 KIC 7542091 sisteminin, TUG’dan elde edilen 6.basamağına karşılık gelen normalize tayfı

3.4.2 Asiago gözlemleri ve verilerin indirgenmesi

Gözlemler 9, 15 Ağustos ve 13 Eylül 2020 tarihlerinde 122 cm çaplı Galileo Teleskobuna bağlı Boller & Chivens (B&C) spektrografı ve Andor iDUS DU440A-BU2 (512 x 2048 piksel) CCD’si ile yapılmıştır.

Galileo teleskobun Cassegrain odağı $f/16$ ve ölçeği 10.78 yay-saniye/mm'dir. B&C tayfçekerini ile donatılmıştır. Spektrografın temel optik düzeneği, Cassegrain odak düzleminde yer alan, 12 yay-saniye'den fazla değişken açıklığa ve 5.0 yay-dakikası uzunluğa sahip uzun bir yarıktan oluşmaktadır. Tayfsal gözlemler için 1200 tr/mm ızgarası ve 20.2 ızgara açısı, 11.5 kolimatör pozisyonu ile uzun slit modunda 250 mikron slit açıklığı kullanılarak yapılmıştır. Gözlemlerin tayfsal çözünürlüğü 5468 Å dalgaboyunda $R=9000$ 'dir.

Asiago gözlemevinde yer alan 122 cm'lik Galileo teleskobunda; 9,15 Ağustos ve 13 Eylül 2020 tarihlerinde gerçekleştirilen tayfsal gözlemlere ilişkin bilgiler sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 09.08.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgileri

Kaynak	Gözlem Tarihi	Gözlem Zamanı (UT)	Poz süresi (s)	S/G
HD 193664	09.08.2020	19:24:56.2	300	126.80
HD 193664	09.08.2020	19:30:20.4	300	140.63
HD 193664	09.08.2020	19:35:43.6	300	148.58
HD 193664	09.08.2020	19:41:07.1	300	144.09
HD 193664	09.08.2020	19:46:30.3	300	192.83
KIC 7542091	09.08.2020	20:15:57.3	1500	82.46
KIC 7542091	09.08.2020	20:41:21.4	1500	83.24
KIC 7542091	09.08.2020	21:12:24.8	1500	71.31
KIC7542091	09.08.2020	21:37:49.3	1500	110.25
KIC 7542091	09.08.2020	22:03:12.5	1500	59.55
KIC 7542091	09.08.2020	22:28:35.8	1500	47.99

Çizelge 3.2 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 15.08.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgisi

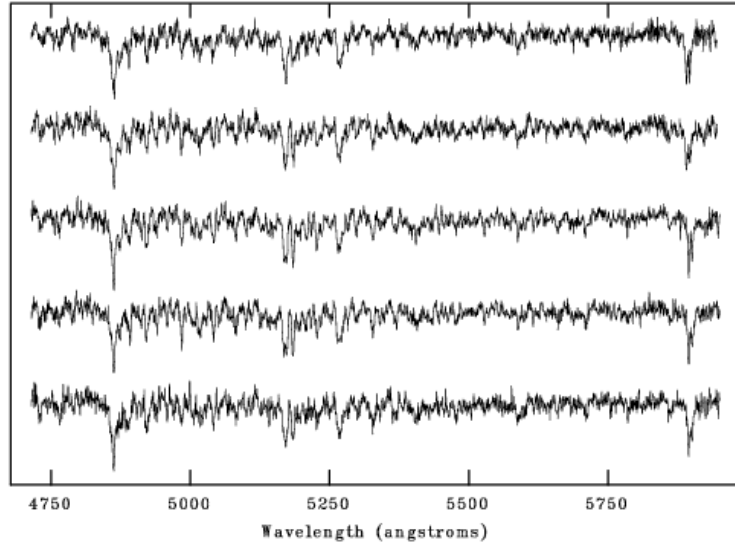
Kaynak	Gözlem Tarihi	Gözlem Zamanı (UT)	Poz süresi (s)	S/G
HD 193664	15.08.2020	18:39:60.0	200	110.65
HD 193664	15.08.2020	18:44:33.2	200	112.95
HD 193664	15.08.2020	18:48:26.1	200	148.03
HD 193664	15.08.2020	18:52:12.9	200	160.64
HD 193664	15.08.2020	18:55:57.9	200	169.70
HD 182488	15.08.2020	19:18:05.7	200	156.62
KIC 7542091	15.08.2020	19:29:18.6	1200	76.18
KIC 7542091	15.08.2020	19:49:41.8	1800	71.23
KIC 7542091	15.08.2020	20:20:06.1	1800	72.38
KIC 7542091	15.08.2020	20:50:29.6	1800	62.17
KIC 7542091	15.08.2020	21:20:56.7	1800	75.01
KIC 7542091	15.08.2020	21:51:19.9	1800	84.85

Çizelge 3.3 KIC 7542091 sisteminin, 122 cm'lik Galileo teleskobunda 13.09.2020 tarihinde alınan tayflara ilişkin gözlem bilgisi

Kaynak	Gözlem Tarihi	Gözlem Zamanı (UT)	Poz süresi (s)	S/G
KIC 7542091	13.09.2020	18:29:01.8	1800	105.57
KIC 7542091	13.09.2020	18:59:25.8	1800	97.47
KIC 7542091	13.09.2020	19:29:49.0	1800	136.43
KIC 7542091	13.09.2020	20:00:12.1	1800	137.91
KIC 7542091	13.09.2020	20:30:35.3	1800	119.49
KIC 7542091	13.09.2020	21:00:58.4	1800	75.75
HD 221354	13.09.2020	21:36:54.3	300	172.46
HD 221354	13.09.2020	21:42:20.0	300	187.74
HD 19373	13.09.2020	21:55:42.1	50	142.13
HD 19373	13.09.2020	21:58:02.7	50	173.58
KIC 7542091	13.09.2020	22:12:36.6	2200	89.11
KIC 7542091	13.09.2020	22:49:38.9	1800	74.12
KIC 7542091	13.09.2020	23:20:02.9	1800	63.50
KIC 7542091	13.09.2020	23:50:26.1	1800	80.60
KIC 7542091	13.09.2020	00:20:49.2	1800	71.00

Asiago verileri SLIT tayflarından oluşmaktadır. TUG verilerinin indirgeme işlemleriyle hemen hemen aynı olup sadece ECHELLE paketi yerine LONGSLIT paketi kullanılmıştır. LONGSLIT paketinin içerisinde bulunan ve kalibrasyon lamba tayflarının tanımlama işlemi için IDENTIFY alt programı kullanılmıştır. Çizgi tanımlamasında Asiago Gözlemevinin veri tabanında bulunan HeFeAr atlası dikkate alınmıştır. Asiago Gözlemevinde elde edilen tayfsal gözlemler 4714–5950 Å dalga boyu aralığını kapsamaktadır.

REFSPECTRA alt programı yardımıyla çizgi tanımlamasının gerçekleştirildiği lamba tayfları, yıldız tayfları için referans tayf olarak tanımlanmıştır. Ardından yıldız tayflarının dalgaboyu kalibrasyonu DISPCOR alt programı kullanılarak tamamlanmıştır. Dalgaboyu kalibrasyonu tamamlandıktan sonra gözlemsel verilerimize sırasıyla ONEDSPEC paketinde yer alan RVCORRECT ve DOPCOR alt programları kullanılarak Doppler düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Ardından tayflarımız SPLOT alt programı ile süreklilik seviyesine normalize edilmiştir. Elde edilen normalize tayflara ilişkin S/G değerleri SPLOT alt programı kullanılarak ölçülmüştür. İndirgeme sonucunda elde edilen bazı tayflara ilişkin örnekler Şekil 3.21’de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 KIC 7542091 sisteminin, Asiago Gözlemevin’den elde edilen normalize tayf örnekleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bazı örten değişen sistemlerin evrelendirilmiş ışık eğrilerinde maksimum parlaklık seviyeleri arasında belirgin şekilde seviye farklılıklarının bulunduğu bilinmektedir. Bu seviye farklılığının temel nedeni bileşen yıldızlardan biri veya ikisinin yüzey parlaklığı, yıldızın diğer tarafına göre daha sönük veya daha parlak olması nedeniyle ortaya çıkar. Bu olaya O'Connell etkisi adı verilmektedir ve esasen manyetik aktivite kaynaklı yıldız lekelerinin varlığı ile açıklanmaktadır (O'Connell 1951). Son yıllarda yüksek fotometrik hassasiyete sahip uydulardan gelen fotometrik veriler sayesinde, bu etkinin görüldüğü sistemlerin sayısı önemli düzeyde artmıştır.

Böylesine parlaklık değişimi gösteren sistemlerin ışık eğrisi analizlerinde karşılaşılan çeşitli problemler bulunur. Bunların başında lekenin sıcak mı yoksa soğuk bir leke olup olmadığıdır. Onun dışında lekenin hangi bileşen üzerinde bulunduğu olacaktır ki bu durumda leke+bileşen çifti için dört olasılık ortaya çıkar. Bunun dışında lekenin tek bütün bir lekeden mi yoksa çok sayıda küçük lekelerin bileşiminden oluşup oluşmadığı da bir başka bilinmeyen olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca bir başka önemli problem ise leke boyutu ile sıcaklık farkının birbiri ile korelasyon halinde bulunuyor olmasıdır. Yani soğuk, fakat büyük boyutlu bir leke yerine daha soğuk fakat küçük boyutlu bir lekenin aynı etkiyi gösterecek olmasıdır. Bununla birlikte lekenin yıldız yüzeyindeki boylamsal ve enlemsel konumu da önemli bir problemin nedeni olarak karşımıza çıkmaktadır. O'Connell etkisinin bulunduğu sistemlerin ışık eğrisi analizi veya teorik modelinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi oldukça zor bir problemdir ve genel olarak kabul edilen bir durum çok band ışık eğrilerinin eşzamanlı olarak analizi, lekenin özelliklerini belirtecek veya gösterecek ek delillerin ortaya konulması ile mümkündür.

Bununla birlikte analizi gerçekleştirilecek sistemlerin ışık eğrilerinde leke etkisinin bulunmadığı bir ışık eğrisinin bulunması durumunda çözümlerin çok daha kolay bir şekilde yapılması mümkündür. Leke etkisinin olmadığı varsayılan bir ışık eğrisinin elde edilmesi amacıyla zamana dağılmış gözlemsel verilerin karşılaştırmalı olarak analizlerine ihtiyaç duyulur.

Sistemlerin ışık eğrilerinin maksimumları arasındaki farkın en küçük olduğu yani minimum aktivitenin görüldüğü ışık eğrileri esas alınarak ilk (lekesiz) çözümler elde edilerek, iteratif çözüme geçilmiştir. Sistemlerin ışık eğrisi analizlerinde, öncelikli olarak yörünge eğimi (i) - kütle oranı (q) taraması yapılarak ışık eğrisini üretecek en iyi kütle oranı (q) değerleri elde edilmiştir. Elde edilen parametreler tüm ışık eğrilerin analizlerinde başlangıç parametreleri olarak dikkate alınmış ve ardından ışık eğrilerin analizi ve lekelerin modellenmesi aşamasına geçilmiştir. Sistemlerin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisini oluşturan leke kaynaklı değişimlerin modellenmesinde temel parametreler; leke veya lekelerin geometrisi ile konumu ve lekeye ilişkin ışımsal özelliklerdir. Bunlar aşağıda da belirtildiği gibi lekenin geometrisini belirleyen temel parametrelerdir.

Leke geometrisi ve konumu:

Enlem, boylam

Dairesel yapılı lekenin boyutu (açısal yarıçap)

Lekeye ilişkin ışımsal özellikler:

Leke sıcaklığı (T_s)

Leke kontrastı T_s/T_e (sıcaklık faktörü) belirleyen parametrelerdir.

Bu parametreler, ışık eğrisi çözümlerinden elde edilerek sistemlerde gözlenen lekelerin boylamı ve boyutlarının zamana göre değişimleri irdelenmiştir. Ayrıca ışık eğrilerinde görülen minimum ve maksimumların parlaklık farklarının zamana göre değişimleriyle, lekelerin zamana göre değişimleri arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılmış ve sonuçlar tartışılmıştır.

4.1 KIC 7542091 Sistemi

4.1.1 KIC 7542091 sisteminin tayf türü tanımlaması

Sistemin TUG ve Asiago Gözlemevlerinden elde edilmiş gözlemsel tayfları üzerinde tayf türü belirlemesi yapılmıştır. Bunun için IRAF programında bulunan “RV” paketi içinde yer alan FXCOR alt programı kullanılmıştır. Yöntemin temeli, gözlemsel tayfın, tayf türü bilinen standart yıldız tayfları ile karşılaştırılmasına ve en iyi uyumlu tayfın bulunmasına dayanmaktadır. Yöntemin uygulanışına yönelik bilgi Skinas Gözlemevi tarafından Üniversite öğrencilerine yönelik Astronomi Projeleri konusunda hazırlanmış olan 8 no’lu Projede verilmiştir. Yöntemin TUG-TFOSC tayfları üzerine uygulanması konusunda Gürol (2016) ve Gürol vd. (2016) çalışmalarına bakılabilir.

Tayf türü belirlenmesi işlemi için öncelikli olarak farklı tayf türünden ve farklı ışınım sınıfından standart yıldız kataloğuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Valdes vd. (2004) tarafından oluşturulmuş standart yıldız tayfları kullanılmıştır. Tayfsal kütüphane içerisinde toplam 1273 adet yıldız tayfı bulunmaktadır. Bunlardan yaklaşık 409 tanesi O ile M tayf türleri arasında anakol yıldızlarına aittir.

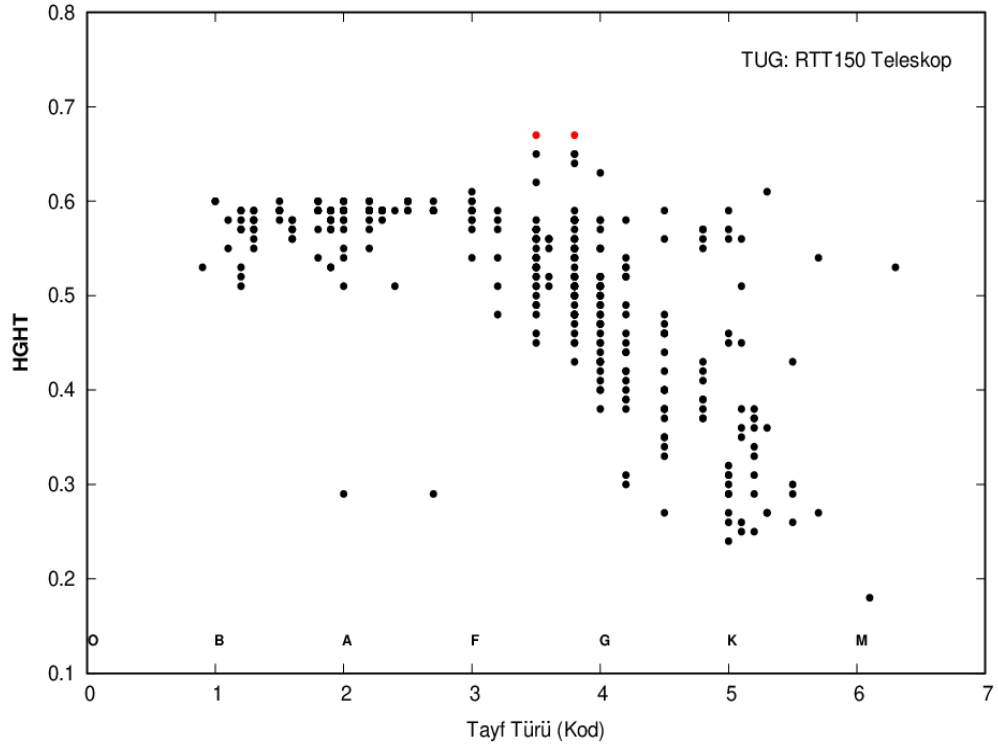
Sistemin tayf türünün belirlenmesinde aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

- i. IRAF FXCOR alt programı kullanılarak gözlemsel olarak elde edilen yıldız tayfımız, standart yıldız tayflarıyla CCF yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Alt programın ürettiği çıktı dosyası, karşılaştırmada kullanılan her bir yıldız tayfı ile gözlenen yıldız tayfı arasındaki uyumu gösterecek şekilde düzenlenmiştir.
- ii. Çıktı dosyası (crosscor.txt) içerisinde yıldız tayfı ile liste içindeki her bir tayfın CCP (çapraz karşılaştırma piki) sonucunu veren HGHT değerlerini içermektedir. En yüksek HGHT değerine sahip tayf, gözlenen tayfla en iyi uyumu sağlayan tayf olarak dikkate alınmıştır.

- iii. Karşılaştırma listesindeki yıldızların tayf türleri için tayf türü kodu oluşturulmuştur. Bu kod O tayf türü için $O = 0, B = 1, A = 2, \dots M = 6$ şeklinde dikkate alınmıştır.
- iv. Ardından listede yer alan standart yıldızların tayf türü kodu ile FXCOR alt programı ile elde edilen HGHT değerleri grafiğe aktarılmıştır. Bu grafikte HGHT dağılımının maksimum olduğu yere karşılık gelen tayf türü, sistemin tayf türü olarak kabul edilmiştir.

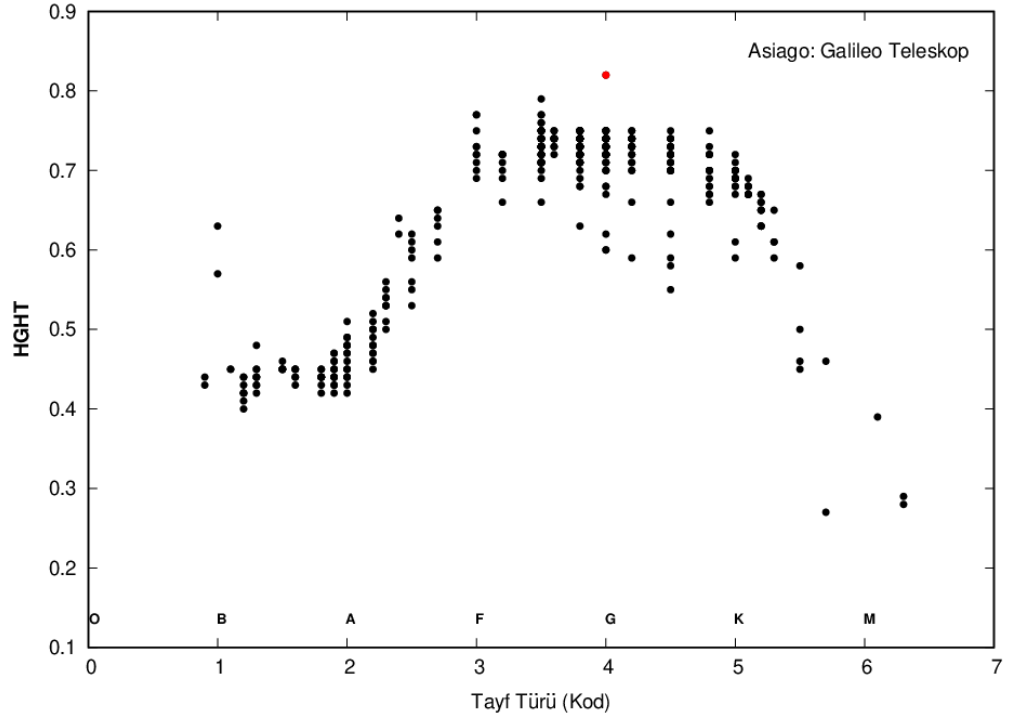
KIC 7542091 sisteminin TUG ve Asiago tayflarından tayf türü belirlemesi yukarıda verilen adımlar uygulanarak elde edilmiştir. Tayf türü kodlarına karşılık HGHT değerleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterildiği gibi 409 adet standart yıldız tayfının gözlenen tayf ile karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir.

KIC 7542091 sistemi için TUG’dan elde edilen tayfımızın evresi yaklaşık olarak 0.63’tür. Bu evrede ışınım gücü büyük olan baş bileşen, yoldaş bileşenin önünden geçmiş ve kısmen yoldaş bileşenin de katkısının olduğu bileşik tayftan oluşan bir durum söz konusudur. TUG-TFOOSC tayflarımız Eşel türü tayflar olduğundan yıldızların tayf türünü belirlemede en uygun çizgilerin bulunduğu dalgaboyu aralığı için 6. basamağa (order) ilişkin tayf bu amaçla kullanılmıştır, bu basamaktaki tayfımız 4500-5650 Å dalgaboyu aralığına karşılık gelmektedir. Şekil 4.1’de dikkate alınan farklı tayf türlerine (tayf türü kodu olarak) karşılık FXCOR alt programı ile elde edilen HGHT parametresinin dağılımı verilmiştir. Şekil 4.1’den en yüksek HGHT değerinin iki farklı tayf türüne karşılık geldiği görülmektedir. Her iki tayf türü için aynı $HGHT = 0.65$ değeri elde edilmiştir ve tayf türü kodu olarak 3.6 ve 3.8 değerlerine karşılık gelmektedir. Bu kodlara karşılık gelen tayf türleri sırasıyla F6V ve F8V olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.1 KIC 7542091'e ait TUG'dan alınan tayfın, 4714-5950 Å dalgaboyu aralığına karşılık gelen Tayf türü (Kod) – HGHT dağılımı verilmiştir. Kırmızı noktalar HGHT değerinin maksimum olduğu yeri temsil etmekte

KIC 7542091 sistemi aynı zamanda Asiago Gözlemevinde tayfsal gözlemleri alınmış olan sistemdir. Bu tayflar 4714-5950 Å aralığında olup, yaklaşık 0.5 evresine karşılık gelen tayf üzerinde tayf türü belirlenmesi yapılmıştır. FXCOR alt programı ile elde edilen HGHT değerleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Öncelikli olarak slit tayflarının karşılaştırılmasında daha yüksek HGHT değerlerine ulaşıldığı, dolayısıyla tayfsal uyumun daha iyi sağlandığını söyleyebiliriz. Şekilde en yüksek HGHT değerinin 0.8'in üzerinde olduğu görülmektedir. Bu değerinin 1.0 olması, uyumun %100 olduğu anlamına gelmektedir. Şekilden karşılık gelen tayf türü kodu 4 olarak belirlenmiştir. Bu koda karşılık gelen tayf türü ise G0V olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2 KIC 7542091'e ait Asiago'dan alınan tayfın, 4714-5950Å dalgaboyu aralığına karşılık gelen Tayf türü (Kod) – HGHT dağılımı verilmiştir. Kırmızı nokta HGHT değerinin maksimum olduğu yeri temsil etmekte

F6V, F8V ve G0V tayf türünden yıldızlar için farklı araştırmacılar tarafından verilen sıcaklık değerleri Çizelge 4.1' de belirtilmiştir. Birbirlerinden çok farklı olmayan bu sıcaklık değerlerinin ortalaması 6116 ± 114 K'dir. Sistemin literatürde çeşitli veritabanlarında yer alan tayf türü ve etkin sıcaklık bilgileri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 KIC 7542091 sisteminin, TUG ve Asiago tayflarından belirlenen tayf türüne karşılık gelen sıcaklık değerleri

Tayf	Pecaut vd. (2013)	Allen (Cox 2000)	Popper (1980)	Tayf Türü
Asiago	6050 K	5940 K	5916 K	G0V
TUG (1)	6250 K	-	6334 K	F6V
TUG (2)	6100 K	6250 K	6095 K	F8V

Çizelge 4.2 KIC7542091 sistemine ilişkin literatürde yer alan tayf türü ve sıcaklık bilgileri

Referans	T_e (K)	Tayf Türü
Kepler (2011)	5673	-
Lamost (Gray vd. 2016)	-	F9V
Lamost, Frasca (2016)	5854	G1V
Gaia DR2 (Tonry vd. 2018)	5702	-
Lamost (Zong vd. 2018)	5951, 5885	G0V, G2V
Lamost (Bai vd. 2018)	5772	G2V
Lamost (Zhang vd. 2019)	6034	-
Lamost (Zhang vd. 2023)	5892	G2V

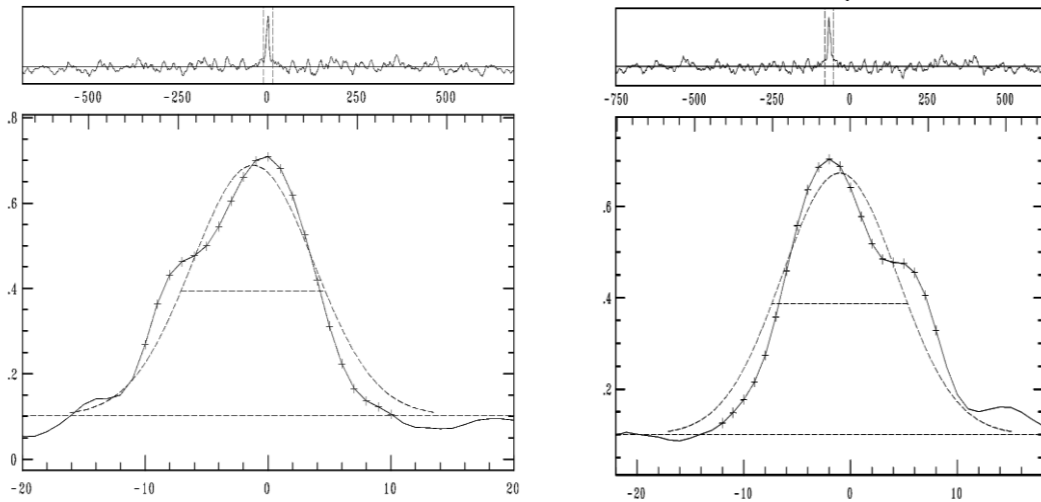
Sistemin hem bu çalışmada belirlenen hem de literatürde verilen tayf türü F9V ile G2V aralığında değişmektedir. Asiago tayfindan belirlenen G0V tayf türüne karşılık gelen etkin sıcaklık değeri Çizelge 4.1'den 5968 ± 58 K olarak belirlenmiştir. Bu sıcaklık değeri Çizelge 2.1'de verilen yoldaş bileşenin sıcaklık değeri ile hemen hemen aynı değere sahiptir.

Daha önce belirtildiği üzere özellikle W UMa türü sistemlerde hangi yıldızın baş bileşen, hangisinin yoldaş bileşen olduğun belirlenmesinde çeşitli problemler bulunmaktadır. Genel olarak bu tanımlama birinci minimumda örtülen bileşenin baş bileşen olduğu kabulüyle yapılmaktadır. Fakat minimum derinlikleri değişim gösteren sistemler için bu tanımlamada hataların olacağı açıktır. Temel problem, birbirlerine yakın kütle ve ısıtım güçlerine sahip bileşenlerin, ortak bir zarf içerisinde bulunuyor olmalarıdır. Bileşen yıldızların kütleleri dikkate alınarak bir tanımlama yapıldığında ise kütlesi büyük fakat ısıtım gücü düşük olan veya kütlesi küçük fakat ısıtım gücü yüksek olan durumlar ile karşılaşmaktadır. Astrometrik olarak tanımlama yapılması durumunda büyük kütleye sahip olan bileşenin baş bileşen olarak dikkate alınması daha doğru bir seçim olacağını söyleyebiliriz.

Bu çalışmada KIC 7542091 sistemi için baş bileşenin sıcaklığı 5968 ± 58 K olarak alınmış ve ışık eğrisi çözümleri buna göre gerçekleştirilmiştir.

4.1.2 KIC 7542091 sisteminin dikine hız ölçümü

Sistemin dikine hız değerlerinin elde edilmesinde, IRAF programı için mevcut olan *guiapps* paketindeki *fxcor* alt programı kullanılmıştır. Dikine hız ölçümleri Çapraz Korelasyon Yöntemi (CCF) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çapraz Korelasyon Fonksiyonu (CCF) Yöntemi ile yapılan fitlerde *fxcor*'un deblendig fonksiyonu kullanılmıştır. Yöntemde gözlenen kaynağın tayfı ile gözlenen hız standardının tayfı karşılaştırılarak, dalgaboyu veya hız olarak tayfların ne kadar kaymış olduğu tespit edilir. Şekil 4.3'te KIC 7542091 sistemi için 0.25 ve 0.75 evrelerine karşılık gelen örnek CCF grafikleri verilmiştir. Şekilde yüksek pik baş bileşene, solunda ve sağında görülen pikler ise yoldaş bileşene aittir. Sistemin farklı evrelerinde alınmış tayfsal gözlemler için benzer yöntemle çözümler yapıldığında yoldaş bileşenin pikinin, ana pike yaklaştığı ve sonrasında diğer tarafa geçtiği görülebilir.



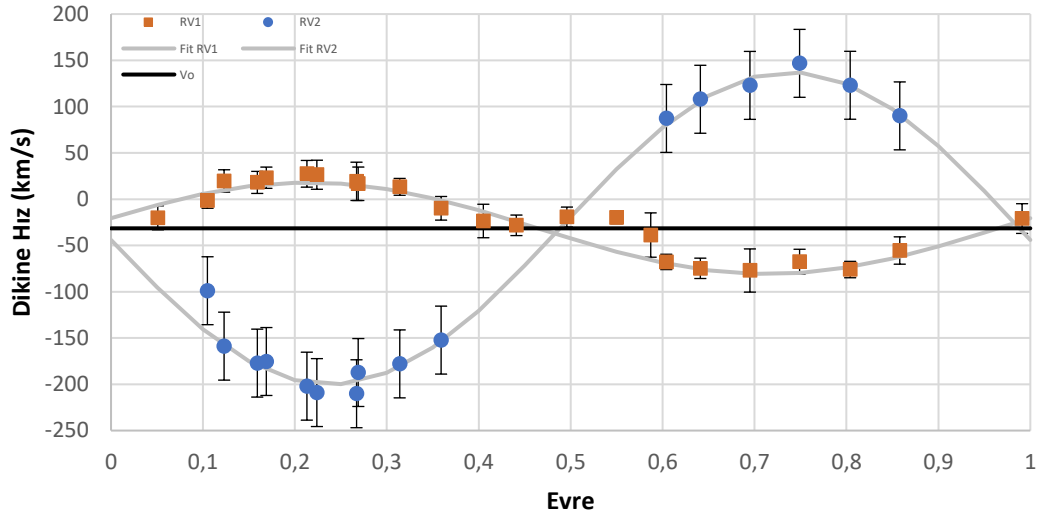
Şekil 4.3 Fxcor ile dikine hız ölçümleri gerçekleştirilirken her iki bileşenin görülebildiği 0.25 (solda) ve 0.75 (sağda) evrelerine karşılık gelen evrelerine karşılık gelen çapraz korelasyon grafiği

Sistemin dikine hız eğrilerinin evrelendirilmesinde Prsa (2011) tarafından verilen ışık elemanları kullanılmıştır. CCF yöntemi kullanılarak elde edilen baş, yoldaş bileşene ait dikine hız değerleri, hataları (σ) ve S/G değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 KIC7542091 sisteminin bileşenlerinin CCF yöntemi kullanılarak elde edilen dikine hız değerleri

HJD -2400000	Evre	RV₁	$\pm \sigma$	RV₂	$\pm \sigma$	S/G
59071.34709	0.123	19.71	12.07	-158.77	40.27	82.46
59071.36473	0.169	23.20	11.50	-175.38	36.94	83.24
59071.38629	0.224	26.41	15.70	-208.97	34.07	71.31
59071.40394	0.269	16.66	18.10	-187.29	38.16	110.25
59071.42157	0.314	13.33	9.10	-177.99	44.00	59.55
59071.43920	0.359	-9.84	12.75	-152.22	36.70	47.99
59077.31466	0.405	-23.57	18.11	-	-	76.18
59077.32882	0.441	-28.23	11.12	-	-	71.23
59077.34993	0.496	-19.30	10.80	-	-	72.38
59077.37103	0.550	-19.70	6.75	-	-	62.17
59077.39218	0.604	-67.78	8.30	87	21.43	75.01
59106.27226	0.587	-38.76	23.93	-	-	84.85
59106.29337	0.641	-74.72	11.01	107.97	31.28	105.57
59106.31448	0.695	-77.07	9.41	122.95	24.12	97.47
59106.33558	0.749	-67.49	13.40	146.77	22.75	136.43
59106.35668	0.804	-76.04	8.86	123.08	43.08	137.91
59106.37778	0.858	-55.46	14.75	89.97	45.26	119.49
59106.42752	0.991	-20.94	16.05	-	-	75.75
59106.45324	0.051	-20.16	12.96	-	-	89.11
59106.47435	0.105	-1.49	8.30	-98.92	23.70	74.12
59106.49546	0.159	18.12	11.93	-177.08	29.57	63.50
59106.51656	0.213	27.45	14.40	-202.00	40.35	80.60
59106.53766	0.267	19.30	20.69	-210.24	51.72	71.00

Sistemin dikine hız eğrisinin ilk modellenmesinde Wilsing-Russell yöntemi (Wilsing 1893, Russell 1902) kullanılmıştır ve gözlemsel veriler ağırlıklandırılarak en iyi fark kare toplamını verecek şekilde çözülmüştür (Şekil 4.4). Çözüm sonucunda elde edilen parametreler Çizelge 4.4'te verilmiştir. Bu sistemin dikine hız modellemesinde elde edilen kütle oranı $q = 3.417$ (W- alt türü bir örten sistem) sabit tutularak sistemin ışık eğrisi çözümü yapılmıştır.



Şekil 4.4 KIC 7542091 sisteminin dikine hız eğrisinin Wilsing-Russell yöntemi kullanılarak modellenmesi

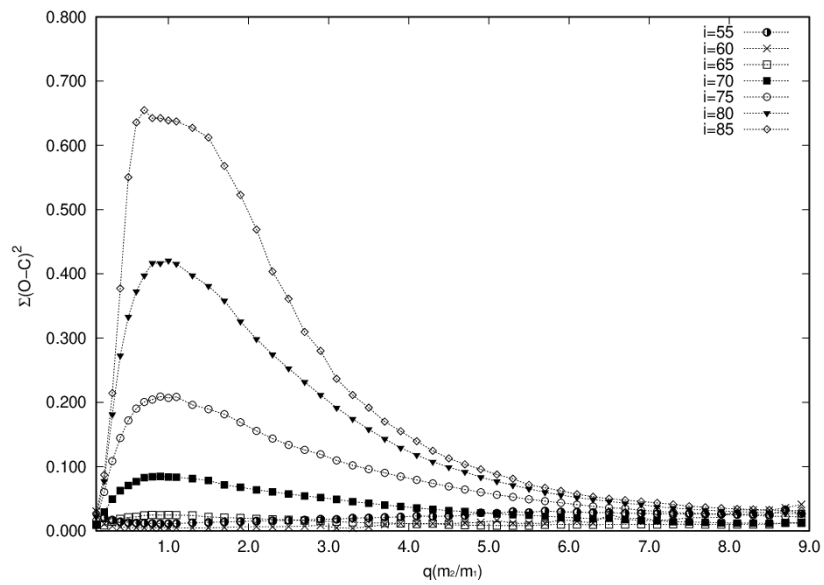
Çizelge 4.4 Sistemin dikine hız eğrisinin modellenmesinde Wilsing-Russell yöntemi ile elde edilen parametre ve değerleri

Parametre	Değer
$V_{\gamma}(\text{km/s})$	-31.5
$K_1(\text{km/s})$	49.402
$K_2(\text{km/s})$	168.787
$a_1 \text{Sini}(R_{\odot})$	0.381
$a_2 \text{Sini}(R_{\odot})$	1.302
$M_1 \text{Sin}^3 i(M_{\odot})$	0.325
$M_2 \text{Sin}^3 i(M_{\odot})$	0.095
$q(m_2/m_1)$	3.417

4.1.3 KIC 7542091 sisteminin ışık eğrisi analizi

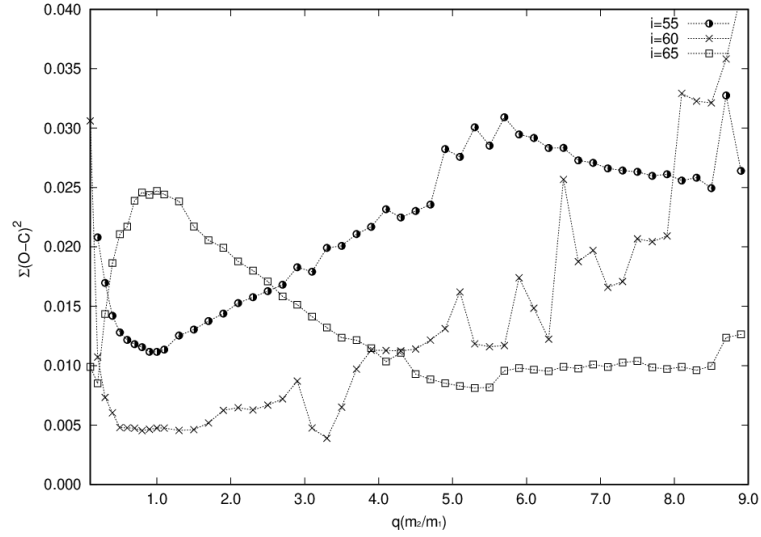
Sistemin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisini leke ile modelleyebilmek için öncelikle sisteme ait başlangıç parametreleri elde edilmiştir. Bunun için leke etkisinin minimum olduğu ışık eğrisi dikkate alınarak farklı yörünge eğim açıları ve $0.1 < q < 9.0$ kütle oranı aralığında i - q taraması WD programında gerçekleştirilmiştir. Her iki bileşenin konvektif zarfa sahip olduğu kabul edilerek ($T < 7200$ K), kenar kararma katsayıları Van Hamme (1993)'den alınmıştır. Çekim kararma katsayıları $g_{1,2} = 0.32$ (Lucy 1967) ve bolometrik albedo katsayıları $A_{1,2} = 0.5$ (Rucinski 1969) olarak alınmıştır. WD programında sistemin doğasına uygun olan ve değen çift yıldızlar için düzenlenmiş olan "Mod 3" kullanılmıştır. Bu mod için serbest bırakılan parametreler; yörünge eğimi açısı (i), yoldaş bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), baş bileşenin yüzey potansiyeli ($\Omega_1 = \Omega_2$), baş bileşenin görelî ışıınım gücü (L_1). Sabit tutulan parametreler ise baş bileşenin etkin sıcaklığı (T_1), $x_{1,2}$, $g_{1,2}$, $A_{1,2}$ dir.

Sistemin i değeri için 55° ile 85° arasında 5° 'er derecelik adımlarla, 0.1 ile 9.0 aralığındaki q değeri için i - q taraması gerçekleştirilerek en küçük fark kare toplamına ($\sum(O-C)^2$) ulaşmaya çalışılmıştır (Şekil 4.5).

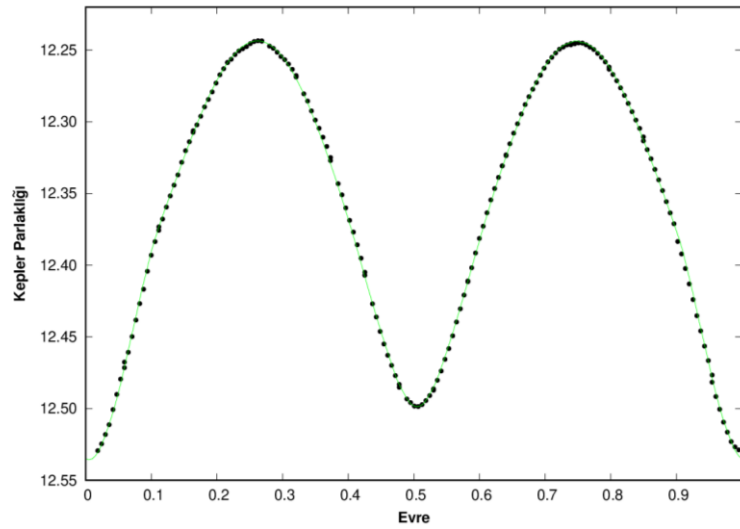


Şekil 4.5 Farklı i değerlerine karşılık gelen, q ile $\sum(O-C)^2$ değişimi

Şekil 4.6’da ayrıntılı olarak görüldüğü gibi sistemin kütle oranı $q = 3.3$ ve yörünge eğim açısı $i = 60^\circ$ olarak elde edilmiştir. Bu durum dikine hız eğrisinden elde edilen tayfsal kütle oranı ile i - q taraması sonucu elde edilen kütle oranının uyumlu olduğunu göstermiştir. Leke aktivitesinin minimum olduğu ışık eğrisinin, i - q taramasından elde edilen parametreler ile oluşturulan teorik fiti Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6 Yörünge eğim açıları 55° , 60° ve 65° değerlerine karşılık gelen, i - q taraması ile elde edilen $\Sigma(O-C)^2$ değişimi



Şekil 4.7 KIC 7542091 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışık eğrileri

Işık eğrisi analizinde, ışık eğrisi ile birlikte dikine hız eğrisi eş zamanlı çözülmüştür. Dikine hız eğrisi modellemesinden elde edilen tayfsal kütle oranı (q), yarı-büyük eksen uzunluğu (a), V_γ değerleri ile birlikte i - q taramasındaki en küçük fark kare toplamına karşılık gelen i , T_2 , Ω_1 , L_1 değerleri Wilson-Devinney programında başlangıç parametreleri olarak alınmıştır. Bu parametrelerden a ve q değerleri sabit tutulup, (i , T_2 , Ω_1 , L_1) parametreleri serbest bırakılarak yapılan analiz sonucunda sistemin mutlak parametreleri bulunmuştur. Analiz sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. KIC 7542091'in ışık ve dikine hız eğrisinin eşzamanlı çözümlerinden elde edilen parametreler

Parametreler	Değer	$\pm \sigma$
$a (R_\odot)$	1.918*	0.012
V_γ (km/s)	-31.5*	1.12
i (°)	62.72	0.28
T_1 (K)	5968*	-
T_2 (K)	5770	15
$q(m_2/m_1)$	3.417*	-
$A_1 = A_2$	0.5*	-
$g_1 = g_2$	0.32*	-
$x_1(\text{bolo})$	0.133*	-
$x_2(\text{bolo})$	0.180*	-
$y_1(\text{bolo})$	0.646*	-
$y_2(\text{bolo})$	0.180*	-
$\Omega_1 = \Omega_2$	6.9797	0.0033
f (%)	13.40	-
l_1/l_T	0.27705	0.00135
l_2/l_T	0.72295	-
$r_1(\text{kutup})$	0.27152	0.00021
$r_1(\text{kenar})$	0.28447	0.00025
$r_1(\text{arka})$	0.32793	0.00048
$r_2(\text{kutup})$	0.46920	0.00019
$r_2(\text{kenar})$	0.50799	0.00027
$r_2(\text{arka})$	0.53696	0.00034
$\Sigma(O-C)^2 = 2.04096E-06$		

* sabit tutulan parametre

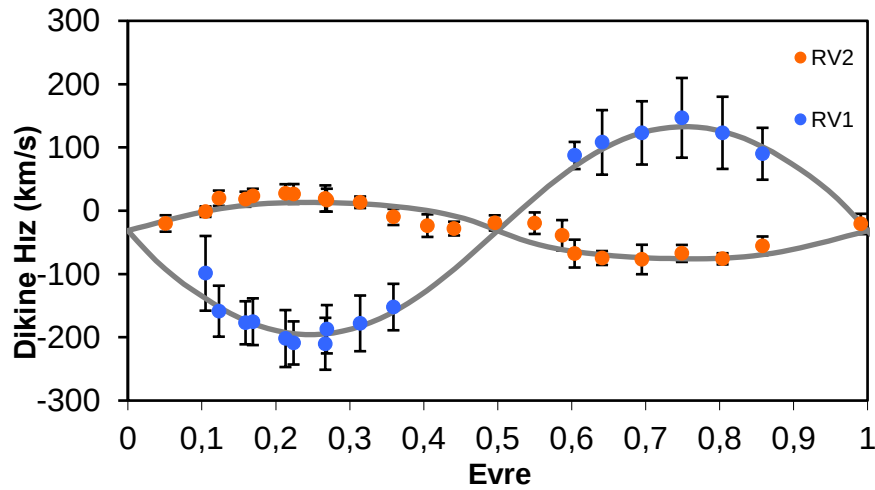
Sistemin gözlemsel ve teorik dikine hız eğrisi Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Dikine hız eğrisi çözümünden sistemin 3.417 kütle oranına sahip W türü bir W UMa olduğu ortaya çıkmıştır. Literatürde verilen fiziksel ve geometrik parametrelerin karşılaştırılması

Çizelge 4.6’da verilmiştir. Sistem bu çalışmada ve literatürde W-türü olarak belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada belirlenen tayfsal kütle oranı değeri ile literatürde verilen fotometrik kütle oranlarının farklı olduğu görülmektedir. Kobulnicky vd. (2022) sistemin yakın bileşen nedeniyle üçüncü ışık etkisini dikkate alarak çözüm yapmıştır. Bu çalışmada yakın bileşenin katkısının çok küçük olduğu dikkate alınarak ihmal edilmiştir.

Çizelge 4.6 KIC 7542091 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreler

Analiz Yöntemi	Veri Türü	q	i(°)	T ₁ (K)	T ₂ (K)	l ₃	Kaynak
Phoebe	Kepler (Q0-Q1)	0.74 (1/q=1.35)	74.05	5673	5942	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	Kepler (Q0-Q2)	0.865 (1/q=1.16)	50.01	5673	5962	-	Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	Kepler	0.92 (1/q=1.09)	60.19	5673	5827	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	Kepler	2.67	65.4	5673	5508	0.24	Kobulnicky vd. (2022)
Wilson-Devinney (2015)	Kepler	3.417*	62.72	5968	5770	-	Bu çalışma

* Dikine hızdan hesaplanan



Şekil 4.8 KIC7542091’in gözlemsel ve teorik dikine hız eğrisi

Üçüncü Kepler yasası dikkate alındığında, $a^3/P^2 = G(M_1 + M_2)/4\pi^2$, sistemin toplam kütlesi $(M_1 + M_2) = (0.62 \pm 0.05)M_{\odot}$ olarak bulunacaktır.

Bileşen yıldızların ortalama kesirsel yarıçapları,

$$r_{1,2 \text{ ortalama}} = (r_{1,2 \text{ kutup}} \cdot r_{1,2 \text{ kenar}} \cdot r_{1,2 \text{ arka}})^{1/3} \quad (4.1)$$

ile ifade edilir. Buradan hareketle bileşen yıldızların yarıçapları (Kopal 1959),

$$R_{1,2} = a \cdot r_{1,2} \quad (4.2)$$

denklemleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Ayrıca bileşen yıldızların mutlak bolometrik parlaklıkları (M_{bol}) (Wesselink 1969), Stefan -Boltzmann yasasından ışıma güçleri (L), ortalama yoğunlukları ($\rho_{1,2}$) ve yüzey çekim ivmeleri $\log(g_{1,2})$ aşağıdaki denklemler kullanılarak bulunabilir (Mochnacki 1981). Güneşin sıcaklığı $T_{\odot} = 5772 \text{ K}$ olarak alınmıştır.

$$M_{bol1,2} = 4.75 - 5 \log(R_{1,2}/R_{\odot}) - 10 \log T_{1,2}/T_{\odot} \quad (4.3)$$

$$L_{1,2} = (R_{1,2}/R_{\odot})^2 (T_{1,2}/T_{\odot})^4 \quad (4.4)$$

$$\rho_1 = \frac{0.0189}{r_1^3 p^2 (1+q)} \quad \text{ve} \quad \rho_2 = \frac{0.0189 q}{r_2^3 p^2 (1+q)} \quad (4.5)$$

$$\log(g_{1,2}) = 4.438 + \log(M_{1,2}/M_{\odot}) - 2 \log(R_{1,2}/R_{\odot}) \quad (4.6)$$

Bileşenlerin mutlak parlaklıkları $M_V = M_{bol} - BC$ formülü kullanılarak, sırasıyla $M_{V1} = 6.035 \pm 0.093$, $M_{V2} = 5.026 \pm 0.059$ olarak elde edilmiştir. $BC = -0.178$ değeri bileşen yıldızın sıcaklığı dikkate alınarak Cox vd. (2000)'den alınmıştır. Bu bilgiler ışığında, sistemin uzaklığı,

$$d(pc) = 10^{[(V_{1,2} - A_V - M_V + 5)/5]} \quad (4.7)$$

ifadesinde bileşen yıldızların görünür ($V_{1,2}$) ve mutlak (M_V) parlaklıkları, yıldızlararası ortamın soğurma miktarı (A_V) olarak gösterilmiştir. Sistem için literatürde verilen $E(B-V)$ değerleri dikkate alınarak yıldızlararası ortamın soğurma miktarı hesaplanmış ve sistemin uzaklığı Denklem 4.7'den yararlanarak bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7 KIC 7542091 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktarı

E(B-V)	$A_v=3.2E(B-V)$	Kaynak	Hesaplanan Uzaklık d(pc)
0.101	0.323	Slawson vd. (2011)	447 ± 5.3
0.237	0.758	Jayasinghe vd. (2018)	366 ± 4.3
0.057	0.182	Montalto vd. (2021)	477 ± 5.6
-	0.651	NASA/IPAC ³	385 ± 4.6
-	-	Gaia DR3	488 ± 5.1

Montalto vd. (2021) tarafından verilen E(B-V) değeri dikkate alındığında sistemin uzaklığı Gaia DR3 (Gaia Collaboration, 2022) veritabanında verilen uzaklık ile hata sınırları içerisinde aynı olduğu görülmektedir.

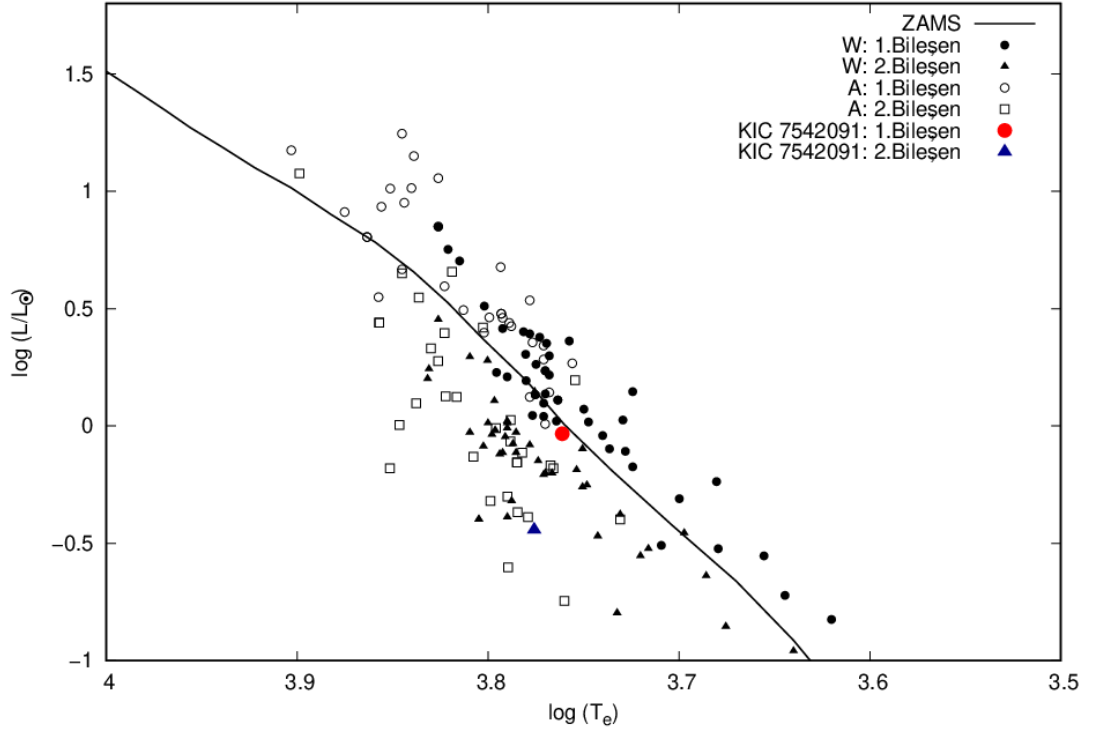
Sistemin mutlak parametreleri; dikine hız ve ışık eğrisinin eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler ile yukarıda verilen denklemlerden hesaplanarak Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8 KIC 7542091 sisteminin mutlak parametreleri

Parametreler	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ($M_{\odot}$)	0.14 ± 0.05	0.48 ± 0.05
Yarıçap ($R_{\odot}$)	0.56 ± 0.01	0.97 ± 0.03
Işınım gücü ($L_{\odot}$)	0.36 ± 0.03	0.93 ± 0.05
M_{bol}	5.91 ± 0.09	4.86 ± 0.07
$\log g$ (cgs)	4.08 ± 0.04	4.150 ± 0.04
a ($R_{\odot}$)	1.918 ± 0.012	

³ <https://ned.ipac.caltech.edu/>

Sistemin etkin sıcaklığı (T_e) ve ışıyım gücü ($L/L_\odot$) değerleri, W UMa türü sistemler için oluşturulan $\log(T_e) - \log(L/L_\odot)$ diyagramı üzerinde Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekilde W UMa türü sistemlere ilişkin etkin sıcaklık ve ışıyım gücü verileri Yakut ve Eggleton (2005) 'dan, ZAMS sınırları ise Güneş kimyasal bolluğu kabulüyle Girardi vd. (2000) çalışmasından alınmıştır. Şekil 4.9'da etkin sıcaklık-ışıyım gücü diyagramında, A-türü sistemler için baş bileşenler içi boş daire, yoldaş bileşenler ise içi boş kare sembolü ile gösterilirken, W-türü sistemler için baş bileşenler içi dolu daire, yoldaş bileşenler içi dolu üçgen sembolü ile temsil edilmiştir. KIC 7542091 sisteminin baş bileşeni kırmızı nokta, yoldaş bileşeni ise mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir.



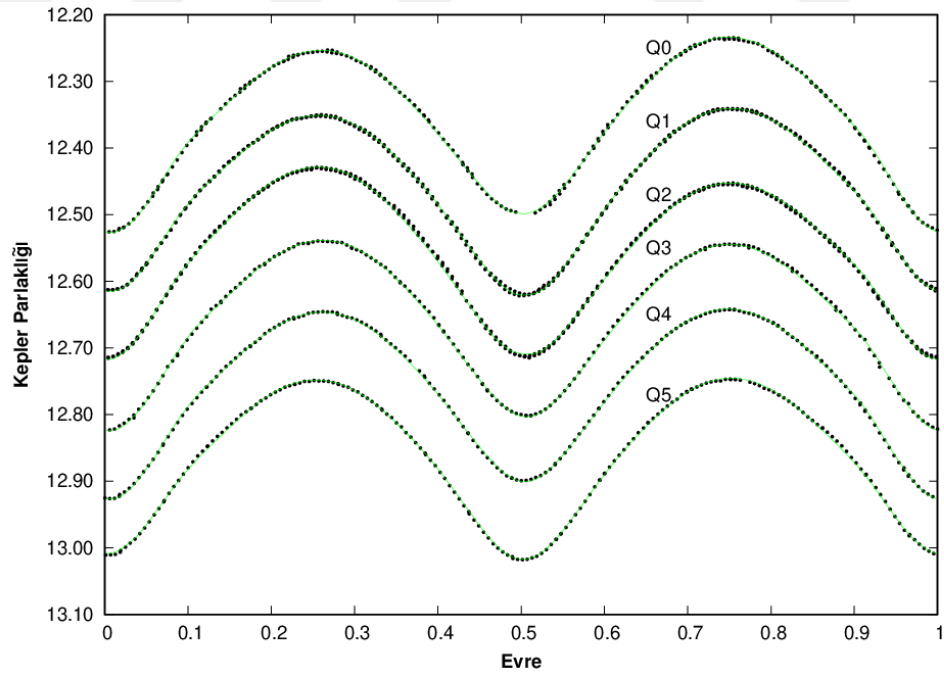
Şekil 4.9 KIC7542091 sistemine ait bileşenlerin $\log T_e - \log(L/L_\odot)$ diyagramında konumu. W ve A türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş (birinci) bileşeni kırmızı nokta ve yoldaş (ikinci) bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir.

Şekil 4.9'dan görüleceği üzere KIC 7542091 sisteminin baş bileşeni ZAMS'a yakın, diğer bileşeni ise ZAMS'ın altında bir konumda bulunmaktadır. Her iki bileşenin de W-türü sistemlerin bileşenleri ile uyumlu konumlarda olduğu görülmektedir.

4.1.4 KIC 7542091 sisteminin leke modellemesi

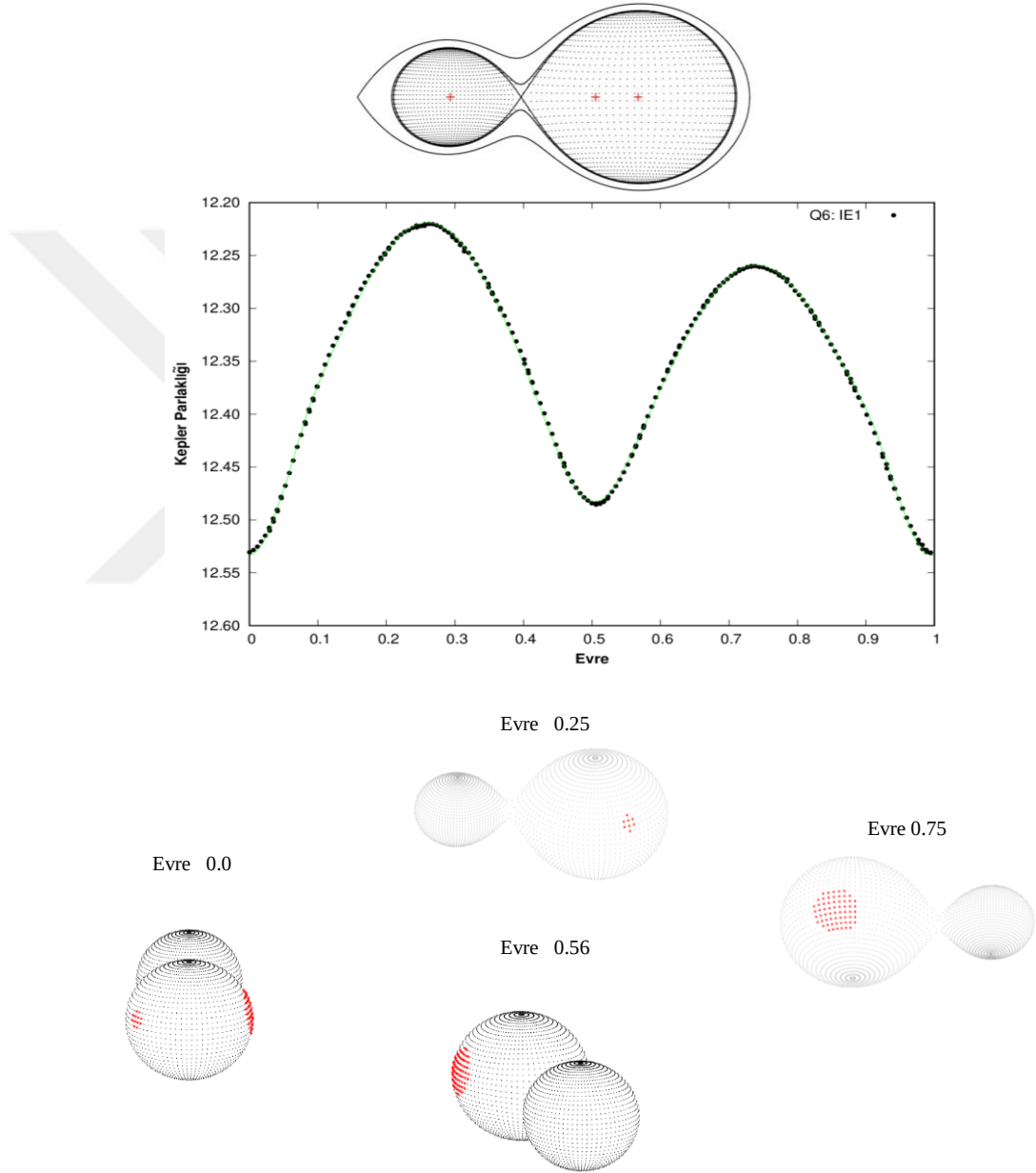
Bu çalışmada incelenen tüm sistemler için leke sıcaklık faktörü ile leke enleminin sabit olduğu varsayılarak, ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisi ile leke boylamı ve leke açısıl yarıçapı ilişkisi araştırılmıştır. Lekelere ilişkin bu parametrelerin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisini en iyi temsil edecek şekilde modellemesi öncelikli olarak gerçekleştirilmiş ve ardından leke modellerine ilişkin parametrelerin değişimine bakılmıştır.

KIC 7542091 sistemi için Q0-Q17 dönemini kapsayan 170 adet ışık eğrisi üzerinde çalışılmıştır. Sistemin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisi, yoldaş bileşenin 72° ve 81° enlemlerine yerleştirilen ve sıcaklık faktörü 0.88 (sıcaklık faktörü < 1 ise soğuk) olarak elde edilen iki ayrı soğuk lekeyle en küçük fark kare değeri dikkate alınarak modellenmiştir. Şekil 4.10'da leke modellemesi gerçekleştirilmiş 6 farklı ışık eğrisi gösterilmiştir.

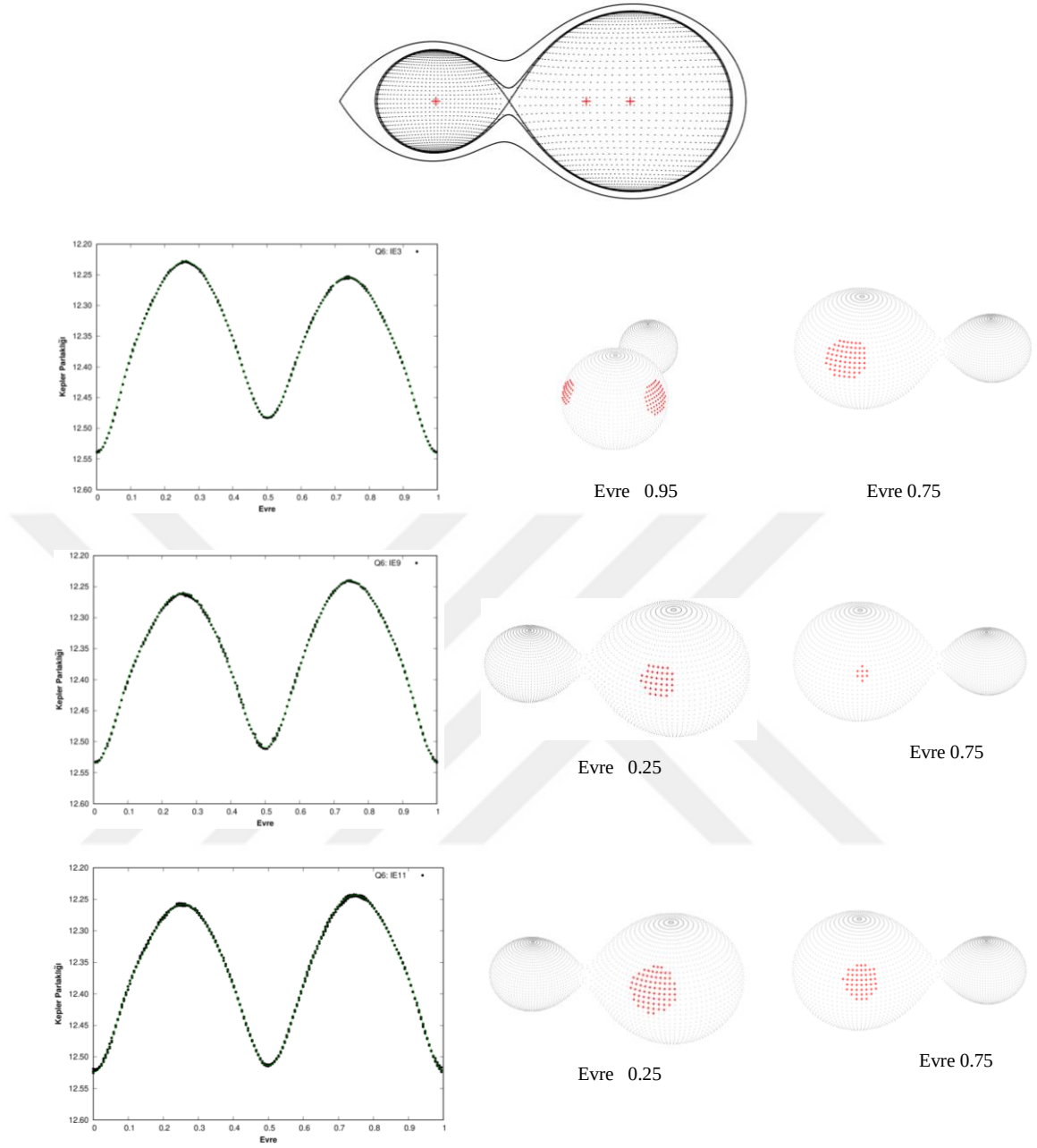


Şekil 4.10 KIC 754209 sistemin, O'Connell etkisi görülen ışık eğrilerinde leke modellemesi yapılmış teorik ve gözlemsel ışık eğrisi örnekleri (gözlem siyah nokta ile teorik fit yeşil çizgi ile gösterilmiştir).

O'Connell etkisi görülen Q6'daki ışık eğrilerinden, Şekil 4.11'de IE1'e ait, Şekil 4.12'de ise IE3, IE9 ve IE11'e ait gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş iki soğuk yıldız lekesini gösteren Roche geometrisi sırasıyla ile gösterilmiştir. Işık eğrileri üzerinde gerçekleştirilen leke modellemesi sonucunda belirlenen, lekelerle ilişkin boylam ve açısız yarıçap sonuçları EK-1'de verilmiştir.

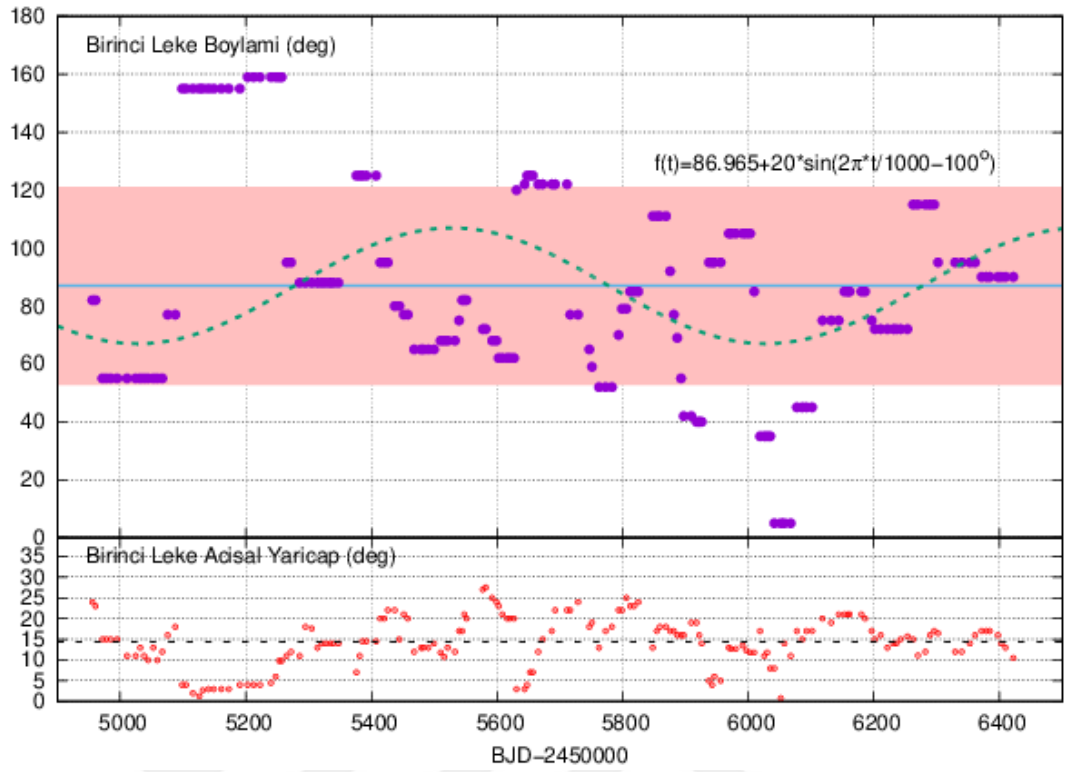


Şekil 4.11 KIC 7542091'in Q6 'daki IE1'in gözlemsel ve teorik ışık eğrisi (üst panel) ile yoldaş bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş iki soğuk yıldız lekesini gösteren Roche geometrisi (alt panel)



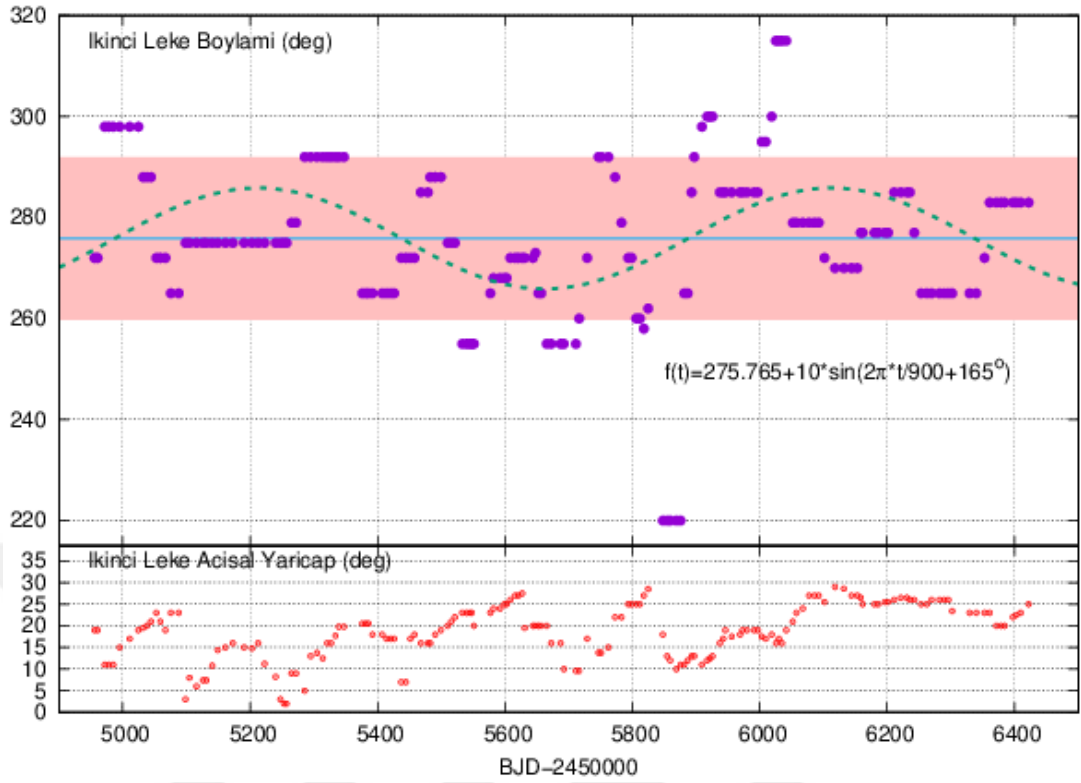
Şekil 4.12 KIC 7542091'in Q6 'daki IE3, IE9 ve IE11'in gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke/lekelerin bölgelerini gösteren Roche geometrisi

Yoldaş bileşen üzerinde yer alan birinci lekenin, 5° ile 180° boylamları arasında (Şekil 4.13 üst panel) değişim gösterdiği ve açısal yarıçaplarının da 0° ile 30° arasında değişim (Şekil 4.13 alt panel) gösterdiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.13 KIC 7542091 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki birinci lekenin zamana göre boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısai yarıçap (alt panel) değışimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm\sigma$ hata sınırı ve olası periyodik değışime ilişkin kaba fit gösterilmiştir.

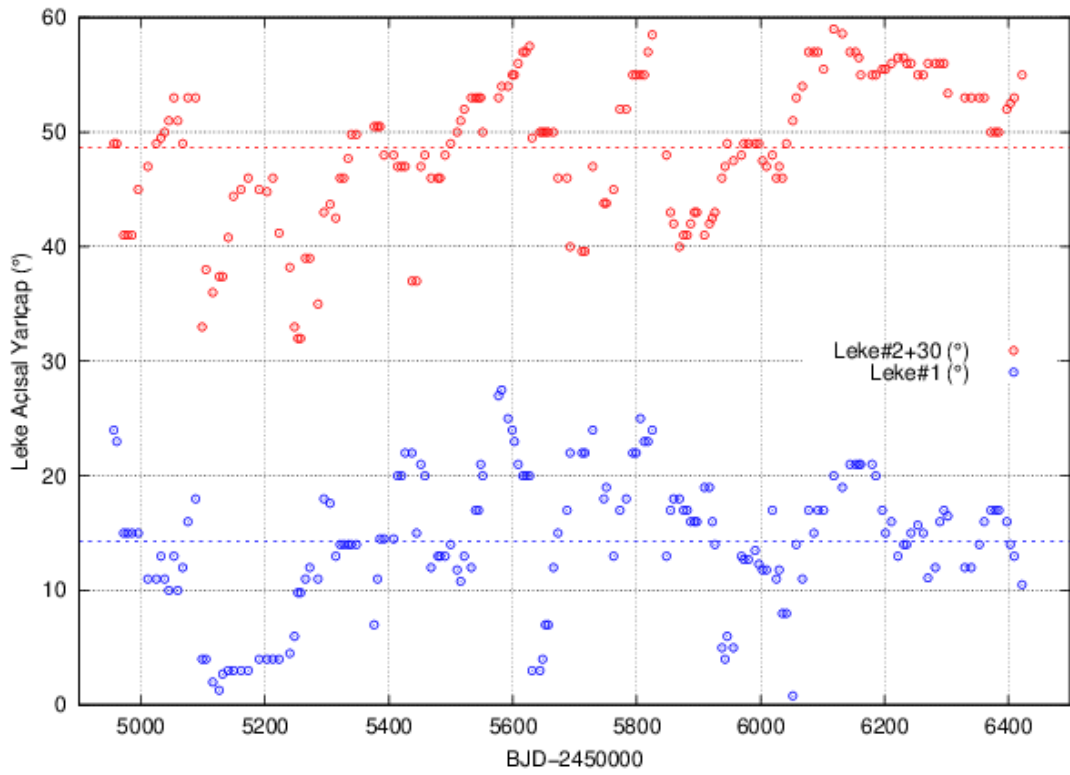
Yoldaş bileşen üzerinde yer alan ikinci leke ise 220° ile 320° boylam boyunca (Şekil 4.14 üst panel) hareketi sonucunda ortaya çıkan leke boyutunun 0° ile 30° (Şekil 4.14 alt panel) açısai yarıçaplar arasında değıştiğı görülmüştür.



Şekil 4.14 KIC 7542091 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki ikinci lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm\sigma$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir.

Aynı bileşen üzerine yerleştirilen iki farklı lekenin zamana göre davranışı incelendiğinde genel olarak lekelerin boylamsal konumlarının zamana bağlı olarak sistematik bir şekilde yer değiştirdiği, ard arda gelen boylamsal değerlerin çoğunlukla birbirini takip etmesinden söyleyebiliriz. En büyük ve en küçük boylam değerlerinin genel olarak leke yarıçapının çok küçük olduğu durumlarda ortaya çıktığı görülmektedir. Lekelerin en küçük boyutlu olması durumunda lekelerin konumunun belirlenmesindeki hata büyük olacağından, uç noktalarındaki boylamsal değerlerin hatalı olma ihtimali de yüksek olacaktır. Bu ekstremum konumlar hariç tutulduğunda, birinci lekelerin boylamsal olarak 53° ile 121° aralığında yer değiştirdiğini söyleyebiliriz. İkinci lekenin ise yine ekstremum konumlar hariç tutulduğunda 255° ile 300° aralığında, birinci lekeye göre daha sınırlı bir bölgede yer aldığı görülmektedir.

Genel bir davranış olarak hem leke boylamının hem de leke boyutunun sistematik bir değişim gösterdiğini ve ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisinin lekelerin konum ve boyutlarındaki değişimden kaynaklandığını söyleyebiliriz. Ayrıca Şekil 4.13 ve 4.14'te görülen bir başka davranış ise daha büyük zaman ölçeğinde de lekelerle ilişkin sistematik bir değişimin olabileceğidir. Çok ayrıntılı bir değerlendirme yapılmamış olsa da birinci lekenin boylamsal konumu yaklaşık 1000 gün dönemli ve 20° genlikle değişim gösterirken, ikinci lekelerin konumu yaklaşık 900 gün dönemli ve 10° genlikle değişim gösterdiğini söyleyebiliriz.

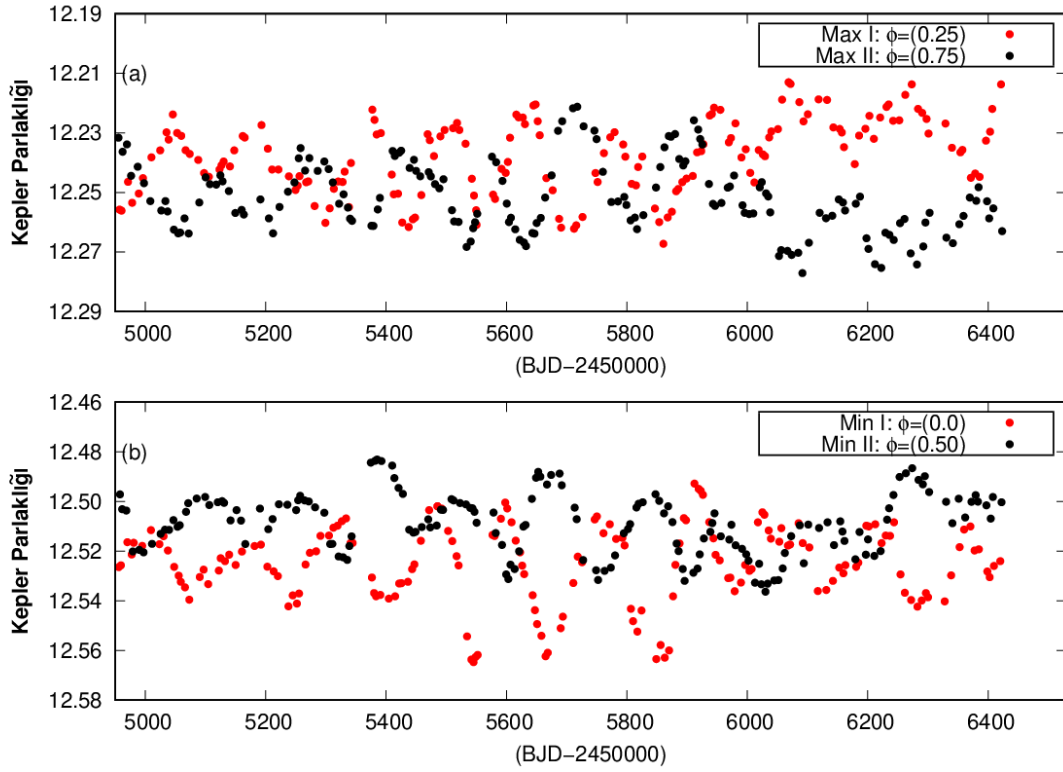


Şekil 4.15 Birinci ve ikinci lekenin açısal yarıçaplarının zamana göre değişimi. Aynı ölçekte karşılaştırma yapabilmek amacıyla ikinci leke kaydırılmıştır. Ortalama açısal boyutlar kesikli çizgilerle gösterilmiştir.

Şekil 4.15'ten görülebileceği üzere farklı boylamlarda bulunan lekelerin açısal boyutları karşılaştırıldığında genel davranışında bir korelasyonun bulunduğunu doğrudan söylemek mümkün görülmemektedir. Fakat istatistiksel olarak ortalama leke boyutlarına göre birinci lekenin boyutu küçük olduğunda, ikinci lekenin de boyutunun küçük olduğunu söyleyebiliriz.

4.1.5 KIC 7542091 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi

Sistemin yaklaşık dört yıllık verisi kullanılarak elde edilen 170 adet ışık eğrisinden ölçülen minimum ve maksimum parlaklıkların zamana göre değişimleri Şekil 4.16'da verilmiştir.

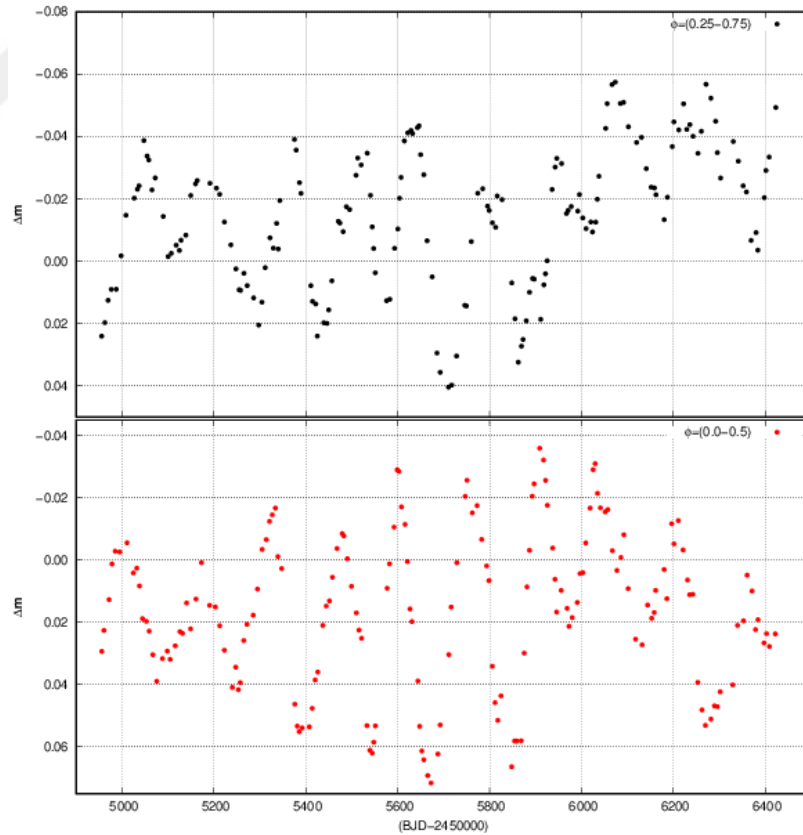


Şekil 4.16 KIC 7542091 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıklarının zamana göre değişimi

KIC 7542091 sisteminin birinci minimum (Min I), ikinci minimum (Min II), birinci maksimum (Max I) ve ikinci maksimum (Max II) evrelerindeki parlaklıkların zamana göre değişimine bakıldığında genel olarak birbirine zıt fazda sistematik bir şekilde değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Maksimum parlaklık seviye değişiminin birbiriyle karşılaştırıldığında korelasyon katsayısı $r = -0.69$ iken, minimum parlaklıklar için ise $r = -0.61$ olarak bulunmuştur ve zıt fazda yüksek bir ilişki olduğunu göstermiştir. Bu durum leke etkinliğinin maksimumları ve minimumları değiştirdiğini söyleyebiliriz.

Zamana bağılı olarak gerçekleşen bu değişimi nicel hale getirmek amacıyla O'Connell etkisi olarak tanımlanan maksimum parlaklıklar arasındaki farkla birlikte minimum parlaklıklar arasındaki farkın değişimi de frekans bölgesinde ayrıntılı olarak incelenmiş ve değişime ilişkin dönem ve genlik değerleri belirlenmiştir. Ortaya çıkarılacak bu parametrelerin leke parametreleri ile doğrudan ilişkili olması beklenmektedir.

Şekil 4.17'de sırasıyla maksimum seviyeleri arasındaki fark (üst panel) ve minimum seviyeleri arasındaki fark (alt panel)'lar incelendiğinde her iki değişimin de pozitif ve negatif değerler alabildiği ve genlik olarak da değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca ışık eğrilerinde durağan veya değişimin olmadığı bir zaman veya zaman aralığının da bulunmadığı görülmektedir. Bununla birlikte değişimin periyodik yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.17'de verilen fark grafikleri birbirleri ile karşılaştırıldığında dönemin dörtte biri ölçeğinde bir evre kayması göstermesi doğal bir sonuç olacaktır.



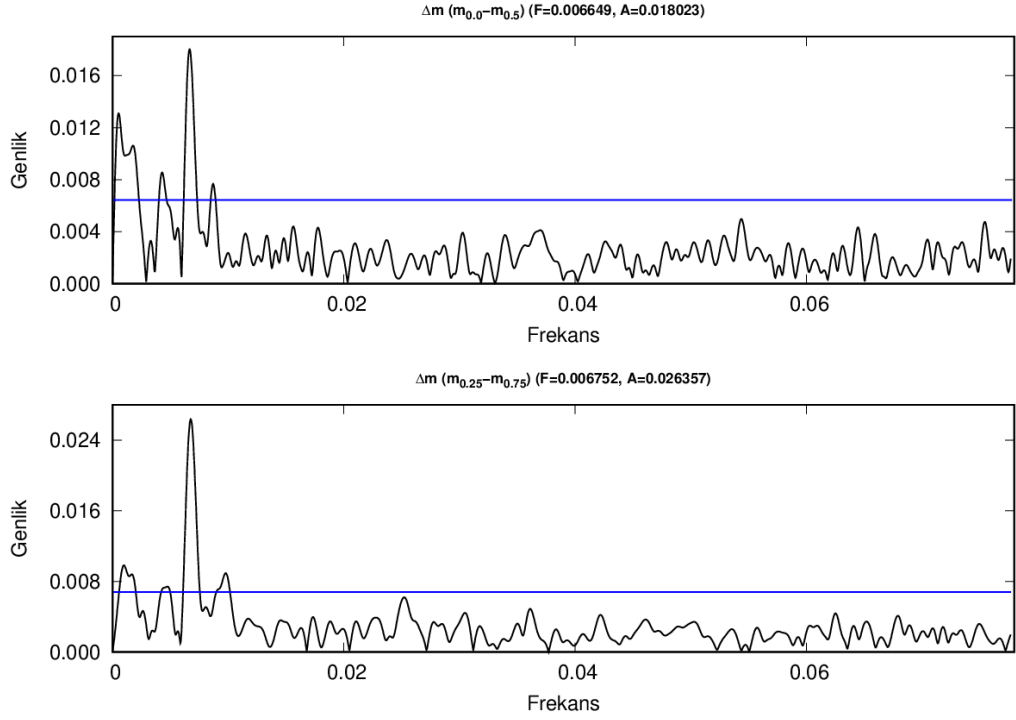
Şekil 4.17 KIC 7542091 sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel) ile birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın (alt panel) zamana göre değişimi (Terzioğlu vd. 2023)

Işık eğrilerinde görülen minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki fark ile lekelerin boylam ve açısai yarıçapları arasındaki olası bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek amacıyla frekans bölgesinde her bir parametrenin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bu amaçla Period04 (Lenz&Breger 2005) programı kullanılmıştır.

Çizelge 4.9’da Fourier analiz sonuçları ve Şekil 4.18’de ise minimum (üst panel) ve maksimum (alt panel) parlaklıklar arasındaki farkın frekans bölgesindeki değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.9 KIC 7542091 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları

Δm ($m_{0.0} - m_{0.5}$)	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (°)	Evre (rad)	P (gün)
f_1	0.006649 ±0.000019	0.018023 ±0.001000	0.855931 ±0.008889	150.40 ±0.43
f_2	0.000614 ±0.000028	0.013517 ±0.219941	0.629557 ±0.020085	1629.17 ±73.42
f_3	0.001944 ±0.000041	0.009148 ±0.000986	0.252902 ±0.014836	514.47 ±10.80
f_4	0.001228 ±0.000042	0.009956 ±0.129660	0.028924 ±0.018996	814.58 ±24.89
f_5	0.004331 ±0.000042	0.008973 ±0.001131	0.849136 ±0.021186	230.91 ±2.22
f_6	0.007604 ±0.000046	0.008082 ±0.000982	0.849136 ±0.019207	131.50 ±0.80
Δm ($m_{0.25} - m_{0.75}$)				
	0.006752 ±0.000013	0.026357 ±0.000967	0.855931 ±0.005691	148.11 ±0.29
f_1				
f_2	0.001023 ±0.000037	0.009885 ±0.001060	0.629557 ±0.015639	977.50 ±35.27
f_3	0.004604 ±0.000041	0.008990 ±0.000995)	0.252902 ±0.017960	217.22 ±1.91
f_4	0.007604 ±0.000041	0.008883 ±0.000912	0.028924 ±0.014476	131.50 ±0.71
f_5	0.001637 ±0.000042	0.008599 ±0.001003	0.849136 ±0.018089	610.94 ±15.82
	0.009787 ±0.000050	0.007230 ±0.000981	0.912390 ±0.021552	102.18 ±0.53
f_6				



Şekil 4.18 KIC 7542091 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizleri (Terzioğlu vd. 2023) (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)

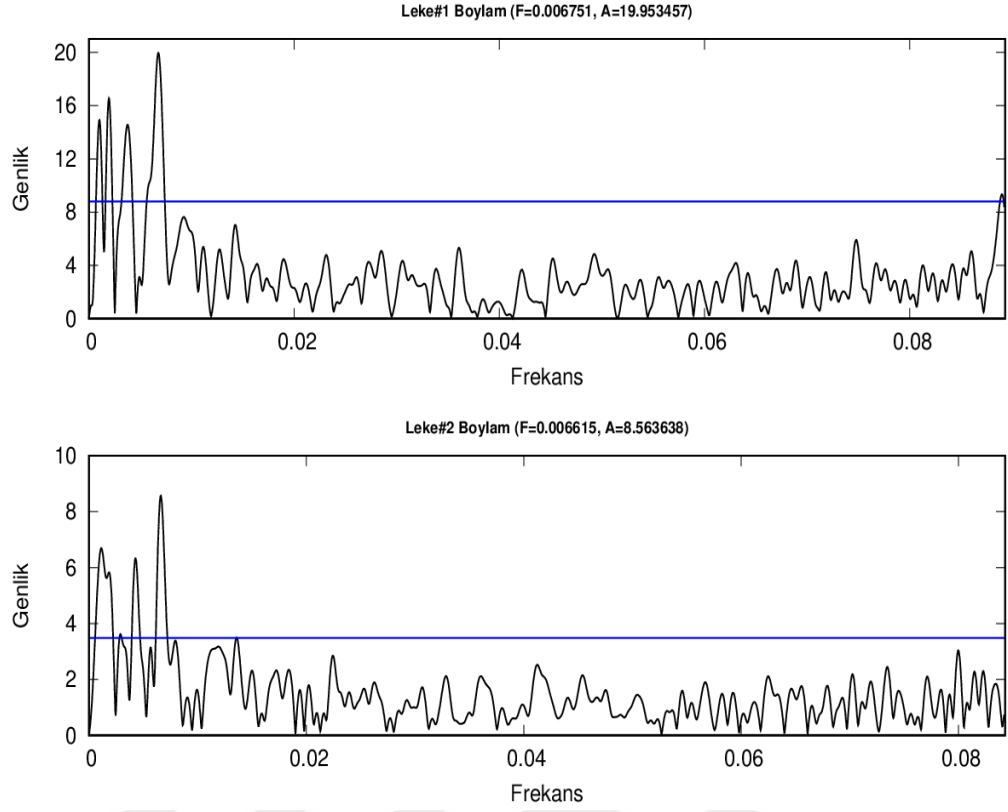
Minimum parlaklıklar arasındaki fark için en büyük genlikli değişim $f_{\min} = 0.006649 \pm 0.000019$ gün⁻¹ frekansında bulunurken, maksimum parlaklıklar arasındaki fark için $f_{\max} = 0.006752 \pm 0.000013$ gün⁻¹ değeri bulunmuştur. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler sırasıyla $P_{\min} = 150.40 \pm 0.43$ ve $P_{\max} = 148.11 \pm 0.29$ gün'dür.

Işık eğrisi çözümü ile elde edilen lekelerle ilişkin boylam değerlerinin frekans analizi sonuçları ise Çizelge 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.19'da ise ışık eğrisi çözümünde elde edilen leke boylamlarının frekans bölgesi analizi verilmiştir. Lekelerin boylamlarına ilişkin frekans analizi yapılırken aykırı değerler dikkate alınmamıştır.

Çizelge 4.10 KIC 7542091 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları

Leke₁ Boylam	Frekans (gün⁻¹)	Genlik (°)	Evre (rad)	P (gün)
f₁	0.006606 ±0.000025	19.48930 ±1.44765	0.697496 ±0.010178	151.38 ±0.55
f₂	0.001947 ±0.000038	14.122816 ±1.331412	0.981488 ±0.015689	513.70 ±10.10
f₃	0.003950 ±0.000038	13.565566 ±1.416537	0.848054 ±0.029639	253.18 ±2.70
f₄	0.000853 ±0.000044	11.337766 ±1.484350	0.603830 ±0.017987	1173.00 ±51.80
f₅	0.003001 ±0.000049	10.777225 ±1.315857	0.332710 ± 0.018408	333.24 ±6.93
Leke₂ Boylam				
f₁	0.006615 ±0.000018	8.563638 ±0.530412	0.933874 ±0.008314	150.57 ±0.42
f₂	0.001017 ±0.000026	6.835770 ±0.530272	0.079397 ±0.013623	983.69 ±20.32
f₃	0.004276 ±0.000029	6.258614 ±0.623996	0.703313 ±0.012398	233.89 ±1.58
f₄	0.007716 ±0.000034	5.683771 ±0.641107	0.826933 ±0.015889	129.60 ±0.58
f₅	0.001843 ±0.000044	5.812447 ±0.584824	0.283406 ±0.021502	542.49 ±11.70

Analizlerimiz sonucunda birinci leke için $f_{leke,1} = 0.006606 \pm 0.000025$ gün⁻¹ ve ikinci leke için $f_{leke,2} = 0.006615 \pm 0.000018$ gün⁻¹ değerlerine ulaşılmıştır. Bu frekanslar Şekil 4.18’de en büyük genlikli değişime karşılık gelen frekanslardır ve dönem olarak sırasıyla $P_{leke,1} = 151.38 \pm 0.55$ gün ve $P_{leke,2} = 150.57 \pm 0.42$ gün olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.10’da görülen daha küçük genlikli ilave frekanslara karşılık gelen dönemler dikkate alındığında yaklaşık 150 gün dönemli değişim dışındaki frekansların birbirlerinin multipleri olma ihtimali bulunmaktadır. Fakat kesin bir ayırım yapabilmek için daha uzun zaman aralığına dağılmış parametrelerin frekans analiz sonuçlarına bakılması gerekmektedir söyleyebiliriz. Sonuç olarak sistemde leke boylamlarının yaklaşık 1000 gün dönemli bir değişime sahip olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 4.19 KIC 7542091 sisteminde birinci leke (üst panel) ve ikinci leke (alt panel) boylamına göre frekans bölge analizi sonuçları (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)

Her iki analiz sonucunda elde edilen dönem ve hata değerleri dikkate alındığında, ortalama olarak $P_{\text{ort}} = 150.25 \pm 0.49$ gün dönemli periyodik bir değişimin gerçekleştiğini söyleyebiliriz.

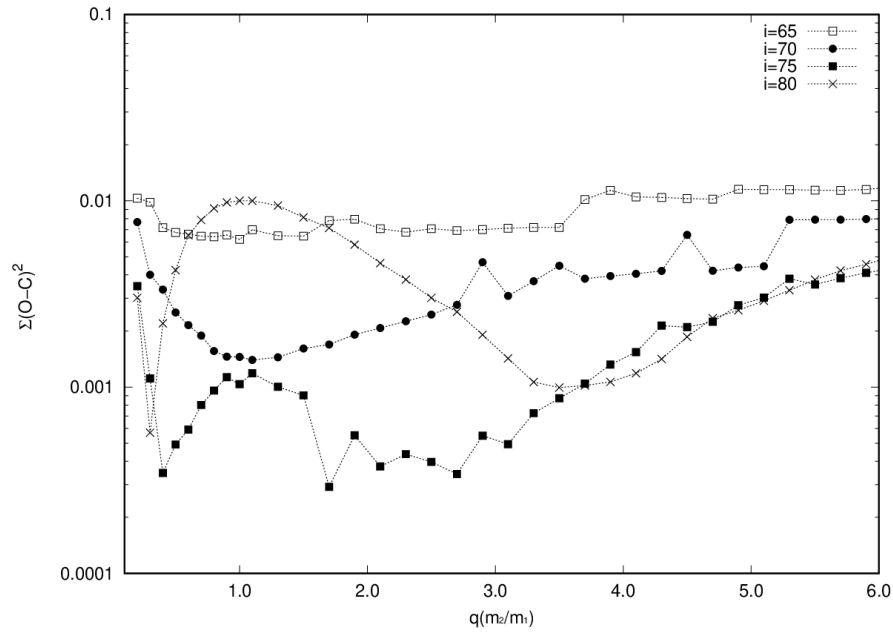
4.2 KIC 7512381 Sistemi

4.2.1 KIC 7512381 sisteminin ışık eğrisi analizi

Işık eğrisi analizinde, sistemin W UMa türü örten değişen olmasından dolayı Wilson-Devinney programında “Mod 3” tercih edilmiştir. Baş bileşenin sıcaklığı, LAMOST tayfı ile belirlenen $T_e = 5963$ K (Qian vd. 2020) olarak alınmıştır. Her iki bileşenin konvektif zarfa sahip olduğu kabul edilerek ($T < 7200$ K), kenar kararma katsayıları Van Hamme (1993)’den alınmıştır. Çekim kararma katsayıları $g_{1,2} = 0.32$ (Lucy 1967) ve bolometrik

albedo katsayıları $A_{1,2} = 0.5$ (Rucinski 1969) olarak alınmıştır. Wilson-Devinney programında serbest bırakılan parametreler; yörünge eğimi açısı (i), yoldaş bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), baş bileşenin yüzey potansiyeli ($\Omega_1 = \Omega_2$), baş bileşenin görelî ışınlam gücüdür (L_1). Sabit tutulan parametreler ise $T_1, x_{1,2}, g_{1,2}, A_{1,2}$ dir.

Leke aktivitesinin minimum olduğu ışık eğrisi için gerçekleştirilen i-q taraması sonucunda, sistemin en küçük fark kare toplamına ($\Sigma(O-C)^2$) karşılık gelen kütle oranı $q = 1.65$ ve yörünge eğim açısı $i = 75^\circ$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.20). Elde edilen parametreler ile oluşturulan teorik fit Şekil 4.21’de verilmiştir.



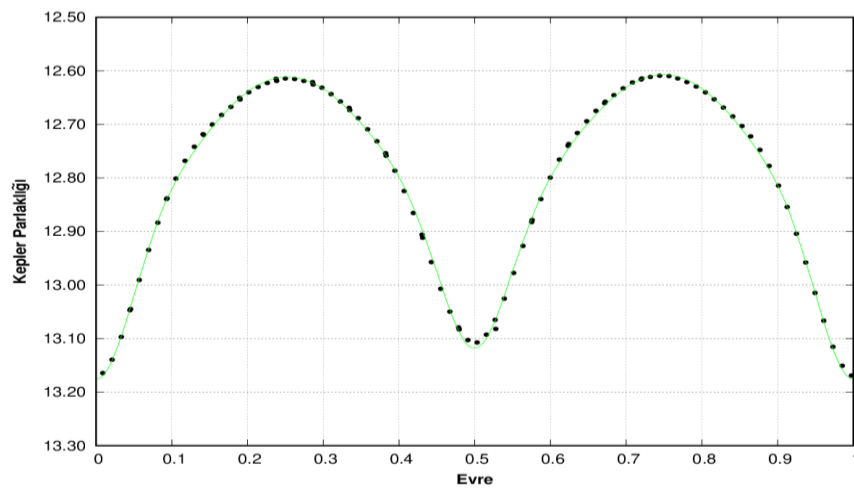
Şekil 4.20 Farklı yörünge eğim açılarına karşılık gelen, q ile $\Sigma(O-C)^2$ değişimi (y-ekseni logaritmik olarak gösterilmiştir)

İlk analizler ışık eğrisinde aktivitenin en düşük olduğu IE üzerinde yapılmıştır (bkz. Çizelge 4.11, Şekil 4.21). Ayrıntılı ışık eğrisi analizi sonucunda sistemin, fotometrik kütle oranı 1.456 değerine yakınsamıştır. Sistemin W-türü örten bir sistem olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bu kütle oranı, sistemin diğ er tüm ışık eğrilerinin modellenmesinde sabit tutulmuştur.

Çizelge 4.11 KIC 7512381'in ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler

Parametreler	Değer	$\pm \sigma$
i (°)	74.85	0.78
T_1 (K)	5963*	-
T_2 (K)	5742	32
$q(m_2/m_1)$	1.456	0.037
$A_1 = A_2$	0.5*	-
$g_1 = g_2$	0.32*	-
$x_1(\text{bolo})$	0.145*	-
$x_2(\text{bolo})$	0.200*	-
$y_1(\text{bolo})$	0.642*	-
$y_2(\text{bolo})$	0.200*	-
$\Omega_1 = \Omega_2$	4.3619	0.0032
f (%)	19.58	
l_1/l_T	0.42934	0.00118
l_2/l_T	0.57065	-
r_1 (kutup)	0.33585	0.00038
r_1 (kenar)	0.35315	0.00047
r_1 (arka)	0.39176	0.00074
r_2 (kutup)	0.39838	0.00038
r_2 (kenar)	0.42286	0.00048
r_2 (arka)	0.45736	0.00067
$\Sigma(O-C)^2 = 1.04096E-08$		

* Sabit tutulan parametreler



Şekil 4.21 KIC 7512381 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışık eğrisi

Çizelge 4.12’den de görülebileceği gibi elde ettiğimiz sonuçlar ile Kobulnicky vd. (2022) tarafından verilen sonuçlar ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Kobulnicky vd. (2022) sistemin yakın bileşen nedeniyle üçüncü ışık etkisini dikkate alarak çözüm yapmıştır. Bu çalışmada yakın bileşenin katkısının çok küçük olduğu dikkate alınarak ihmal edilmiştir.

Çizelge 4.12 KIC 7512381 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreleri

Analiz Yöntemi	Veri Türü	q	i(°)	T ₁ (K)	T ₂ (K)	I ₃	Kaynak
Phoebe	Kepler (Q0-Q1)	1.140	60.57	5911	5698	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	Kepler (Q0-Q2)	1.286	76.09	5911	6041	-	Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	Kepler	2.38	75.98	5911	5798	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	Kepler	1.440	74.20	5911	5792	0.005	Kobulnicky vd. (2022)
Wilson-Devinney (2015)	Kepler	1.456	74.85	5963	5738	-	Bu çalışma

Sistemin dikine hız eğrisi bulunmadığından sistemin fiziksel parametreleri W UMa türü örten çift sistemler için Tanrıver ve Bulut (2022) tarafından verilen, yörünge dönemi ile yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu arasındaki gözlemsel verilerden elde edilen bağıntı kullanılmıştır. Bu bağıntı,

$$\log a = (0.8829 \pm 0.0203) \log P + (0.7900 \pm 0.0082) \quad (4.8)$$

şeklinde ve ifadede yörünge dönemi (P) ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu (a) sırasıyla gün ve R_☉ birimlerine sahiptir. KIC 7512381 sisteminin yörünge dönemi P = 0.3715687 gün olduğundan sistemin yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu $a[R_{\odot}] = 2.89 \pm 0.03$ olarak hesaplanmıştır.

Sistemin diğer mutlak parametreleri ise bir önceki kesimde KIC7542091 sistemi için kullanılan denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Bileşen yıldızların mutlak parlaklıkları, Cox vd. (2000) tarafından verilen sıcaklık-Bolometrik Düzeltme tablolarından BC = -0.18 olarak alınmış ve $M_V = M_{bol} - BC$ ifadesi kullanılarak elde edilmiştir. Sırasıyla baş ve yoldaş bileşen için bu değerler $M_{V1} = 4.713 \pm 0.083$, $M_{V2} = 4.526 \pm 0.041$ olarak elde edilmiştir.

Sistem için literatürde verilen $E(B-V)$ değerleri dikkate alınarak yıldızlararası ortamın soğurma miktarı hesaplanmış ve sistemin uzaklığı Denklem 4.7'den yararlanarak bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 KIC 7512381 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktarı

$E(B-V)$	$A_v=3.2E(B-V)$	Kaynak	Hesaplanan Uzaklık $d(pc)$
0.092	0.294	Slawson vd. (2011)	519 ± 8.6
0.055	0.176	Jayasinghe vd. (2018)	549 ± 9.1
0.026	0.083	Montalto vd. (2021)	573 ± 9.5
-	0.152	NASA/IPAC	555 ± 10.1
-	-	Gaia DR3	576.9 ± 3.5

Montalto vd. (2021) tarafından verilen $E(B-V)$ değeri dikkate alındığında sistemin uzaklığı Gaia DR3 (Gaia Collaboration, 2022) veritabanında verilen uzaklık ile hata sınırları içerisinde aynı olduğu görülmektedir.

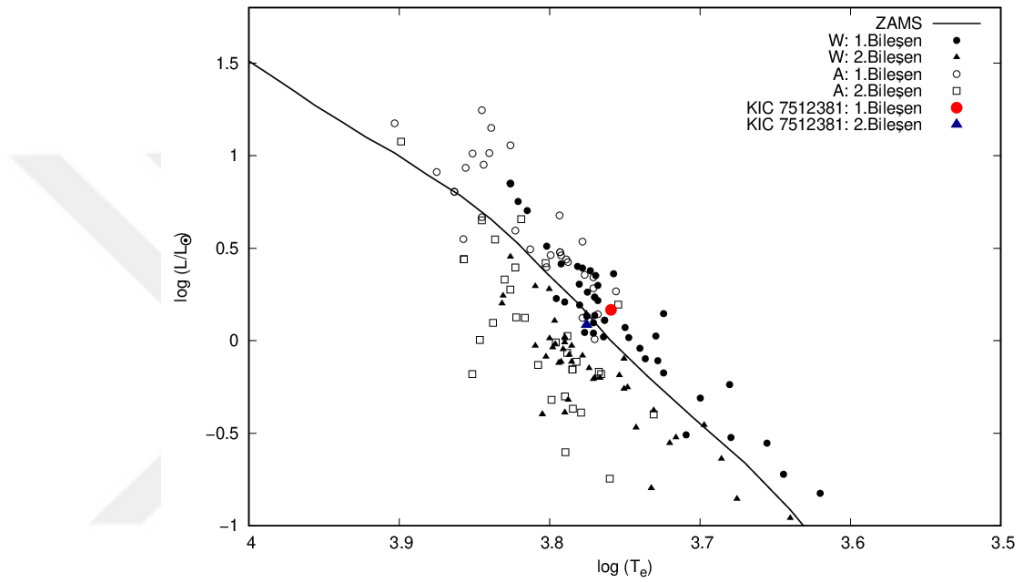
Sistemin mutlak parametreleri; ışık eğrisi çözümünden elde edilen parametreler dikkate alınarak hesaplanmış ve Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14 KIC 7512381 sisteminin mutlak parametreleri

Parametreler	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ($M_\odot$)	0.74 ± 0.05	1.07 ± 0.06
Yarıçap ($R_\odot$)	1.04 ± 0.03	1.23 ± 0.03
Işınım gücü ($L_\odot$)	1.22 ± 0.09	1.47 ± 0.05
M_{bol}	4.55 ± 0.08	4.34 ± 0.04
$\log g$ (cgs)	4.27 ± 0.05	4.29 ± 0.05
ρ (cgs)	0.92 ± 0.01	0.81 ± 0.01
a ($R_\odot$)	2.89 ± 0.05	

Şekil 4.22'de KIC 7512381 sisteminin etkin sıcaklığı (T_e) ve ışınım gücü ($L/L_\odot$) değerleri, W UMa türü sistemler için oluşturulan $\log(T_e) - \log(L/L_\odot)$ diyagramında

gösterilmiştir. Şekilde W UMa türü sistemlere ilişkin etkin sıcaklık ve ışıyım gücü verileri Yakut ve Eggleton (2005) 'dan, ZAMS sınırları ise Güneş kimyasal bolluğu kabulüyle Girardi vd. (2000) çalışmasından alınmıştır. Şekil 4.22'de etkin sıcaklık-ışıyım gücü diyagramında, A-türü sistemler için baş bileşenler içi boş daire, yoldaş bileşenler ise içi boş kare sembolü ile gösterilirken, W-türü sistemler için baş bileşenler içi dolu daire, yoldaş bileşenler içi dolu üçgen sembolü ile temsil edilmiştir. KIC 7512381 sisteminin baş bileşeni kırmızı nokta, yoldaş bileşeni ise mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir.



Şekil 4.22 KIC 7512381 sistemine ait bileşenlerin $\log T_e - \log (L/L_{\odot})$ diyagramında konumu. W- ve A- türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş bileşeni kırmızı nokta ve yoldaş bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir.

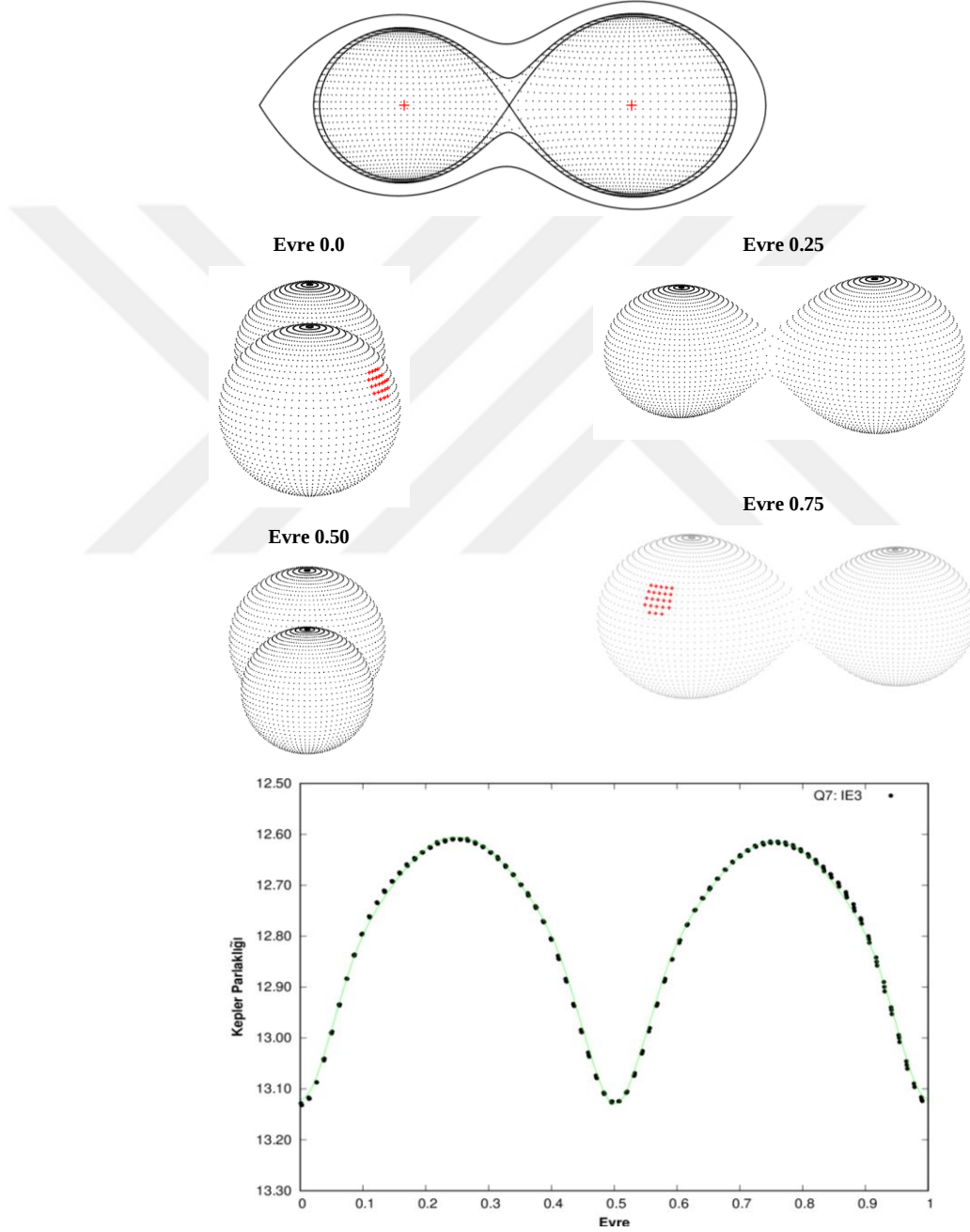
Şekil 4.22'den görüleceği üzere KIC 7512381 sisteminin yoldaş bileşeni ZAMS'a daha yakın, diğer bileşeni ise ZAMS'ın üstünde bir konumda bulunmaktadır. Her iki bileşenin de W-türü sistemlerin bileşenleri ile uyumlu konumlarda olduğu görülmektedir.

4.2.2 KIC 7512381 sisteminin leke modellenmesi

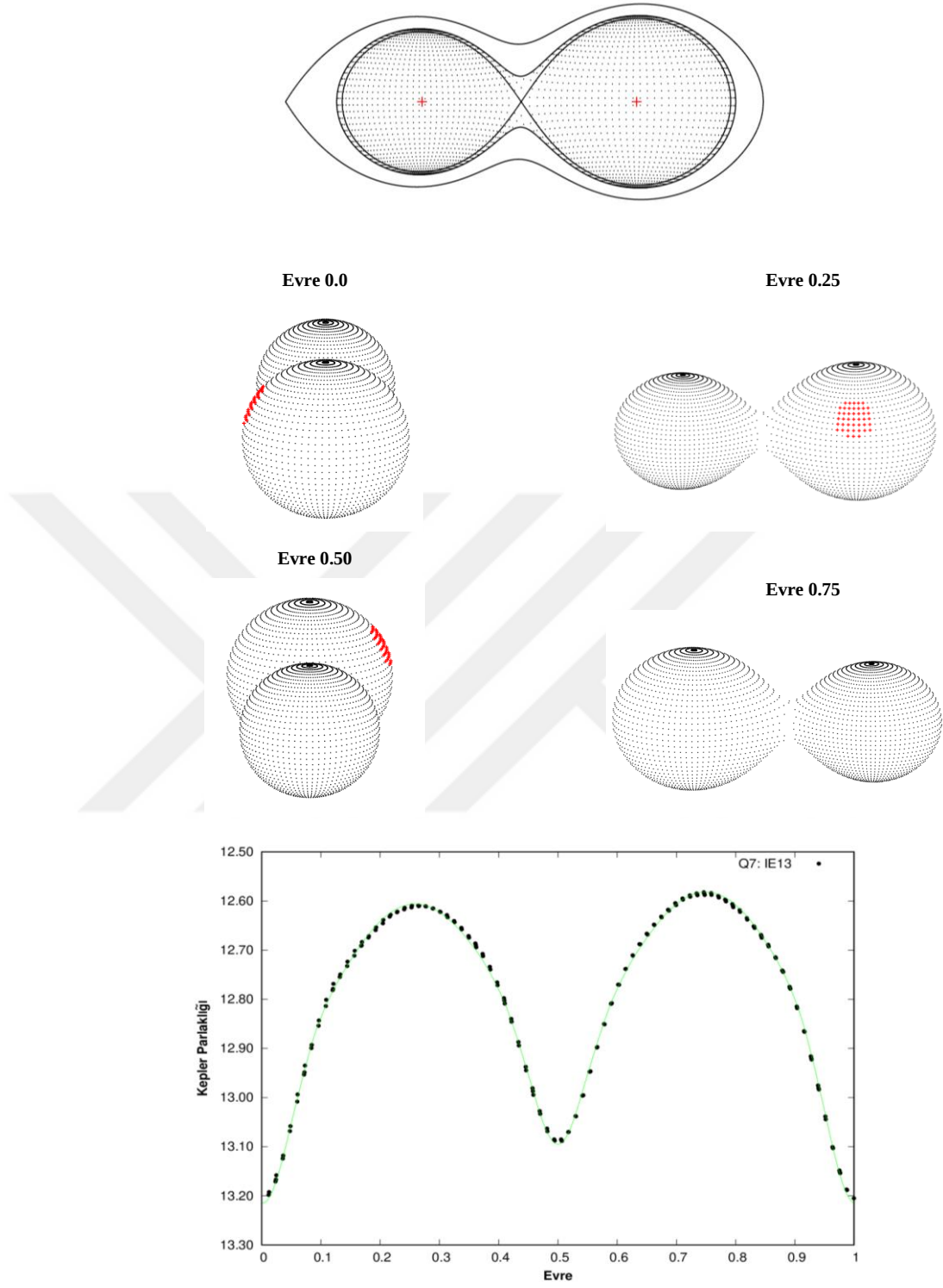
KIC 7512381 sisteminin Q0-Q17 çeyreklerini kapsayan 142 adet ışık eğrisi üzerinde görülen O'Connell etkisi, yoldaş bileşenin 65° enlemine, sıcaklık faktörü 0.84 olan tek bir soğuk leke ile modellenebilmiştir. Işık eğrileri üzerinde gerçekleştirilen leke

modellemesi sonucunda belirlenen, lekelerle ilişkin boylam ve açısai yarıçap sonuçları EK 2’de verilmiştir.

O’Connell etkisi görülen Q7’deki ışık eğrilerinden, Şekil 4.23’te IE3’e ve Şekil 4.24’te IE13’e ait gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş bileşen üzerindeki soğuk lekenin farklı yörünge evrelerindeki konumunu gösteren Roche geometrisi verilmiştir.

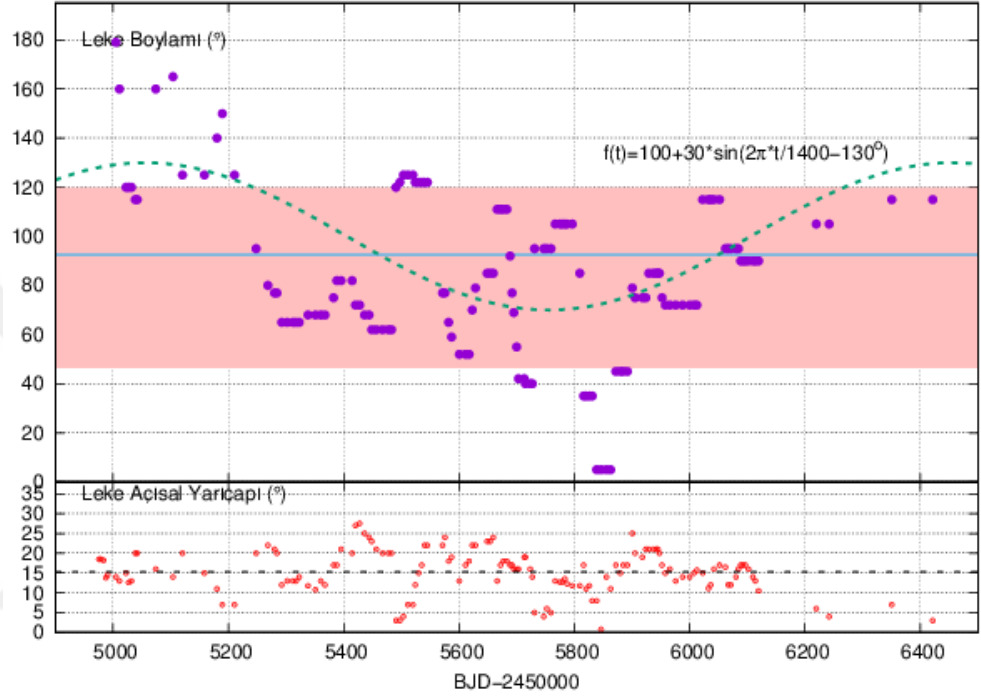


Şekil 4.23 KIC 7512381 Q7’deki IE3 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel)



Şekil 4.24 KIC 7512381 Q7’deki IE13 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel)

Sistemin yoldaş bileşeni üzerinde yer alan lekenin 45° ile 180° (Şekil 4.25 üst panel) boylamları boyunca hareket ettiği ve açısal yarıçaplarının da 0° ile 28° arasında değişim (Şekil 4.25 alt panel) gösterdiği anlaşılmıştır. Şekil 4.25'ten de görüleceği üzere ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisinin lekelerin konum ve boyutlarındaki değişimden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

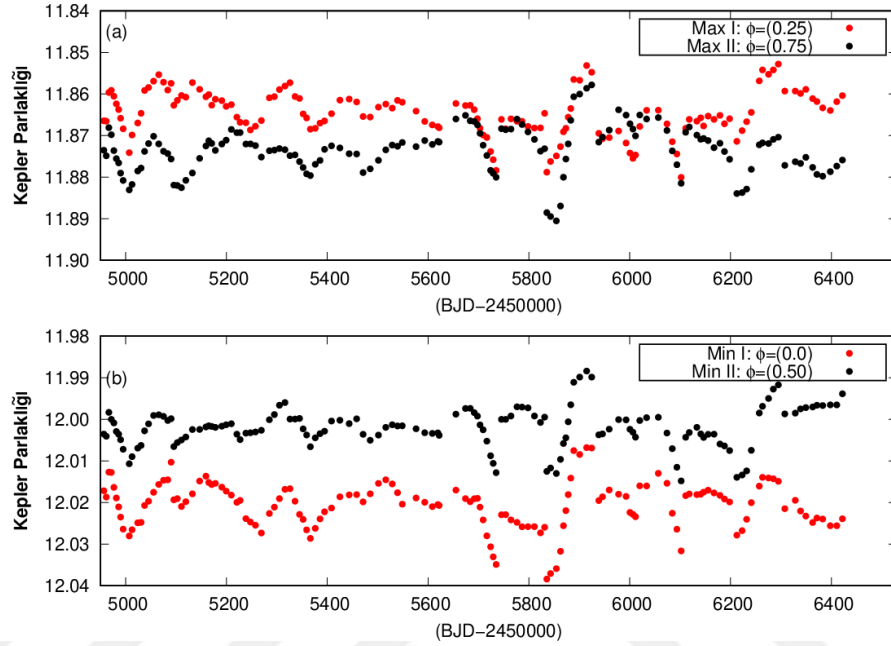


Şekil 4.25 KIC 7512381 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm\sigma$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir.

Yoldaş bileşen üzerine yerleştirilen soğuk lekenin zamana göre davranışı incelendiğinde genel olarak lekelerin boylamsal konumlarının zamana bağlı olarak yer değiştirdiği görülmektedir. Benzer şekilde lekenin boyutunun da zamana bağlı olarak değişim gösterdiğini söyleyebiliriz. Şekilde leke boylamının zamana bağlı olarak yaklaşık 1400 gün dönemli ve $\pm 30^\circ$ genlikle değişim gösterdiğini söyleyebiliriz. Sinüs fit'i el yordamıyla yapılmıştır. Leke boylamları ve açısal boyutları dikkate alındığında genel olarak leke boyutunun küçük olduğu zamanlarda leke boylamının daha büyük değerlere sahip olduğunu söyleyebiliriz.

4.2.3 KIC 7512381 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi

Sistemin yaklaşık dört yıllık verisi kullanılarak 142 adet ışık eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen ışık eğrilerinin minimum ve maksimum parlaklık değerlerinin zamana göre değişimleri Şekil 4.26'da verilmiştir.



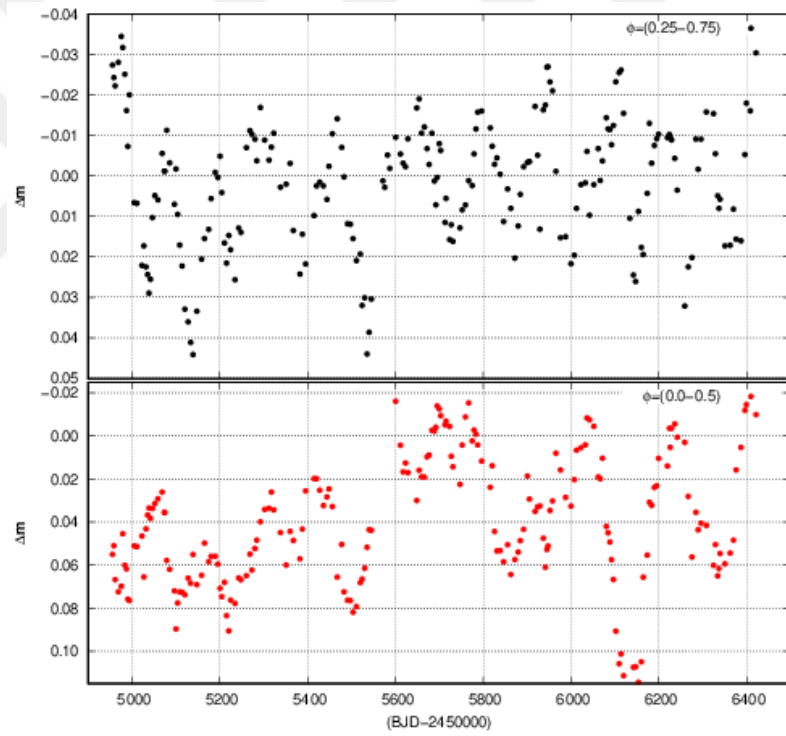
Şekil 4.26 KIC 7512381 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıklarının zamana göre değişimi

Şekil 4.26'dan görüleceği üzere, KIC 7512381 sisteminin birinci minimum (Min I), ikinci minimum (Min II), birinci maksimum (Max I) ve ikinci maksimum (Max II) evrelerindeki parlaklıklarının zamana göre değişiminin genel olarak birbirine paralel bir şekilde artıp azaldığı görülmektedir. Maksimum parlaklık seviye değişiminin birbiriyle karşılaştırıldığında korelasyon katsayısı $r = 0.63$ iken, minimum parlaklıklar için bu değer $r = 0.32$ bulunmaktadır. Maksimumlar ile minimumlar karşılaştırıldığında ise sırasıyla $r = 0.72$ (Max I ile Min I) ve 0.68 (Max II ile Min II) değerleri bulunmaktadır. Bu durum leke etkinliğinin aynı zamanda maksimumları ve minimumları değiştirdiğini söyleyebiliriz.

Zamana bağlı olarak gerçekleşen bu değişimi nicel hale getirmek amacıyla O'Connell etkisi olarak tanımlanan maksimum parlaklıklar arasındaki farkla birlikte minimum

parlaklıklar arasındaki farkın değişimi de frekans bölgesinde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu değişime ilişkin dönem ve genlik değerleri belirlenmiştir. Ortaya çıkarılacak bu parametrelerin leke parametreleri ile doğrudan ilişkili olması beklenmektedir.

Sistemin ışık eğrisindeki minimum ve maksimum seviyeleri arasındaki farkın değişimi incelendiğinde; maksimum parlaklıkları arasındaki fark (Şekil 4.27 üst panel) hem pozitif hem de negatif değerler alırken minimum seviyeler arasındaki farkın (Şekil 4.27 alt panel) genellikle pozitif değerler alabildiği ve genlik olarakta benzer değişimler gösterdiği Şekil 4.27’den de anlaşılmaktadır.



Şekil 4.27 KIC 7512381 sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel) ile birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın (alt panel) zamana göre değişimi

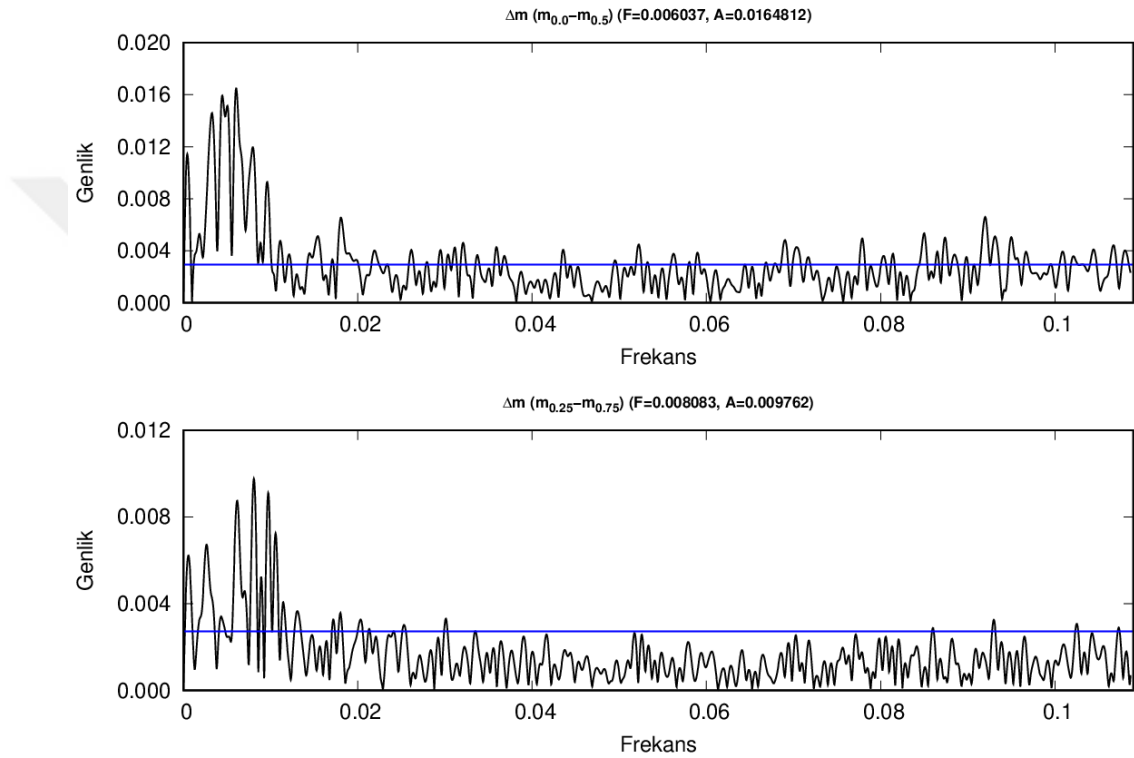
Işık eğrilerinde görülen minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki fark ile lekelerin boylam ve açısal yarıçapları arasındaki olası bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek amacıyla frekans bölgesinde her bir parametrenin zamana göre değişimi Period04 (Lenz & Breger 2005) programı kullanılarak incelenmiştir.

Çizelge 4.15'te Fourier analiz sonuçları ve Şekil 4.28'de ise minimum (üst panel) ve maksimum (alt panel) parlaklıklar arasındaki farkın frekans bölgesindeki değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.15 KIC 7512381 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıkları arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları

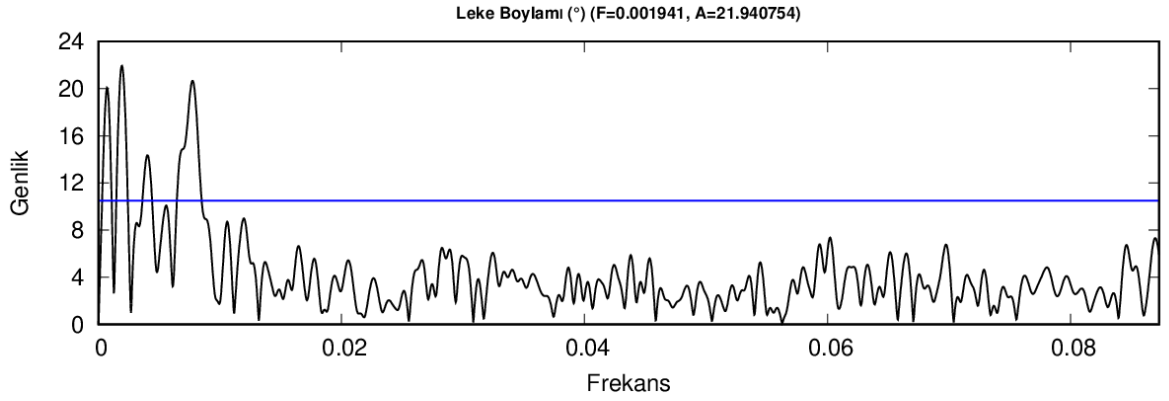
Δm ($m_{0.0} - m_{0.5}$)	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (°)	Evre (rad)	P (gün)
f_1	0.006037 ± 0.000028	0.0164812 ± 0.000843	0.744066 ± 0.011308	165.65 ± 0.77
f_2	0.009110 ± 0.000029	0.009706 ± 0.000775	0.829843 ± 0.014337	109.77 ± 0.35
f_3	0.000716 ± 0.000040	0.007154 ± 0.001760	0.656938 ± 0.01877	1395.70 ± 77.66
f_4	0.07779 ± 0.000046	0.006176 ± 0.000704	0.787165 ± 0.019000	128.55 ± 0.76
f_5	0.010670 ± 0.000053	0.005329 ± 0.000814	0.423871 ± 0.022915	93.72 ± 0.47
Δm ($m_{0.25} - m_{0.75}$)				
f_1	0.008083 ± 0.000033	0.009762 ± 0.000872	0.495814 ± 0.015208	123.72 ± 0.50
f_2	0.006241 ± 0.000037	0.008629 ± 0.000863	0.670324 ± 0.018070	160.22 ± 0.95
f_3	0.009686 ± 0.000042	0.0087889 ± 0.001001	0.590466 ± 0.018472	103.24 ± 0.45
f_4	0.002763 ± 0.000066	0.005888 ± 0.004396	0.023653 ± 0.023732	361.98 ± 8.65
f_5	0.000546 ± 0.000063	0.004802 ± 0.001469	0.426681 ± 0.026283	1832.50 ± 5.60

Minimum parlaklıklar arasındaki fark için en büyük genlikli değişim $f_{\min} = 0.006037 \pm 0.000028 \text{ gün}^{-1}$ iken maksimum parlaklıklar arasındaki fark için ise $f_{\max} = 0.008083 \pm 0.000033 \text{ gün}^{-1}$ dir. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler sırasıyla $P_{\min} = 165.65 \pm 0.77 \text{ gün}$ ve $P_{\max} = 123.72 \pm 0.50 \text{ gün}$ 'dür. Her iki analiz sonucunda elde edilen dönem ve hata değerleri dikkate alındığında, ortalama olarak $P_{\text{ort}} = 144.69 \text{ gün}$ dönemli periyodik bir değişim olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 4.28 KIC 7512381 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizi sonuçları (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)

Işık eğrisi çözümü ile elde edilen lekelerle ilişkin boylam değerlerinin frekans analizi sonuçları Çizelge 4.16'da ve leke boylamlarının frekans bölgesi analizi ise Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Analiz sonucunda en büyük genlikli değişime karşılık gelen frekans değeri $f_{\text{leke}} = 0.010193 \pm 0.000025$ olarak bulunmuştur. Bu frekansın dönem olarak karşılığı $P(\text{leke}) = 98.11 \pm 0.24 \text{ gün}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.29 KIC 7512381 sisteminin leke boylamının frekans bölge analizi sonuçları (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)

Çizelge 4.16 KIC 7512381 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları

Leke Boylam	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (°)	Evre (rad)	P (gün)
f_1	0.001941 ± 0.000034	21.940754 ± 1.329044	0.352820 ± 0.013068	515.09 ± 9.09
f_2	0.007766 ± 0.000034	20.858984 ± 1.471224	0.340617 ± 0.015570	128.77 ± 0.56
f_3	0.000777 ± 0.000028	17.428105 ± 1.416537	0.297342 ± 0.000333	1287.72 ± 46.65
f_4	0.004906 ± 0.000066	11.5259045 ± 1.436631	0.017637 ± 0.020830	203.82 ± 2.75
f_5	0.003742 ± 0.000059	9.189928 ± 1.359913	0.761654 ± 0.016590	267.26 ± 4.23
f_6	0.006883 ± 0.000074	8.255892 ± 1.359464	0.380975 ± 0.010546	145.28 ± 1.56

Çizelge 4.16’da görülen büyük genlikli ilave frekanslara karşılık gelen dönemler dikkate alındığında frekansların birbirlerinin multipleri olma ihtimali bulunmaktadır. Fakat kesin bir ayırım yapabilmek için daha uzun zaman aralığına dağılmış parametrelerin frekans analiz sonuçlarına bakılması gerektiğini söyleyebiliriz.

Şekil 4.25’te leke boylamının ve açısal boyutunun zamana bağlı olarak değişimi için elde edilen dönem değeri yaklaşık 1400 gün olarak belirlenmişti, Çizelge 4.15 ve 4.16’da verilen frekans analizi sonuçlarında elde edilen bu dönem değerine çok yakın sonuçların olduğu görülmektedir. Buradan KIC 7512381 sistemi için leke etkinliğinin genel olarak leke boylamındaki değişimden kaynaklandığını söyleyebiliriz.

4.3 KIC 9649493 Sistemi

4.3.1 KIC 9649493 sisteminin ışık eğrisi analizi

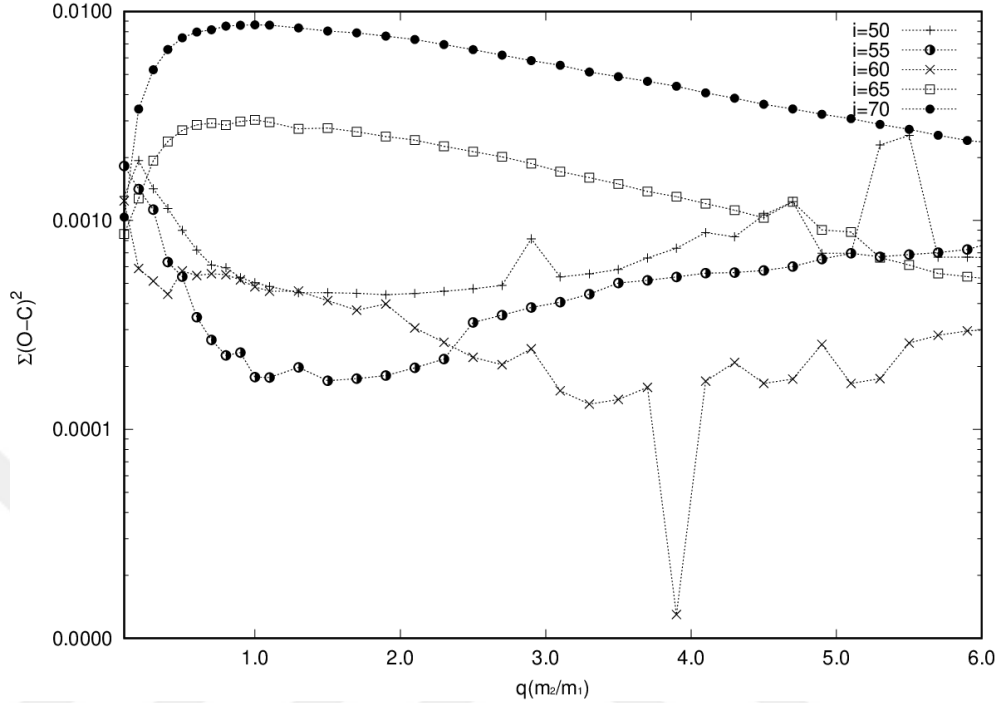
Sistemin ışık eğrisi analizinde, WD programında “Mod 3” kullanılmıştır. Her iki bileşenin konvektif zarfa sahip olduğu kabul edilerek ($T < 7200$ K), kenar kararma katsayıları Van Hamme (1993)’den alınmıştır. Çekim kararma katsayıları $g_{1,2} = 0.32$ (Lucy 1967) ve bolometrik albedo katsayıları $A_{1,2} = 0.5$ (Rucinski 1969) olarak alınmıştır. Bu mod için serbest bırakılan parametreler i , T_2 , Ω_1 , L_1 iken sabit tutulan parametreler ise T_1 , $x_{1,2}$, $g_{1,2}$, $A_{1,2}$ dir.

Sistemin farklı kaynaklarda verilen etkin sıcaklık değerleri Çizelge 4.17’de verilmiştir. Bu sıcaklıkların ortalaması 6015 K’e karşılık gelmektedir ve bu değer baş bileşenin etkin sıcaklığı olarak dikkate alınarak ışık eğrisi analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.17 KIC 9649493 sisteminin farklı kaynaklarda yer alan sıcaklıkları

Etkin Sıcaklık T_e (K)	Kaynak
6190	KIC yıldızları için sıcaklık ölçeği: Katalog (Pinsonneault vd. 2012)
6161	Kepler örten çiftlerinin sıcaklıkları: Katalog (Armstrong vd 2014)
6200	Q1-Q16 Kepler hedeflerinin revize edilmiş yıldız özellikleri (Huber vd. 2014)
5906	LAMOST-Kepler parametreleri ve aktivite göstergeleri (Frasca vd. 2016)
6198	Q1-Q17 Kepler hedeflerinin revize edilmiş yıldız özellikleri (Mathur vd. 2017)
6070	VizieR Çevrimiçi Veri Kataloğu: LAMOST DR4 kataloğu (Luo vd.2018)
5960	LAMOST yıldızların UV emisyonu. I. Katalog (Bai vd. 2018) Lamost
5869	Gaia DR2 (Gaia Collaboration 2018)
6059	Lamost DR7 kataloğu (Luo vd. 2019)
6103	Lamost&Kepler gözlemlerinden elde edilen çift yıldız parametreleri(Zhang vd. 2019)
6000	VizieR Veri Kataloğu: Gaia EDR3 (Gaia Collaboration 2020)
6018	VizieR Veri Kataloğu: LAMOST DR7’deki değen çiftler (Qian vd. 2020)
6012	LAMOST’dan Radyal Hız DeğişenYıldız Adayları Kataloğu (Tian vd. 2020)
5952	Kepler’in kaçırdığı ~330000 yıldızın listesi (Wolniewicz+ 2021)
5948	LAMOST-Gaia-Kepler 35835 yıldız kataloğu (Chen vd. 2021)
5932	Kepler yıldızları için yüzey dönmesi ve aktivitesi (Santos vd. 2021)
5915	asPIC1.1 kataloğu (Montalto vd. 2021)
5787	Gaia DR3 Part 1. Main source (Gaia Collaboration 2022)
5964	VizieR Veri Kataloğu: Kepler ($P < 2$ gün) yakın çiftler (Kobulnicky vd.2022)
6060	TESS’te 15000 elipsoidal çift adayları (Green vd. 2023)
6015±115 K (Kaynaklarda yer alan etkin sıcaklık değerlerinin ortalaması)	

Leke aktivesinin minimum olduğu ışık eğrisinde gerçekleştirilen i-q taraması sonucunda, sistemin kütle oranı $q = 3.9$ ve yörünge eğim açısı $i = 60^\circ$ olarak bulunmuştur (Şekil 4.30).



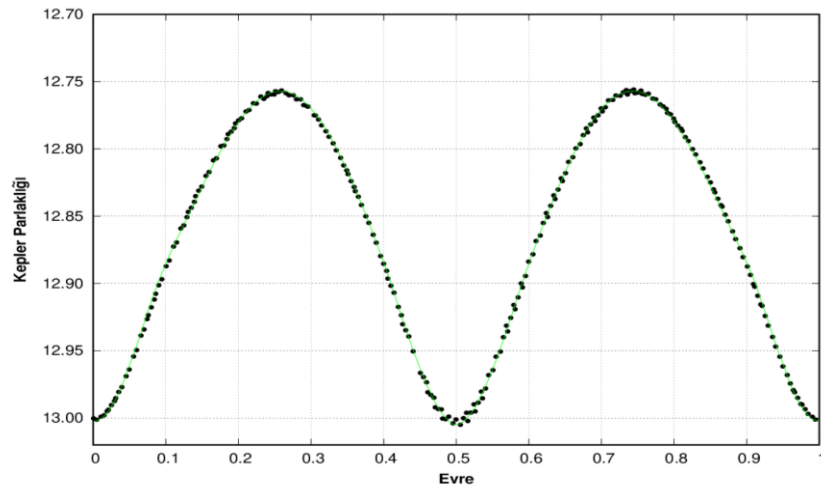
Şekil 4.30 KIC 9649493 sisteminin farklı yörünge açılarına karşılık gelen, q ile $\Sigma(O-C)^2$ değişimi (y eksenini logaritmik gösterilmiştir)

Sistemin fotometrik analiz sonuçları Çizelge 4.18’de verilmiştir. WD iterasyonları sonucunda en küçük fark kare toplamı değerini veren sistemin fotometrik kütle oranının 4.139 olan W-türü bir örten sistem olduğu görülmüştür. Şekil 4.31’de leke aktivesinin minimum olduğu ışık eğrisi için $q = 4.139$ değeri için oluşturulan gözlemsel ve teorik ışık eğrisi gösterilmiştir. Bu kütle oranı değeri tüm ışık eğrilerinde görülen O’Connell etkilerinin leke ile modellemesinde sabit olarak alınmıştır.

Çizelge 4.18 KIC 9649493'ün Kepler ışıık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler

Parametreler	Değer	$\pm \sigma$
i (°)	59.78	2.5
T_1 (K)	6015*	-
T_2 (K)	5928	53
$q(m_2/m_1)$	4.139	0.47
$A_1 = A_2$	0.5*	-
$g_1 = g_2$	0.32*	-
$\Omega_1 = \Omega_2$	7.8608	0.0025
$x_1(\text{bolo})$	0.133*	-
$x_2(\text{bolo})$	0.133*	-
$y_1(\text{bolo})$	0.545*	-
$y_2(\text{bolo})$	0.133*	-
f (%)	17.48	
l_1/l_T	0.23131	0.00093
l_2/l_T	0.76869	
r_1 (kutup)	0.25943	0.00016
r_1 (kenar)	0.27196	0.00019
r_1 (arka)	0.31801	0.00039
r_2 (kutup)	0.48507	0.00014
r_2 (kenar)	0.52857	0.00020
r_2 (arka)	0.556470	0.00025
$\Sigma(O-C)^2 = 3.98096E-09$		

* sabit tutulan parametre



Şekil 4.31 KIC 9649493 sisteminin leke etkisinin minimum olduğu gözlemsel (siyah nokta) ve teorik (yeşil çizgi) ışıık eğrileri

KIC 9649493 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen bazı fiziksel ve geometrik parametrelerinin karşılaştırılması Çizelge 4.19’da yer almaktadır. Sistem bu çalışmada ve literatürde W-türü olarak belirlenmiştir. Ancak bu çalışmada belirlenen kütle oranı değeri ile literatürde verilen fotometrik kütle oranlarının farklı olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.19 KIC 9649493 sisteminin literatürde verilen ve bu çalışmada elde edilen fiziksel ve geometrik parametreleri

Analiz Yöntemi	Veri Türü	q	i(°)	T ₁ (K)	T ₂ (K)	l ₃	Kaynak
Phoebe	Kepler (Q0-Q1)	1.5	41.76	5964	5738	-	Prsa vd. (2011)
Phoebe	Kepler (Q0-Q2)	3.355	58.16	5964	6142	-	Slawson vd. (2011)
Wilson-Devinney	Kepler	2.06	58.52	5964	6183	-	Li, Xu-Zhi vd. (2020)
Phoebe	Kepler	0.52 (1/q=1.92)	73.4	5964	5975	0.583	Kobulnicky vd. (2022)
Wilson-Devinney (2015)	Kepler	4.139	59.85	6015	5928	-	Bu çalışma

Denklem 4.8’den sistemin yarı-büyük eksen uzunluğu $2.57 \pm 0.08 R_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Üçüncü Kepler yasası dikkate alındığında, $a^3/P^2 = G(M_1 + M_2)/4\pi^2$, sistemin toplam kütlesi $(M_1 + M_2) = (1.66 \pm 0.05)M_{\odot}$ olarak bulunmuştur. Sistemin diğer mutlak parametreleri ise bir önceki kesimde KIC7542091 sistemi için kullanılan denklemler kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.21’de verilmiştir. Bileşenlerin mutlak parlaklıkları $M_V = M_{bol} - BC$ formülü kullanılarak, sırasıyla $M_{V1} = 5.448 \pm 0.084$, $M_{V2} = 4.185 \pm 0.045$ olarak elde edilmiştir. $BC = -0.175$ değeri sıcaklığa bağlı olarak elde edilmiştir (Cox vd. 2000).

Sistem için literatürde verilen E(B-V) değerleri dikkate alınarak yıldızlararası ortamın soğurma miktarı hesaplanmış ve sistemin uzaklığı Denklem 4.7’den yararlanarak bulunmuştur. Sonuçlar Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Çizelge 4.20. KIC 9649493 sistemi için literatürde verilmiş olan renk artığı ve yıldızlararası ortamın soğurma miktarı

E(B-V)	$A_v=3.2E(B-V)$	Kaynak	d(pc) Hesaplanan Uzaklık
0.089	0.285	Slawson vd. (2011)	632±8.6
0.101	0.323	Jayasinghe vd. (2018)	621±5.6
0.029	0.095	Montalto vd. (2021)	689±6.3
-	0.278	NASA/IPAC	634±5.8
-	-	Gaia DR3	677±3.5

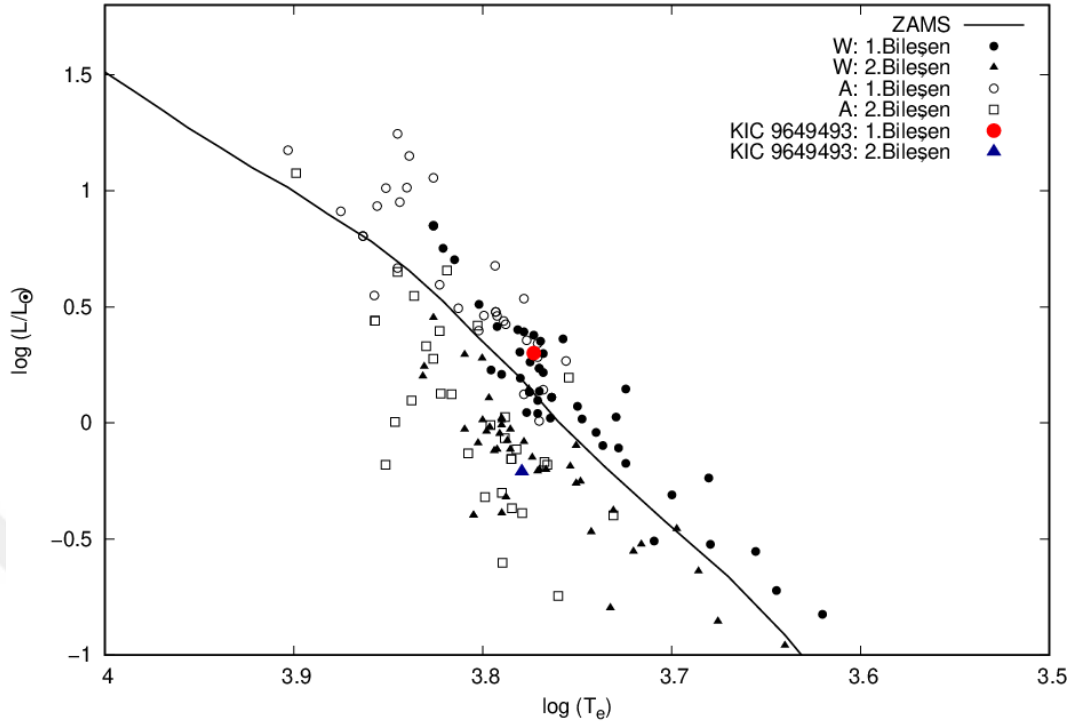
Slawson vd. (2011) tarafından verilen E(B-V) değeri dikkate alındığında sistemin uzaklığı NASA/IPAC Ekstragalaktik Veritabanı'ndan verilen uzaklık ile hata sınırları içerisinde aynı olduğu görülmektedir.

Sistemin mutlak parametreleri; ışık eğrisi çözümünden elde edilen parametreler dikkate alınarak hesaplanmış ve Çizelge 4.21'de verilmiştir.

Çizelge 4.21 KIC 9649493 sisteminin mutlak parametreleri

Parametreler	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
Kütle ($M_{\odot}$)	0.32 ± 0.07	1.33 ± 0.06
Yarıçap ($R_{\odot}$)	0.73 ± 0.05	1.34 ± 0.04
Işınım gücü ($L_{\odot}$)	0.62 ± 0.02	2.00 ± 0.02
M_{bol}	5.27 ± 0.03	4.00 ± 0.03
log g (cgs)	4.22 ± 0.05	4.31 ± 0.05
ρ (cgs)	1.19 ± 0.01	0.77 ± 0.01
a ($R_{\odot}$)	2.57 ± 0.08	

Elde edilen mutlak parametreler kullanılarak KIC 9649493 sistemi, W UMa türü sistemler için oluşturulmuş olan, etkin sıcaklık-ışınım gücü diyagramındaki konumu Şekil 4.32'de gösterilmiştir.



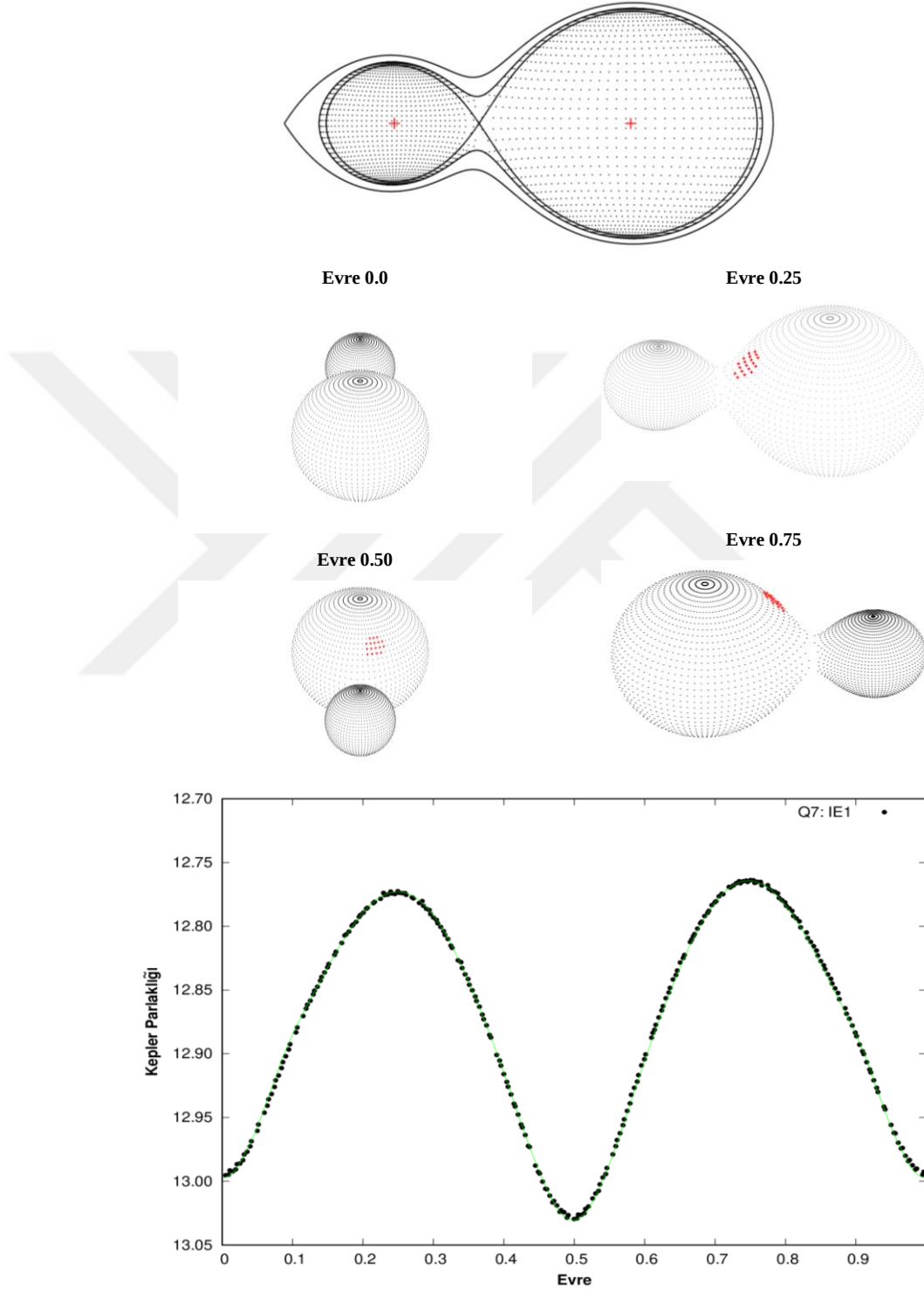
Şekil 4.32 KIC 9649493 sistemine ait bileşenlerin $\log T_{eff} - \log (L/L_{\odot})$ diyagramında konumu. W ve A türü sistem örnekleri Yakut ve Eggleton'dan (2005) ve ZAMS (Güneş bolluğu) Girardi vd. (2000) alınmıştır. Sistemin baş bileşeni kırmızı nokta ve yoldaş bileşeni mavi üçgen sembolü ile gösterilmiştir.

Şekil 4.32'den görüleceği üzere KIC 9649493 sisteminin baş bileşeni ZAMS'a yakın, diğer bileşeni ise ZAMS'ın altında bir konumda bulunmaktadır. Her iki bileşenin de W-türü sistemlerin bileşenleri ile uyumlu konumlarda olduğu görülmektedir.

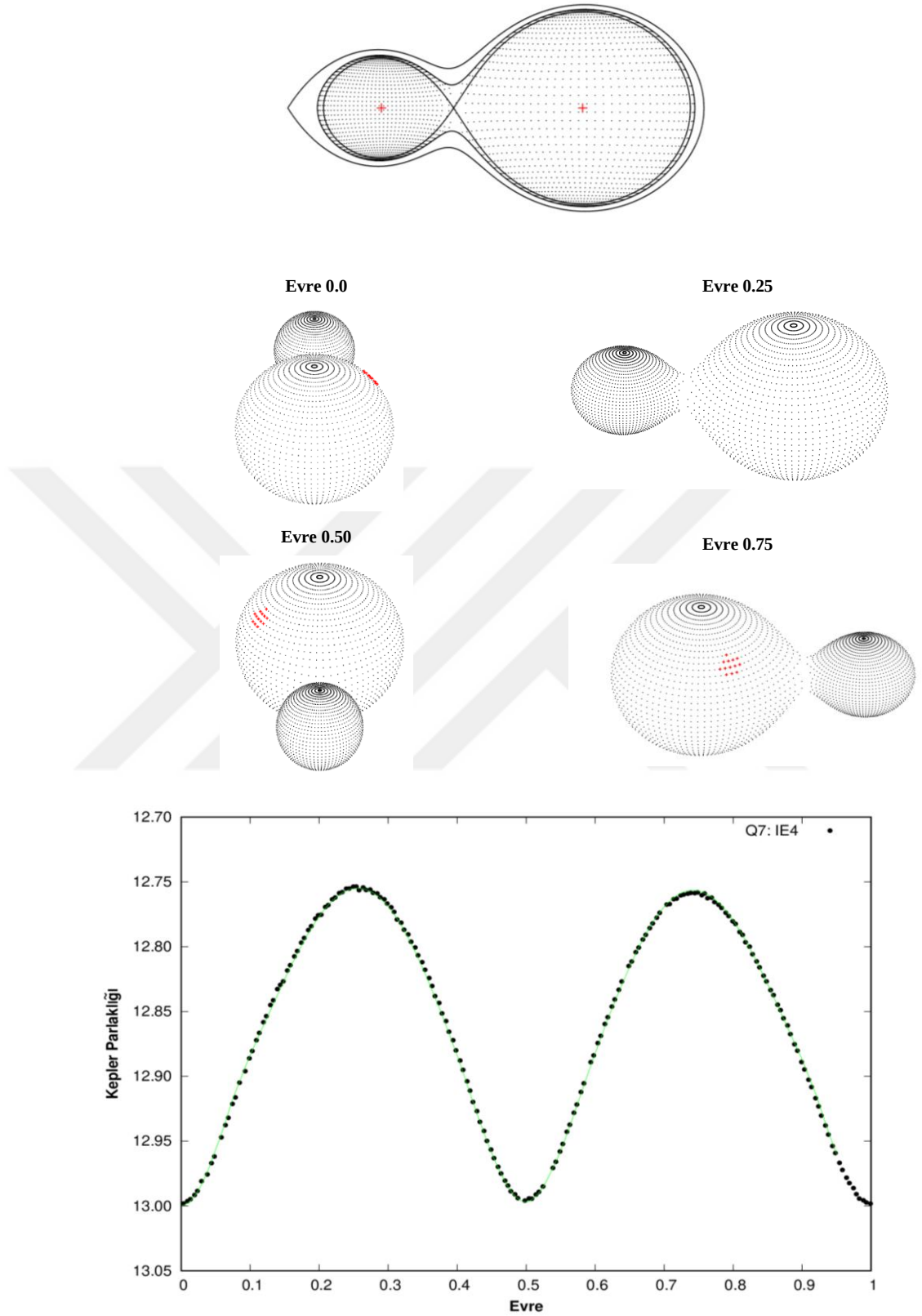
4.3.2 KIC 9649493 sisteminin leke modellemesi

KIC 9649493 sisteminin Q0-Q17 çeyreklerini kapsayan 141 adet ışık eğrisi üzerinde görülen O'Connell etkisi, yoldaş bileşenin 55° enlemine, sıcaklık faktörü 0.86 olan tek bir soğuk leke ile modellenebilmiştir. Işık eğrileri üzerinde gerçekleştirilen leke modellemesi sonucunda belirlenen, lekelerle ilişkin boylam ve açısız yarıçap sonuçları EK 3'te verilmiştir. O'Connell etkisi görülen Q7'deki ışık eğrilerinden, Şekil 4.33'te IE1'e ve Şekil 4.34'te IE4'e ait gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş bileşen

üzerindeki soğuk lekenin farklı yörünge evrelerindeki konumunu gösteren Roche geometrisi gösterilmiştir.

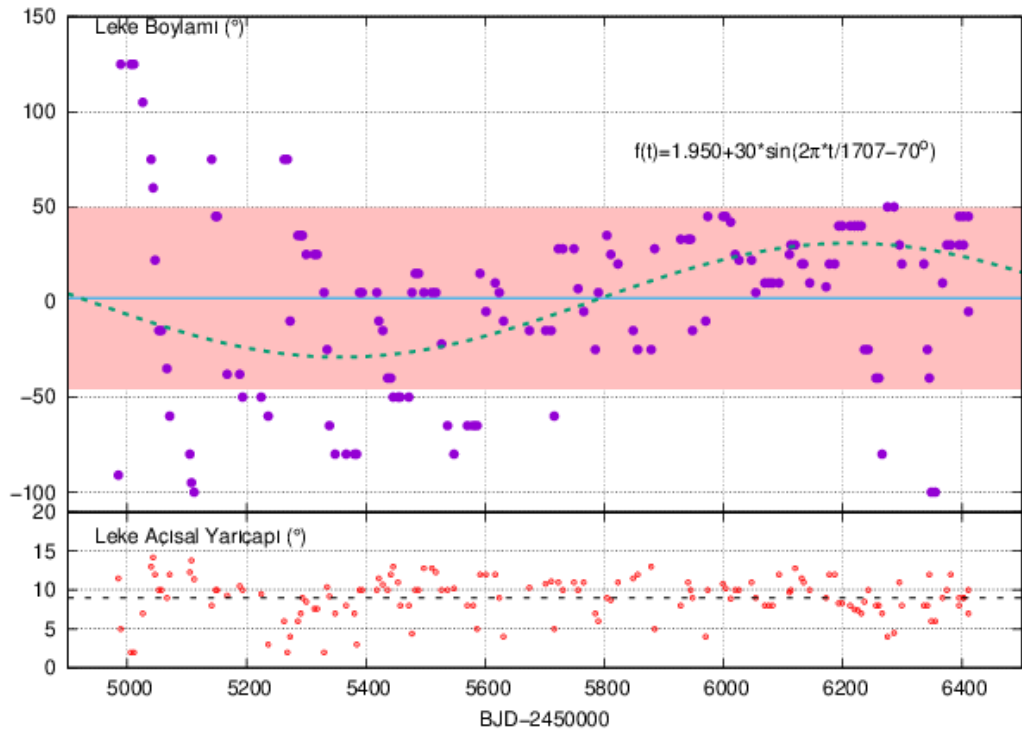


Şekil 4.33 KIC 9649493 Q7'deki IE1 gözlemsel ve teorik ışık eğrileri ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (üst panel)



Şekil 4.34 KIC 9649493 Q7'deki IE4 gözlemsel ve teorik ışık eğrisi ile yoldaş (alt panel) bileşen üzerindeki farklı yörünge evrelerinde görülen, modellenmiş soğuk yıldız leke bölgesini gösteren Roche geometrisi (st panel)

Leke modellemesinde kullanılan program, sistemin bileşenlerin Roche geometrisine ilişkin boylamsal hareketini 0° - 360° aralığında modellemektedir. Şekil 4.35'te yer alan üst panelde negatif leke boylam değerleri, 180° boylamından büyük olan leke konumları değişimin daha iyi anlaşılabilmesi için 360° den çıkarılarak gösterilmiştir. Yoldaş bileşen üzerinde yer alan lekenin, -100° ile 140° (Şekil 4.35 üst panel) boylamları boyunca hareket ettiği ve açısal yarıçaplarının da 0° ile 15° arasında değişim (Şekil 4.35 alt panel) gösterdiği anlaşılmaktadır.



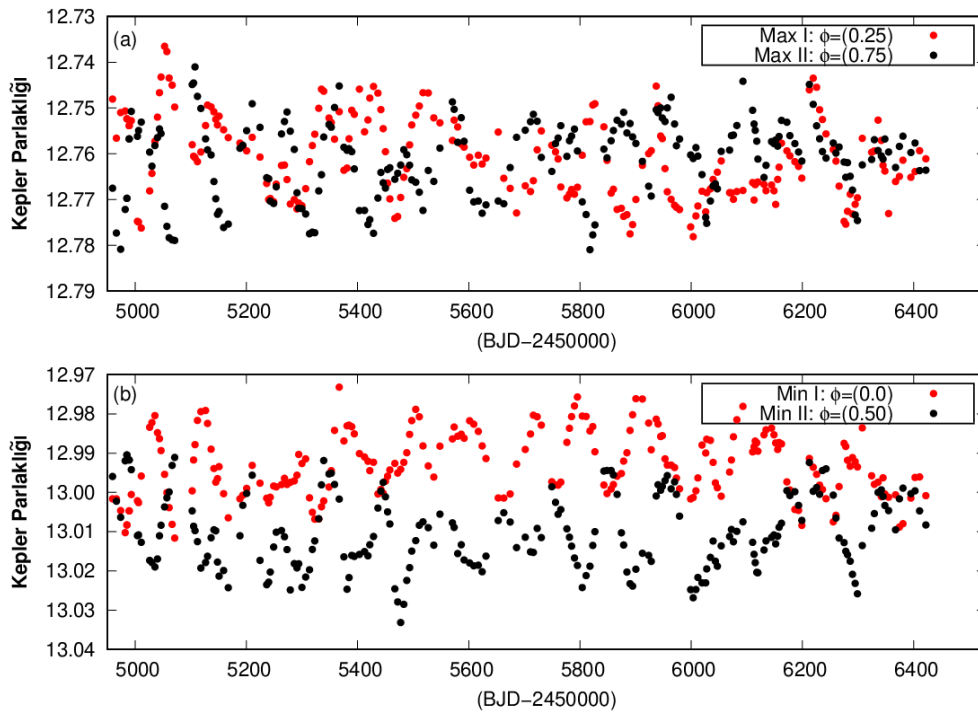
Şekil 4.35 KIC 9649493 sistemine ait yoldaş bileşen üzerindeki tek lekenin zamana bağlı boylamsal (üst panel) ve buna bağlı açısal yarıçap (alt panel) değişimi. Şekil üzerinde leke boylamına ilişkin $\pm\sigma$ hata sınırı ve olası periyodik değişime ilişkin kaba fit gösterilmiştir.

Yoldaş bileşen üzerine yerleştirilen soğuk lekenin zamana göre davranışı incelendiğinde, büyük boylam değerlerinin genel olarak leke yarıçapının çok büyük olduğu durumlarda ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Lekelerin ekstremum konumlar hariç tutulduğunda, soğuk lekelerin boylamsal olarak -50° ile 50° aralığında yer değiştirdiğini söylemek mümkündür. Şekil 4.35'ten de görüleceği üzere ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisinin lekelerin konum ve boyutlarındaki değişimle doğrudan açıklanabildiğini söyleyebiliriz. Ayrıca Şekil 4.35'te görülen bir başka davranış ise daha büyük zaman ölçeğinde de lekeler

ilişkin sistematik bir değişimin gerçekleştiğidir. Çok ayrıntılı bir değerlendirme yapılmamış olsa da lekenin boylamsal konumu yaklaşık 1700 gün dönemli ve 30° genlikle değişim göstermektedir.

4.3.3 KIC 9649493 sisteminde O'Connell etkisinin frekans analizi

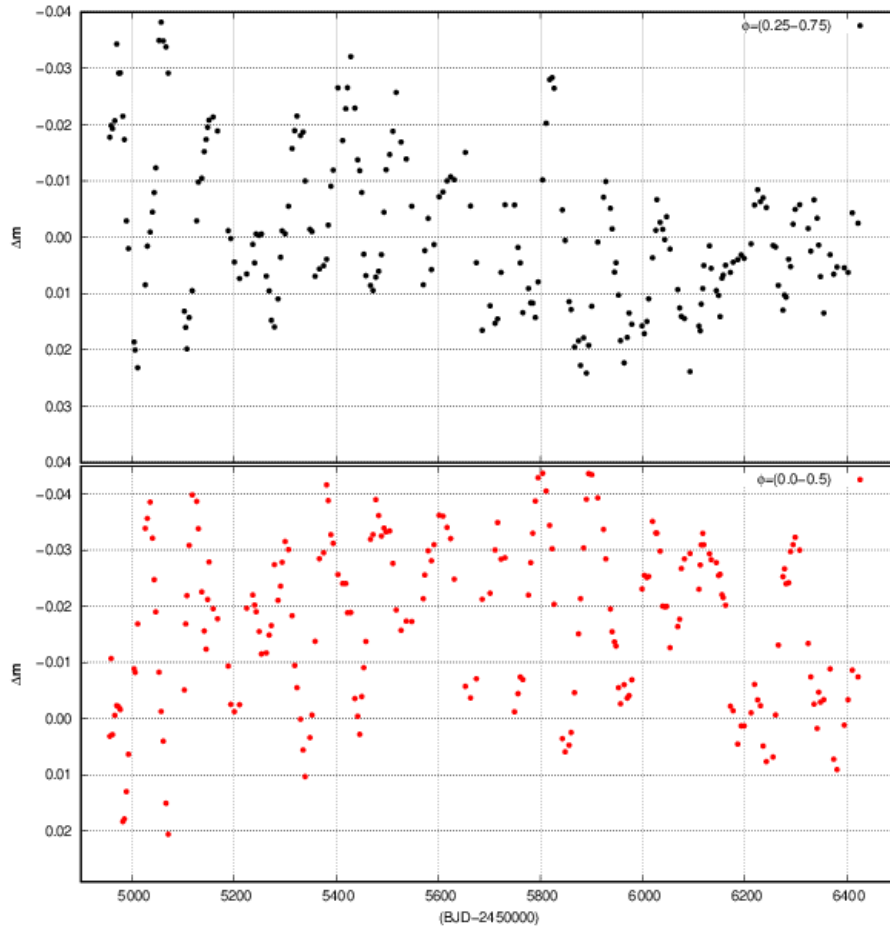
KIC 9649493 sisteminin yaklaşık dört yıllık verisi kullanılarak elde edilen 141 adet ışık eğrisinden ölçülen minimum ve maksimum parlaklıkların zamana göre değişimleri Şekil 4.36'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere sisteminin birinci minimum (Min I), ikinci minimum (Min II), birinci maksimum (Max I) ve ikinci maksimum (Max II) evrelerindeki parlaklıkların zamana göre değişimine bakıldığında genel olarak birbirine zıt fazda sistematik bir şekilde değişim göstermektedir. Maksimum parlaklık seviye değişiminin birbiriyle korelasyon katsayısı $r = -0.69$ iken minimum parlaklık seviyesi değişimlerin korelasyon katsayısı ise $r = -0.63$ olarak bulunmuştur. Bu durum leke etkinliğinin maksimumları ve minimumları değiştirdiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.36 KIC 9649493 sisteminin maksimum (a) ve minimum (b) evrelerinde ölçülen parlaklıkların zamana göre değişimi

Zamana bağılı olarak gerçekleşen bu değişimi nicel hale getirmek amacıyla O'Connell etkisi olarak tanımlanan maksimum parlaklıklar arasındaki farkla birlikte minimum parlaklıklar arasındaki farkın değişimi ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Şekil 4.37'de sırasıyla maksimum seviyeleri arasındaki fark (üst panel) ve minimum seviyeleri arasındaki fark (alt panel)'lar incelendiğinde her iki değişimin de pozitif ve negatif değerler alabildiği ve genlik olarak da değişim gösterdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca ışık eğrilerinde durağan veya değişimin olmadığı bir zaman veya zaman aralığının da bulunmadığı görülmektedir. Bununla birlikte değişimin periyodik yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır.

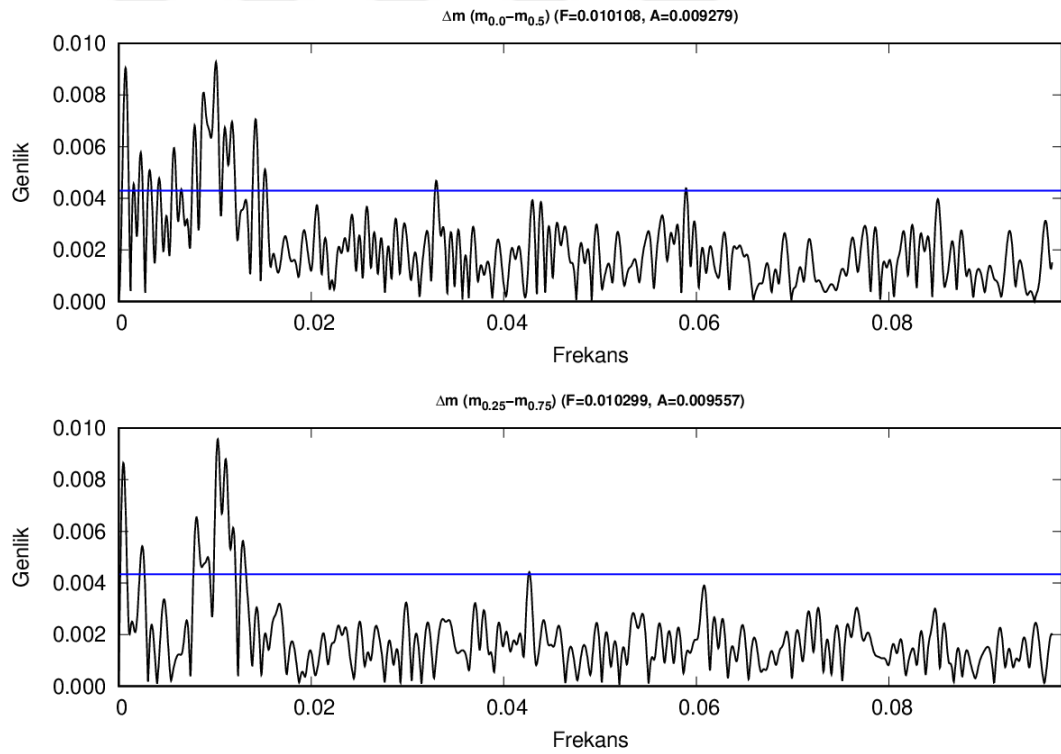


Şekil 4.37 KIC 9649493 sisteminin sisteminin birinci ve ikinci maksimum evresindeki parlaklıklar arasındaki fark (üst panel) ile, birinci ve ikinci minimum evresindeki parlaklıklar arasındaki farkın (alt panel) zamana göre değişimi

Işık eğrilerinde görülen minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki fark ile lekelerin boylam ve açısai yarıçapları arasındaki olası bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek amacıyla frekans bölgesinde her bir parametrenin zamana göre değişimi incelenmiştir. Bu amaçla Period04 (Lenz & Breger 2005) programı kullanılmıştır.

Işık eğrilerinde görülen minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki fark ile lekelerin boylam ve açısai yarıçapları arasındaki olası bir ilişkinin varlığını ortaya çıkarabilmek amacıyla Period04 (Lenz & Breger 2005) programında Fourier analizi yapılmıştır.

Şekil 4.38’de ise minimum (üst panel) ve maksimum (alt panel) parlaklıklar arasındaki farkın frekans bölgesindeki değişimi ve Çizelge 4.22’de Fourier analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.38 KIC 9649493 sisteminin minimum parlaklıkları arasındaki fark (üst panel) ve maksimum parlaklıkları arasındaki farkların (alt panel) frekans bölge analizleri (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4σ sınırı)

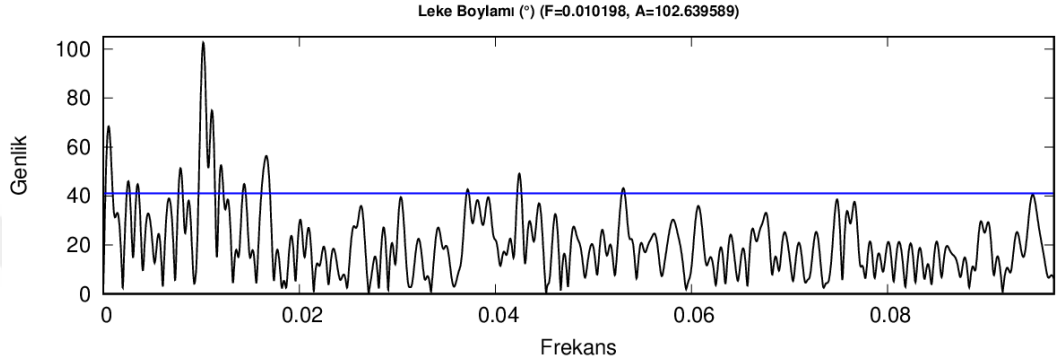
Çizelge 4.22 KIC 9649493 sisteminin minimum ve maksimum parlaklıkları arasındaki farka ilişkin Fourier analiz sonuçları

Δm ($m_{0.0} - m_{0.5}$)	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (deg)	Evre (rad)	P (gün)
f_1	0.010108 ± 0.000030	0.009279 ± 0.001044	0.097713 ± 0.012850	98.93 ± 0.30
f_2	0.009048 ± 0.000037	0.009711 ± 0.001082	0.157604 ± 0.015953	110.53 ± 0.45
f_3	0.000707 ± 0.000050	0.007147 ± 0.012763	0.742248 ± 0.015895	1414.75 ± 100.68
f_4	0.015232 ± 0.000061	0.005825 ± 0.000966	0.120854 ± 0.024189	65.65 ± 0.26
f_5	0.011804 ± 0.000070	0.005092 ± 0.000989	0.244062 ± 0.032735	84.72 ± 0.50
f_6	0.005619 ± 0.000074	0.004856 ± 0.001041	0.384975 ± 0.029882	177.96 ± 2.33
Δm ($m_{0.25} - m_{0.75}$)	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (deg)	Evre (rad)	P (gün)
f_1	0.010299 ± 0.000030	0.009557 ± 0.000859	0.727030 ± 0.012727	97.10 ± 0.28
f_2	0.000517 ± 0.000036	0.005731 ± 0.001095	0.061297 ± 0.014092	1935.51 ± 135.93
f_3	0.009265 ± 0.000050	0.008086 ± 0.014564	0.682282 ± 0.013061	107.93 ± 0.58
f_4	0.010919 ± 0.000063	0.005004 $\pm 0.00104)$	0.584588 ± 0.023416	91.59 ± 0.52
f_5	0.002514 ± 0.000073	0.005157 ± 0.000918	0.026177 ± 0.027673	397.71 ± 11.64
f_6	0.011711 ± 0.000074	0.004464 ± 0.001062	0.426033 ± 0.028891	85.39 ± 0.54

Minimum parlaklıklar arasındaki fark için en büyük genlikli değişimi $f_{\min} = 0.010108 \pm 0.000030$ gün⁻¹ frekansında bulunurken, maksimum parlaklıklar

arasındaki fark için $f_{\max} = 0.010299 \pm 0.000030$ gün⁻¹ değeri bulunmuştur. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler sırasıyla $P_{\min} = 98.93 \pm 0.30$ ve $P_{\max} = 97.10 \pm 0.28$ gün'dür.

Işık eğrisi çözümü ile elde edilen lekeye ilişkin boylam değerlerinin frekans analizi sonuçları Çizelge 4.23'te ve leke boylamlarının frekans bölgesi analizi Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 KIC 9649493 sistemi leke boylamının frekans bölge analizi (sürekli çizgi genlik için belirlenen 4 σ sınırı)

Çizelge 4.23 KIC 9649493 sisteminin leke boylamlarının frekans bölgesi analiz sonuçları

Leke Boylam	Frekans (gün ⁻¹)	Genlik (°)	Evre (rad)	P (gün)
f₁	0.010198 ± 0.000043	102.639589 ± 10.797159	0.854306 ± 0.019593	98.06 ± 0.41
f₂	0.000586 ± 0.000078	55.369627 ± 11.403436	0.151896 ± 0.031982	1707.80 ± 233.34
f₃	0.011987 ± 0.000069	61.633959 ± 11.909806	0.445070 ± 0.028333	83.43 ± 0.48
f₄	0.002618 ± 0.000094	52.024624 ± 11.256159	0.821763 ± 0.048415	382.01 ± 13.78

Analizler sonucunda leke için büyük genlikli değişime karşılık gelen frekans değeri $f_{\text{leke}} = 0.010198 \pm 0.000043$ gün⁻¹ ve buna karşılık gelen dönem ise $P(\text{leke}) = 98.06 \pm 0.41$ gün olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.23'te görülen daha küçük genlikli ilave frekanslara

karşılık gelen dönemler dikkate alındığında yaklaşık 98 gün dönemli değişim dışındaki frekansların birbirlerinin multipleri olma ihtimali bulunmaktadır. Fakat kesin bir ayırım yapabilmek için daha uzun zaman aralığına dağılmış parametrelerin frekans analiz sonuçlarına bakılması gerekmektedir. Şekil 4.35'te leke boylamının ve açısall boyutunun zamana bağılı olarak değişimi için elde edilen dönem değeri yaklaşık 1700 gün olarak belirlenmişti, Çizelge 4.22 ve 4.23'te verilen frekans analizi sonuçlarında elde edilen bu dönem değerine çok yakın sonuçların olduğu görülmektedir. Buradan KIC 9649493 sistemi için leke etkinliğinin genel olarak leke boylamındaki değişimden kaynaklandığını söyleyebiliriz.



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

O'Connell etkisi (O'Connell 1951; Milone 1968), eşit olmayan tutulma dışı maksimuma sahip asimetrik bir ışık eğrisi ile karakterize edilir. Ancak yüzyılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen, O'Connell etkisinin altında yatan fiziksel süreçler hala gizemini korumaktadır. Wilsey & Beaky (2009), O'Connell etkisine neden olabilecek birkaç farklı süreçten en belirgin olanların yıldız lekeleri ve kütle transferi olduğunu ve farklı sistemlerde farklı süreçler sonucunda bu etkiyle karşılaşılabilceğini belirtmişlerdir. Örtlen çift sistemler ve tek yıldızlar, yıldız lekelerinin varlığıyla düzensiz ışık eğrileri sergileyebilmektedir. Birçok çalışmada (Debski vd. 2015, Pan ve Zhang 2023), yıldız yüzeylerinde soğuk veya sıcak lekelerin bulunduğu varsayılarak düzensiz ışık eğrileri modellenmektedir.

W UMa türü örtlen çiftlerin ışık eğrilerinin maksimum ve minimum seviyeleri de zamanla değişim gösterir. Bu değişimler aynı zamanda ışık eğrilerinde asimetriye neden olduğundan, maksimum ve minimum evrelerinde kaymalara neden olabilmektedir. Bu değişimlerin doğasını anlayabilmek için uzun zaman aralığında alınan veriler üzerinde yapılacak ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Son zamanlarda uydu verilerinden gelen uzun yıllara yayılmış kesintisiz fotometrik gözlemler, araştırmacılara yıldızların ışık eğrilerinde bulunması olası, hızlı ve dinamik değişimleri incelemede büyük olanaklar sunmaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında W UMa türü örtlen çift sistemlerde gözlenen O'Connell etkisinin fotometrik olarak ayrıntılı incelemesi yüksek hassasiyete sahip *Kepler* verileriyle yapılmıştır. W UMa türü sistemlerde gözlenen bu etkiyi incelemek üzere, *Kepler* uzay teleskobunun görüş alanında yer alan ve *Kepler* veri tabanında yaklaşık 4 yıllık veriye sahip KIC 7542091, KIC 7512381 ve KIC 9649493 sistemleri seçilmiştir. Bunlar, görünür parlaklıkları 13^m'den daha parlak ve yörünge dönemleri 0.5 gün den daha kısa olan ve literatürde O-C değişimlerinde ters korelasyon gösteren sistemler olarak tanımlanmaktadır (Tran vd. 2003, Balaji vd. 2015).

Literatürde bu tez çalışması kapsamında incelenen sistemlerin fotometrik verileri üzerinde ayrıntılı çalışması bulunmamaktadır. Ayrıca sistemlerin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkileri ayrıntılı olarak ilk kez bu çalışmada incelenmiştir.

KIC 7542091 sisteminin ayrıntılı fotometrik çalışmasında, leke etkisinin minimum olduğu ışık eğrisi ile Asiago tayflarından elde edilen dikine hız eğrisi eş zamanlı çözülerek sistemin mutlak parametrelerine ilk kez bu çalışmada ulaşılmıştır. Sistemin TUG ve Asiago tayflarından belirlenen tayf türü sırasıyla F6-F8 ve G2V olarak belirlenmiştir. Bu sisteme ilişkin, literatürde verilen fotometrik kütle oranları (Çizelge 2.1) ile bu tez çalışmasında elde edilen tayfsal kütle oranı değerlerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Sistemin, tayfsal kütle oranı $q = 3.417$ olan W-alt ürü W UMa olduğu belirlenmiştir. Bu kütle oranı sabit tutularak toplam 18 çeyrekte elde edilen 170 adet ışık eğrisinin leke modellemesinde de kullanılmıştır. Sistemin ışık eğrilerinde gözlenen O'Connell etkisi, yoldaş bileşen üzerindeki farklı enlemlere yerleştirilen iki soğuk leke ile modellenmiştir. Yapılan leke modellemelerinden, iki lekenin boylamının ve ışık eğrilerinin minimum ve maksimum parlaklık farklarının zamana göre değişimleri ayrı ayrı incelenmiştir. Bunun sonucunda sistemde modellenen iki lekenin yaklaşık 150 günlük bir çevrimsel değişime sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca ışık eğrilerinin maksimum ve minimum parlaklık farklarının zamanla değişimleri de yaklaşık 150 günlük bir dönemlilik vermiştir. KIC 7542091 sisteminin lekeleriyle, minimum ve maksimum parlaklıklar arasındaki farkın zamana bağlı olarak çevrimli bir şekilde benzer değişim gösterdiği bu çalışmada ortaya konulmuştur.

KIC 7512381 sisteminin ayrıntılı fotometrik çalışması yapılmıştır. Fotometrik analizden sistemin kütle oranı $q = 1.45$ olan W-alt türü bir W UMa olduğu belirlenmiştir. Sistemin 142 adet ışık eğrisinde gözlenen O'Connell etkisi yoldaş bileşen üzerine yerleştirilen soğuk bir leke ile modellenmiştir. Leke boylamı ile ışık eğrilerinin minimum ve maksimum parlaklık farklarının zamana göre değişimleri incelenmiştir. Maksimumlar arası parlaklık farkının zamana göre değişimi 123 güne karşılık gelirken, minimumlardaki parlaklık farkının zamana göre değişimi ise 165 gün olarak karşımıza çıkmıştır. Sistemin ışık eğrilerinde modellenen lekenin boylamsal değişimi ise 515 günlük bir çevrimsel yapı ortaya koymuştur. Buna göre sistemdeki soğuk lekenin 515 günlük boylamsal

değişiminin, minimum ve maksimum parlaklık farklarının zamana bağlı değişiminin ortalaması olan 144 gün değeriyle uyumlu olmadığı görülmüştür.

KIC 9649493 sisteminin i-q taraması yapılarak fotometrik kütle oranı $q = 4.139$ olarak elde edilmiştir. Yaklaşık 4 yıllık veri seti ile oluşturulan 141 adet ışık eğrisi üzerinden, sisteme ait O'Connell etkisi, yoldaş bileşen üzerine yerleştirilen tek bir soğuk lekeyle modellenmiştir. Lekenin boylamsal değişiminin 98 günlük çevrimsel bir yapı gösterdiği ve bunun sistemin ışık eğrilerinde minimumlar arasındaki 97 günlük ve maksimumlar arasındaki 99 günlük parlaklık farklarının zamanla değişimi ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu üç sistemin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkileri yıldız leke modeliyle açıklanmaya çalışılmıştır. Sistemler için oluşturulan ışık eğrilerindeki minimum ve maksimum parlaklık farkının ve yapılan leke modellemesi sonucunda leke boylamlarının zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Zamana bağlı olarak gerçekleşen bu değişimi nicel hale getirmek amacıyla O'Connell etkisi olarak tanımlanan maksimum parlaklıklar arasındaki farkla birlikte minimum parlaklıklar arasındaki farkın değişimi de frekans bölgesinde ayrıntılı çalışması sonucu özetle Çizelge 4.24'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Bu tez çalışması kapsamında incelenen üç sistemin minimum ve maksimum parlaklıkların farklı ile lekeye ilişkin boylamın zamana bağlı frekans analizi sonuçları

Değişim	KIC 7542091	KIC 7512381	KIC 9649493
Δm (MinI-MinII)	150 gün	165 gün	99 gün
Δm (MaxI-MaxII)	148 gün	123 gün	97 gün
Leke Boylamı	151 - 150 gün	515 gün	98 gün

Çizelge 4.24'ten de görüleceği üzere lekelerin zamana bağlı boylamsal değişimi ile maksimum ve minimum parlaklık farklarının zaman göre değişimlerinin KIC 7542091 ve KIC 9649463 sisteminde çok yakın çevrimsel dönemler veridiği görülmüştür (Çizelge 4.21). KIC 7542091 ve KIC 9649463 sisteminde modellenen lekenin hem maksimum ve

hem de minimum evrelerinde etkin olduğu ve dolayısıyla O'Connell etkisinin maksimumlarının yanında minimumlarda etkilediği sonucuna varılmıştır. KIC 7512381 sisteminde ise minimum ve maksimum parlaklık farkının zamana bağlı değişimleri birbiriyle uyumlu iken lekenin boylamsal değişimi ile uyumluluk görülmemiştir. Sistemlerin ışık eğrilerinde görülen O'Connell etkisinin lekenin zamana bağlı boylamsal değişimi hakkında kesin bir ayırım yapabilmek için daha uzun zaman aralığına dağılmış parametrelerin frekans analiz sonuçlarına bakılması gerekmektedir söyleyebiliriz.

Bu tez çalışmasında incelen    sistemden KIC 7542091 için dikine hız eğrisi çözümünden elde edilen tayfsal kütle oranı ve diğer iki sistem için ise ışık eğrisi çözümünden (i-q taraması sonucunda) elde edilen fotometrik kütle oranı kullanılarak literat deki bağıntılar yardımıyla mutlak parametreler elde edilmiştir. Elde edilen mutlak parametreler dikkate alınarak oluşturulan Işınım gücü-Etkin sıcaklık diyagramında    sistemin de literatürde iyi bilinen W UMa türü sistemlerin W-alt türü ile uyumlu bir bölgede bulunduğu ortaya konmuştur.

Literatürde *Kepler* uydu verileri incelenen ve O-C eğrilerinde ters korelasyon gösterdiği bilinen bazı sistemlerin zamana bağlı leke modülasyonları üzerine yapılan çalışmalarda, bu tür mod lasyonların manyetik aktivite kaynaklı değişimler olabileceği belirtilmiştir (Tran vd. 2013). Ayrıca başka çalışmalarda ise O-C değişimlerinde özellikle ters-korelasyon gösteren sistemlerin fotometrik ışık eğrilerinin maksimumlarında görülen asimetrik yapıların leke modellenmesiyle açıklanmaya çalışılmıştır (Debski vd. 2015, Balaji vd. 2021).

Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, O'Connell etkisi gösteren sistemlerin uzun süreli fotometrik gözlemlerine ilişkin ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç olduğunu ortaya koymaktadır. Son yıllarda *Kepler* (Borucki vd. 2010) ve *TESS* (Ricker vd. 2014) gibi uzay görevlerinden elde edilen yüksek hassasiyetli verilerin örten çift sistemlerde görülen bu olguları daha iyi anlamamıza olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonymous. 2008. Web Sitesi: https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/kepler-drawing.html, Erişim Tarihi: 12.07.2023
- Anonymous. 2024. Web Sitesi: <https://ned.ipac.caltech.edu>, Erişim Tarihi: 24.01.2024
- Anonymous. 2024. Web Sitesi: <https://www.nasa.gov/missions/sdo/what-will-solar-cycle-25-look-like/>, Erişim Tarihi: 12.02.2024
- Anonymous. 2024. Web Sitesi: <http://keplerebs.villanova.edu/>, Erişim Tarihi: 22.02.2024
- Armstrong, D. J., Gomez Maqueo Chew, Y., Faedi, F., & Pollacco, D. 2014. VizieR Online Data Catalog: Temperatures of Kepler eclipsing binaries VizieR Online Data Catalog, J-MNRAS.
- Auvergne, M., Bodin, P., Boissard, L., Buey, J. T., Chaintreuil, S., Epstein, G. & Zanatta, P. 2009. The CoRoT satellite in flight: description and performance. *Astronomy & Astrophysics*, 506(1), 411-424.
- Avni, Y. 1976. The eclipse duration of the X-ray pulsar 3U 0900-40. *The Astrophysical Journal*, 209, 574-577.
- Bai, Y., Liu, J., Wicker, J., Wang, S., Guo, J., Qin, Y. & Cao, Z. 2018. The UV emission of stars in the LAMOST Survey. I. Catalogs. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 235(1), 16.
- Bai, Y., Liu, J., Bai, Z., Wang, S., & Fan, D. 2019. VizieR Online Data Catalog: Regression of stellar effective temperatures in GaiaDR2 (Bai+, 2019). VizieR Online Data Catalog, J-AJ.
- Bailer-Jones, C. A. L., Rybizki, J., Fouesneau, M., Demleitner, M., & Andrae, R. 2021. Estimating distances from parallaxes. V. Geometric and photogeometric distances to 1.47 billion stars in Gaia Early Data Release 3. *The Astronomical Journal*, 161(3), 147.
- Balaji, B., Croll, B., Levine, A. M., & Rappaport, S. 2015. Tracking the stellar longitudes of starspots in short-period Kepler binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(1), 429-444.
- Baliunas, S. L., & Vaughan, A. H. 1985. Stellar activity cycles. *Annual review of astronomy and astrophysics*, 23(1), 379-412.
- Breger M., Stich J., Garrido R., Martin B., Jiang S.Y., Li Z.P., Hube D.P., Ostermann W., Paparo M. ve Scheck M., 1993. Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Bu-Candri in the Praesepe Cluster. *Astronomy and Astrophysics*, 271 (2): 482-486.

- Berger, T. A., Huber, D., Gaidos, E., & van Saders, J. L. 2018. Revised radii of Kepler stars and planets using Gaia Data Release 2. *The Astrophysical Journal*, 866(2),99.
- Binnendijk, L. 1970. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. *Vistas in Astronomy*, 12, 217-256.
- Borucki, W. J., Koch, D., Basri, G., Batalha, N., Brown, T., Caldwell, D., & Prsa, A. 2010. Kepler planet-detection mission: introduction and first results. *Science*, 327(5968), 977-980.
- Charbonneau, P. 2010. Dynamo models of the solar cycle. *Living Reviews in Solar Physics*, 7(1), 1-91.
- Chen, D. C., Yang, J. Y., Xie, J. W., Zhou, J. L., Dong, S., Zheng, Z., & Luo, A. 2021. VizieR Online Data Catalog: PAST. II. LAMOST-Gaia-Kepler catalog of 35835 stars (Chen+, 2021). *VizieR Online Data Catalog*, J-AJ.
- Csizmadia, S., & Klagyivik, P. 2004. On the properties of contact binary stars. *Astronomy & Astrophysics*, 426(3), 1001-1005.
- Collier Cameron, A. 1997. Eclipse mapping of late-type close binary stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 287, Issue 3, pp. 556-566., 287, 556 566.
- Cox, Arthur N. 2000. *Allen's astrophysical quantities*, 4th ed. Publisher: New York: AIP Press; Springer, 2000. Edited by Arthur N. Cox. ISBN: 0387987460.
- Davidge, T. J., & Milone, E. F. 1984. A study of the O'Connell effect in the light curves of eclipsing binaries. *Astrophysical Journal Supplement Series* (ISSN 0067-0049), vol. 55, Aug. 1984, p. 571-584. Research supported by the University Grants Committee, Natural Sciences and Engineering Research Council, and University of Calgary., 55, 571-584.
- Debosscher, J., Blomme, J., Aerts, C., & De Ridder, J. 2011. Global stellar variability study in the field-of-view of the Kepler satellite. *Astronomy & Astrophysics*, 529, A89.
- Debski, B.; Baran, A.; Zola, S. 2014. A study of a spot migration in two contact binaries: KIC 2159783 and KIC 6118779. *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*, 43, 427-428.
- Duerbeck, H. W. 1984. Constraints for cataclysmic binary evolution as derived from space distributions. In *International Astronomical Union Colloquium*. Vol. 80, pp 363-385. Cambridge University Press.
- Eggleton, P. P. 1983. Approximations to the radii of Roche lobes. *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 268, May 1, 1983, p. 368, 369., 268, 368.

- Frasca, A., Molenda-Żakowicz, J., De Cat, P., Catanzaro, G., Fu, J. N., Ren, A. B., Luo, A.L., Shi, J.R., WU, Y., and Zhang, H. T. 2016. Activity indicators and stellar parameters of the kepler targets-an application of the roffit pipeline to lamost-kepler stellar spectra. *Astronomy & Astrophysics*, 594, A39.
- Gaia Collaboration. 2018. VizieR online data catalog: Gaia DR2 (gaia collaboration, 2018). VizieR Online Data Catalog, I-345.
- Gaia Collaboration; Smart, R. L.; Sarro, L. M.; Rybizki, J. ; Reyle, C. ; Robin, A. C.; Hambly, N. C.; Abbas, U.; Barstow, M. A.; de Bruijne, J. H. J.; Bucciarelli, B. ; Carrasco, J. M.; Cooper, W. J. ; Hodgkin, S. T. ; Masana, E. ; Michalik, D.; Sahlmann, J. ; Sozzetti, A. ; Brown, A. G. A. ; Vallenari, A. 2020. VizieR Online Data Catalog: Gaia Catalogue of Nearby Stars - GCNS (Gaia collaboration, 2021). 2020. 2020yCat...36490006G.
- Gaia Collaboration. 2022. VizieR Online Data Catalog: Gaia DR3 Part 1. Main source (Gaia Collaboration, 2022). VizieR Online Data Catalog, I-355.
- Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., & Chiosi, C. 2000. VizieR Online Data Catalog: Low-mass stars evolutionary tracks & isochrones (Girardi+, 2000). VizieR Online Data Catalog, J-A+.
- Green, M. J., Maoz, D., Mazeh, T., Faigler, S., Shahaf, S., Gomel, R., & Rix, H. W. 2023. VizieR Online Data Catalog: 15000 ellipsoidal binary candidates in TESS (Green+, 2023). VizieR Online Data Catalog, J-MNRAS.
- Gürol, B. 2016. Absolute and geometric parameters of contact binary V1918 Cyg. *New Astronomy*, 47, 57-63.
- Gürol, B., Gökay, G., Saral, G., Gürsoytrak, S. H., Cerit, S., & Terzioğlu, Z. 2016. Absolute and geometric parameters of contact binary GW Cnc. *New Astronomy*, 46, 3139.
- Hale, G. E. 1908. On the probable existence of a magnetic field in sun- spots. *Astrophysical Journal*, vol. 28, p. 315, 28, 315.
- He, J.J., Qian, S.B., 2009. The Observation and Study of Shallow-contact Binary Systems, *ASPC*, 404, 194.
- Heyrovský, D., & Sasselov, D. 2000. Detecting stellar spots by gravitational microlensing. *The Astrophysical Journal*, 529(1), 69.
- Hoffman, D. I., Harrison, T. E., & McNamara, B. J. 2009. Automated variable star classification using the Northern Sky Variability Survey. *The Astronomical Journal*, 138(2), 466.

- Huber, D., Aguirre, V. S., Matthews, J. M., Pinsonneault, M. H., Gaidos, E., García, R. A., & Stello, D. 2014. Revised stellar properties of Kepler targets for the quarter 1–16 transit detection run. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 211(1), 2.
- Huenemoerder, D. P., Ramsey, L. W., & Buzasi, D. L. 1989. Titanium oxide variations in II Pegasi. *Astronomical Journal* (ISSN 0004-6256), vol. 98, Dec. 1989, p. 2264-2267., 98, 2264-2267.
- Jayasinghe, T., Kochanek, C. S., Stanek, K. Z., Shappee, B. J., Holoién, T. W., Thompson, T. A. & Will, D. 2018. The ASAS-SN catalogue of variable stars I: The Serendipitous Survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 477(3), 3145-3163.
- Kalimeris, A., Rovithis-Livaniou, H., & Rovithis, P. 2002. Starspots and photometric noise on observed minus calculated (O-C) diagrams. *Astronomy and Astrophysics*, 387, 969.
- Kobulnicky, H. A., Molnar, L. A., Cook, E. M., & Henderson, L. E. 2022. VizieR Online Data Catalog: Kepler P < 2d close binaries (Kobulnicky+, 2022). VizieR Online Data Catalog, J-ApJS.
- Lenz P., Breger M. 2005. *Communications in Asteroseismology*, 146, 53.
- Li, Xu-Zhi; Liu, Liang; Zhu, Li-Ying. 2020. Distribution of physical parameters for 380 contact binaries in the Kepler field. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, V 72, 103 L.
- Limber, D. N. 1963. Surface Forms and Mass Loss for the Components of Close Binaries-General Case of Non-Synchronous Rotation. *The Astrophysical Journal*, 138, 1112.
- Linnell, Albert P. 1991c. A test of the starspot hypothesis for W-type W Ursae Majoris light curves. *Astrophysical Journal*, 383, 330.
- Lister, T. A., Collier Cameron, A., & Hilditch, R. W. 2001. Starspot distributions on XY UMa during 1997–2000 from eclipse mapping. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 326(4), 1489-1498.
- Liu, Q. Y., & Yang, Y. L. 2003. A Possible Explanation of the O’Connell Effect in Close Binary Stars. *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3(2), 142.
- Lucy, L. B. 1967. Gravity-darkening for stars with convective envelopes. *Zeitschrift für Astrophysik*, Vol. 65, p. 89, 65, 89.
- Lucy, L.B. 1968a. The Light Curves of W Ursae Majoris Stars. *The Astrophysical Journal*, 153:877–884,

- Lucy, L.B. 1968b. The Structure of Contact Binaries. *The Astrophysical Journal*, 151: 1123–1135.
- Lucy, L. B., & Wilson, R. E. 1979. Observational tests of theories of contact binaries. *Astrophysical Journal*, Part 1, vol. 231, July 15, 1979, p. 502-513., 231, 502-513.
- Luo, A.-L.; Zhao, Y.-H.; Zhao, G. vd. 2018. VizieR Online Data Catalog: LAMOST DR4 catalogs (Luo+, 2018). 2018yCat.5153...0L.
- Luo, A. L., Zhao, Y. H., & Zhao, G. (2022). VizieR Online Data Catalog: LAMOST DR7 catalogs (Luo+, 2019). 2019. VizieR Online Data Catalog, V-156.
- Maehara, H., Notsu, Y., Notsu, S., Namekata, K., Honda, S., Ishii, T. T., Nogami, D., Shibata, K. 2017. Starspot activity and superflares on solar-type stars. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69(3), 41.
- Maceroni, C.; van't Veer, F. 1996. The properties of W Ursae Majoris contact binaries: new results and old problems. *Astronomy and Astrophysics*, 311, 523-531.
- Mathur, S., Huber, D., Batalha, N. M., Ciardi, D. R., Bastien, F. A., Bieryla, A., & Silva, D. 2017. VizieR Online Data Catalog: Revised stellar properties of Q1-17 Kepler targets (Mathur+, 2017). VizieR Online Data Catalog, J-ApJS.
- Milone, E. E. 1968. The peculiar binary RT Lacertae. *Astronomical Journal*, Vol. 73, p. 708-711, 73, 708-711.
- Mochnacki, S. W. 1981. Contact binary stars. *The Astrophysical Journal*, 245, 650-670.
- Montalto, M., Piotto, G., Marrese, P. M., Nascimbeni, V. A. L. E. R. I. O., Prisinzano, L., Granata, V., & Udry, S. 2021. The all-sky PLATO input catalogue. *Astronomy & Astrophysics*, 653, A98.
- Muller, G., & Kempf, P. 1903. A new variable star of unusually short period. *The Astrophysical Journal*, 17.
- O'Connell, D.J.K. 1951. The so-called Periastron Effect in Eclipsing Binaries (summary). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 111, 642.
- Pan, Y., & Zhang, X. 2023. KIC 7284688: A Solar-type Eclipsing Binary with Rapidly Varying O'Connell Effect. *The Astronomical Journal*, 165(6), 247.
- Papageorgiou, A., Kleftogiannis, G., & Christopoulou, P. E. 2014. An automated search of O'Connell effect from surveys of eclipsing binaries. *Contrib. Astron. Obs. Skalnat Pleso*, 43(470-472).
- Pigulski, A., Pojmanski, G., Pilecki, B., & Szczygiel, D. M. 2009. The All Sky Automated Survey. The Catalog of Variable Stars in the Kepler Field of View. arXiv preprint arXiv:0903.4921.

- Plavec, M. 1958. 8th Liège Colloquium Mem. 8° Soc. Royal Sci. Liege, 4th Ser, 20, 411.
- Pecaut, M. J., & Mamajek, E. E. 2013. Intrinsic colors, temperatures, and bolometric corrections of pre-main-sequence stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 208(1), 9.
- Pinsonneault, M. H., An, D., Molenda-Żakowicz, J., Chaplin, W. J., Metcalfe, T. S., & Bruntt, H. 2012. A revised effective temperature scale for the Kepler input catalog. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 199(2), 30.
- Popper, D. M., ‘Stellar masses’, *Annual Review of Astronom and Astrophysics*, 18 (1980) pp. 115-164.
- Prša, A., Batalha, N., Slawson, R. W., Doyle, L. R., Welsh, W. F., Orosz, J. A., & Borucki, W. 2011. Kepler eclipsing binary stars. I. Catalog and principal characterization of 1879 eclipsing binaries in the first data release. *The Astronomical Journal*, 141(3), 83.
- Qian, S. -B.; Zhu, L. -Y.; Liu, L.; Zhang, X. -D.; Shi, X. -D.; He, J. -J.; Zhang, J. VizieR Online Data Catalog: Contact binaries in LAMOST DR7. 2020. 2022yCatp040002004Q.
- Roberts, A. W. 1906. On a method of determining the absolute dimensions of an Algol variable star. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 66, 123.
- Rucinski, S. M., 1974. Binaries. II. A- and W-type Systems. *The W UMa-type Systems as Contact*, *AcA*, 24, 119.
- Rucinski, S. M., & Lu, W. 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. II. *The Astronomical Journal*, 118(5), 2451.
- Russell, H. N. 1902. An improved method of calculating the orbit of a spectroscopic binary. *Astrophysical Journal*, vol. 15, p. 252, 15, 252.
- Santos, A. R. G., Breton, S. N., Mathur, S., & García, R. A. 2021. Surface Rotation and Photometric Activity for Kepler Targets. II. G and F Main-sequence Stars and Cool Subgiant Stars. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 255(1), 17.
- Schlafly, E. F., & Finkbeiner, D. P. 2011. Measuring reddening with Sloan Digital Sky Survey stellar spectra and recalibrating SFD. *The Astrophysical Journal*, 737(2), 103. Skelton, P. L., & Smits, D. P. (2009). Modelling of W UMa-type variable stars. *South African Journal of Science*, 105(3), 120-126.
- Shaw, J. S. 1994. Near-contact binaries. *Memorie della Società Astronomia Italiana*, 65, 95.

- Slawson, R. W., Prša, A., Welsh, W. F., Orosz, J. A., Rucker, M., Batalha, N., Doyle, L.R., Engle, S.G., Conroy, K., Coughlin, J., Gregg, T.A., Fetherolf, T., Short, D.R., Windmiller, G., Fabrycky, D.C., Howell, S.B., Jenkins, J.M., Uddin, K., Mullally, F., Seader, S.E., Thompson, S.E., Sanderfer, D.T., Borucki, W. and Koch, D. 2011. Kepler eclipsing binary stars. II. 2165 eclipsing binaries in the second data release. *The Astronomical Journal*, 142(5), 160.
- Tanriver, M., & Bulut, A. 2022. The first photometric analysis study of the GW Psc binary system. *New Astronomy*, 96, 101848.
- Terrell, D. 2001. Eclipsing Binary Stars: Past, Present, and Future. *Journal of the AAVSO*, 30, 1.
- Terzioğlu, Z., Mutlay, H. G., Özdemir, S., & Gürol, B. 2023. KIC7542091 Örtün Çift Sisteminde Çevrimsel Manyetik Aktivite. *Turkish Journal of Astronomy and Astrophysics*, 4(1), 1-4.
- Tran, K., Levine, A., Rappaport, S., Borkovits, T., Csizmadia, S., & Kalomeni, B. 2013. The anticorrelated nature of the primary and secondary eclipse timing variations for the kepler contact binaries. *The Astrophysical Journal*, 774(1), 81.
- Tian, Zhijia; Liu, Xiaowei; Yuan, Haibo; Fang, Xuan; Chen, Bingqiu; Xiang, Maosheng; Huang, Yang; Bi, Shaolan; Yang, Wuming; Wu, Yaqia; Wang, Chun; Zhang, Huawei; Huo, Zhiying; Yang, Yong; Liu, Gaochao; Guo, Jincheng; Zhang, Meng. 2020. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, V249, 22T.
- Tonry, J. L., Denneau, L., Flewelling, H., Heinze, A. N., Onken, C. A., Smartt, S. J., & Wolf, C. 2018. The ATLAS all-sky stellar reference catalog. *The Astrophysical Journal*, 867(2), 105.
- Van't Veer, F. 1973. The eclipsing contact binary VW Cephei., *Astronomy and Astrophysics*, 26, 357-363.
- Van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. *Astronomical Journal* (ISSN 0004-6256), vol. 106, no. 5, p. 2096-2117, 106, 2096-2117.
- Van Hamme, W., & Wilson, R. E. 2003. Stellar atmospheres in eclipsing binary models. In *GAIA Spectroscopy: Science and Technology*. Vol. 298, p. 323.
- Van Hamme, W., & Wilson, R. E. 2007. Third-body parameters from whole light and velocity curves. *The Astrophysical Journal*, 661(2), 1129.
- Vogt, S. S. 1979. A spectroscopic and photometric study of the star spot on HD 224085. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 91, p. 616, 91, 616.
- Vogt, S.S. 1981. A Spectroscopic, Photometric, and Magnetic Study of the Starspot on II Pegasi. *The Astrophysical Journal*, 247, 975-983.

- Vogt, S.S. and Penrod, G.D. 1983. Doppler Imaging of Spotted Stars-Application to the RS Canum Venaticorum star HR 1099. Publications of the Astronomical Society of the Pacific 95, 565-576.
- Wesselink, A. J. 1969. Surface Brightnesses in the U, B, V System with Applications of and Dimensions of Stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 144(3), 297-311.
- Wilsey, N. J., & Beaky, M. M. 2009. Revisiting the O'Connell Effect in Eclipsing Binary Systems. In The Society for Astronomical Sciences 28th Annual Symposium on Telescope Science. Held May 19-21, 2009 at Big Bear Lake, CA. Published by the Society for Astronomical Sciences., Vol. 28, p. 107.
- Wilsing, J. 1893. Über die Bestimmung von Bahnelementen enger Doppelsterne aus spectrokopischen Messungen der Geschwindigkeits Componenten. Astronomische Nachrichten, volume 134, Issue 6, p. 89, 134, 89.
- Wilson, R. E., & Devinney, E. J. 1971. Realization of accurate close-binary light curves: application to MR Cygni. Astrophysical Journal, vol. 166, p. 605, 166, 605.
- Wilson, R. E. 1979. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. Astrophysical Journal, Part 1, vol. 234, Dec. 15, 1979, p. 1054-1066., 234, 1054-1066.
- Wilson, R. E. 1990. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. Astrophysical Journal, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 356, June 20, 1990, p. 613-622., 356, 613-622.
- Wilson, R. E. 1993. ASP Conf. Ser. 38, New Frontiers in Binary Star Research.91.
- Wilson, R. E. 2008. Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation. The Astrophysical Journal, 672(1), 575.
- Wilson, R. E., Van Hamme, W., & Terrell, D. 2010. Flux calibrations from nearby eclipsing binaries and single stars. The Astrophysical Journal, 723(2), 1469.
- Wilson, R. E. 2012a. Under-Developed and Under-Utilized Eclipsing Binary Model Capabilities. Journal of Astronomy and Space Sciences, 29(2), 115-121.
- Wilson, R. E. 2012b. Spotted star light curves with enhanced precision. The Astronomical Journal, 144(3), 73.
- Wilson, R. E., & Van Hamme, W. 2013. Unification of binary star ephemeris solutions. The Astrophysical Journal, 780(2), 151.
- Wilson, R. E., & Van Hamme, W. 2014. The Astrophysical Journal, 780, 151.

- Wolniewicz, L. M., Berger, T. A., & Huber, D. 2021. VizieR Online Data Catalog: A list of ~330000 stars Kepler missed (Wolniewicz+, 2021). VizieR Online Data Catalog, JAJ.
- Yakut, K., & Eggleton, P. P. 2005. Evolution of close binary systems. *The Astrophysical Journal*, 629(2), 1055.
- Zhang, B., Liu, C., & Deng, L. C. 2020. Deriving the stellar labels of LAMOST spectra with the Stellar LAbel Machine (SLAM). *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 246(1), 9.
- Zhang, J., Qian, S. B., Wu, Y., & Zhou, X. 2020. VizieR Online Data Catalog: Binary Data Catalog, J-ApJS.
- Zhou, D. Q., & Leung, K. C. 1990. An explanation of light-curve asymmetries in contact binaries by means of the Coriolis effect. *The Astrophysical Journal*, 355, 271-276.

EKLER

EK 1 KIC 7542091 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

EK 2 KIC 7512381 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

EK 3 KIC 9649493 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

EK 1 KIC 7542091 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam-1 (°)	Açısal Yarıçap-1 (°)	Boylam-2 (°)	Açısal Yarıçap-2 (°)
Q0	IE1	4955.753387	82.0	24.0	272.0	19.0
Q0	IE2	4960.492946	82.0	23.0	272.0	19.0
Q1	IE1	4971.642385	55.0	15.0	298.0	11.0
Q1	IE2	4978.000516	55.0	15.0	298.0	11.0
Q1	IE3	4984.996196	55.0	15.0	298.0	11.0
Q1	IE4	4994.995184	55.0	15.0	298.0	15.0
Q2	IE1	5010.868069	55.0	11.0	298.0	17.0
Q2	IE2	5024.503211	55.0	11.0	298.0	19.0
Q2	IE3	5031.990394	55.0	13.0	288.0	19.5
Q2	IE4	5037.998945	55.0	11.0	288.0	20.0
Q2	IE5	5044.500598	55.0	10.0	288.0	21.0
Q2	IE6	5052.719962	55.0	13.0	272.0	23.0
Q2	IE7	5058.991049	55.0	10.0	272.0	21.0
Q2	IE8	5066.981939	55.0	12.0	272.0	19.0
Q2	IE9	5075.501679	77.0	16.0	265.0	23.0
Q2	IE10	5087.871924	77.0	18.0	265.0	23.0
Q3	IE1	5098.439596	155.0	4.0	275.0	3.0
Q3	IE2	5104.600855	155.0	4.0	275.0	8.0
Q3	IE3	5115.635892	155.0	2.0	275.0	6.0
Q3	IE4	5125.905260	155.0	1.3	275.0	7.4
Q3	IE5	5131.493710	155.0	2.7	275.0	7.4
Q3	IE6	5140.439865	155.0	3.0	275.0	10.8
Q3	IE7	5148.989336	155.0	3.0	275.0	14.4
Q3	IE8	5161.003518	155.0	3.0	275.0	15.0
Q3	IE9	5172.743073	155.0	3.0	275.0	16.0
Q4	IE1	5190.510517	155.0	4.0	275.0	15.0
Q4	IE2	5203.003935	159.0	4.0	275.0	14.8
Q4	IE3	5212.494571	159.0	4.0	275.0	16.0
Q4	IE4	5222.504129	159.0	4.0	275.0	11.2
Q4	IE5	5240.013096	159.0	4.5	275.0	8.2
Q4	IE6	5247.529792	159.0	6.0	275.0	3.0
Q4	IE7	5253.005074	159.0	9.8	275.0	2.0
Q4	IE8	5257.257246	159.0	9.8	275.0	2.0
Q4	IE9	5265.009802	95.0	11.0	279.0	9.0
Q4	IE10	5272.004657	95.0	12.0	279.0	9.0

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam-1 (°)	Açısal Yarıçap-1 (°)	Boylam-2 (°)	Açısal Yarıçap-2 (°)
Q5	IE1	5285.497618	88.0	11.0	292.0	5.0
Q5	IE2	5294.943481	88.0	18.0	292.0	13.0
Q5	IE3	5305.006688	88.0	17.6	292.0	13.7
Q5	IE4	5314.005138	88.0	13.0	292.0	12.5
Q5	IE5	5321.008282	88.0	14.0	292.0	16.0
Q5	IE6	5327.003887	88.0	14.0	292.0	16.0
Q5	IE7	5333.936421	88.0	14.0	292.0	17.7
Q5	IE8	5339.291817	88.0	14.0	292.0	19.8
Q5	IE9	5347.485236	88.0	14.0	292.0	19.8
Q6	IE1	5375.997992	125.0	7.0	265.0	20.5
Q6	IE2	5381.507602	125.0	11.0	265.0	20.5
Q6	IE3	5385.505014	125.0	14.5	265.0	20.5
Q6	IE4	5391.995098	125.0	14.5	265.0	18.0
Q6	IE5	5407.498675	125.0	14.5	265.0	18.0
Q6	IE6	5414.000481	95.0	20.0	265.0	17.0
Q6	IE7	5420.501360	95.0	20.0	265.0	17.0
Q6	IE8	5426.003091	95.0	22.0	265.0	17.0
Q6	IE9	5436.991692	80.0	22.0	272.0	7.0
Q6	IE10	5444.498031	80.0	15.0	272.0	7.0
Q6	IE11	5451.493654	77.0	21.0	272.0	17.0
Q6	IE12	5457.995207	77.0	20.0	272.0	18.0
Q7	IE1	5468.016598	65.0	12.0	285.0	16.0
Q7	IE2	5479.064650	65.0	13.0	285.0	16.0
Q7	IE3	5482.693902	65.0	13.0	288.0	16.0
Q7	IE4	5490.503706	65.0	13.0	288.0	18.0
Q7	IE5	5499.542241	65.0	14.0	288.0	19.0
Q7	IE6	5510.031857	68.0	11.8	275.0	20.0
Q7	IE7	5515.744057	68.0	10.8	275.0	21.0
Q7	IE8	5521.508372	68.0	13.0	275.0	22.0
Q7	IE9	5532.999491	68.0	12.0	255.0	23.0
Q7	IE10	5539.511412	75.0	17.0	255.0	23.0
Q7	IE11	5544.575859	82.0	17.0	255.0	23.0
Q7	IE12	5548.015242	82.0	21.0	255.0	23.0
Q7	IE13	5551.279864	82.0	20.0	255.0	20.0

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam-1 (°)	Açısal Yarıçap-1 (°)	Boylam-2 (°)	Açısal Yarıçap-2 (°)
Q8	IE1	5576.991109	72.0	27.0	265.0	23.0
Q8	IE2	5582.001275	72.0	27.5	268.0	24.0
Q8	IE3	5592.220254	68.0	25.0	268.0	24.0
Q8	IE4	5599.013634	68.0	24.0	268.0	25.0
Q8	IE5	5602.511428	62.0	23.0	268.0	25.0
Q8	IE6	5608.496965	62.0	21.0	272.0	26.0
Q8	IE7	5616.023769	62.0	20.0	272.0	27.0
Q8	IE8	5620.999284	62.0	20.0	272.0	27.0
Q8	IE9	5626.976085	62.0	20.0	272.0	27.5
Q8	IE10	5630.995372	120.0	3.0	272.0	19.5
Q9	IE1	5644.000205	122.0	3.0	272.0	20.0
Q9	IE2	5647.999960	125.0	4.0	273.0	20.0
Q9	IE3	5652.500600	125.0	7.0	265.0	20.0
Q9	IE4	5656.990362	125.0	7.0	265.0	20.0
Q9	IE5	5665.504244	122.0	12.0	255.0	20.0
Q9	IE6	5672.624363	122.0	15.0	255.0	16.0
Q9	IE7	5687.495677	122.0	17.0	255.0	16.0
Q9	IE8	5692.497752	122.0	22.0	255.0	10.0
Q9	IE9	5711.495464	122.0	22.0	255.0	9.6
Q9	IE10	5716.491728	77.0	22.0	260.0	9.6
Q9	IE11	5728.993244	77.0	24.0	272.0	17.0
Q10	IE1	5746.984749	65.0	18.0	292.0	13.8
Q10	IE2	5750.994033	59.0	19.0	292.0	13.8
Q10	IE3	5762.492210	52.0	13.0	292.0	15.0
Q10	IE4	5772.897754	52.0	17.0	288.0	22.0
Q10	IE5	5783.000549	52.0	18.0	279.0	22.0
Q10	IE6	5793.503061	70.0	22.0	272.0	25.0
Q10	IE7	5798.863711	79.0	22.0	272.0	25.0
Q10	IE8	5805.985270	79.0	25.0	260.0	25.0
Q10	IE9	5812.005227	85.0	23.0	260.0	25.0
Q10	IE10	5817.999589	85.0	23.0	258.0	27.0
Q10	IE11	5824.964651	85.0	24.0	262.0	28.5

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam-1 (°)	Açısal Yarıçap-1 (°)	Boylam-2 (°)	Açısal Yarıçap-2 (°)
Q11	IE1	5847.997066	111.0	13.0	220.0	18.0
Q11	IE2	5854.500935	111.0	17.0	220.0	13.0
Q11	IE3	5859.489198	111.0	18.0	220.0	12.0
Q11	IE4	5868.966407	111.0	18.0	220.0	10.0
Q11	IE5	5875.526405	92.0	17.0	220.0	11.0
Q11	IE6	5881.533263	77.0	17.0	265.0	11.0
Q11	IE7	5887.001078	69.0	16.0	265.0	12.0
Q11	IE8	5893.008487	55.0	16.0	285.0	13.0
Q11	IE9	5897.104134	42.0	16.0	292.0	13.0
Q11	IE10	5909.180365	42.0	19.0	298.0	11.0
Q11	IE11	5917.502281	40.0	19.0	300.0	12.0
Q11	IE12	5921.994258	40.0	16.0	300.0	12.5
Q11	IE13	5925.999863	40.0	14.0	300.0	13.0
Q12	IE1	5937.497548	95.0	5.0	285.0	16.0
Q12	IE2	5942.497055	95.0	4.0	285.0	17.0
Q12	IE3	5945.979005	95.0	6.0	285.0	19.0
Q12	IE4	5956.002522	95.0	5.0	285.0	17.5
Q12	IE5	5968.994667	105.0	13.0	285.0	18.0
Q12	IE6	5972.994801	105.0	12.7	285.0	19.0
Q12	IE7	5979.998592	105.0	12.7	285.0	19.0
Q12	IE8	5990.996034	105.0	13.5	285.0	19.0
Q12	IE9	5996.983686	105.0	12.3	285.0	19.0
Q12	IE10	6002.991358	105.0	11.8	295.0	17.5
Q12	IE11	6009.504724	85.0	11.8	295.0	17.0
Q13	IE1	6018.858496	35.0	17.0	300.0	18.0
Q13	IE2	6025.504041	35.0	11.0	315.0	16.0
Q13	IE3	6029.999690	35.0	11.8	315.0	17.0
Q13	IE4	6034.990302	35.0	8.0	315.0	16.0
Q13	IE5	6041.502261	5.0	8.0	315.0	19.0
Q13	IE6	6051.977099	5.0	0.8	279.0	21.0
Q13	IE7	6057.509345	5.0	14.0	279.0	23.0
Q13	IE8	6067.523788	5.0	11.0	279.0	24.0
Q13	IE9	6077.436542	45.0	17.0	279.0	27.0
Q13	IE10	6085.993795	45.0	15.0	279.0	27.0
Q13	IE11	6092.507890	45.0	17.0	279.0	27.0
Q13	IE12	6101.608208	45.0	17.0	272.0	25.5

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam-1 (°)	Açısal Yarıçap-1 (°)	Boylam-2 (°)	Açısal Yarıçap-2 (°)
Q14	IE1	6118.011527	75.0	20.0	270.0	29.0
Q14	IE2	6132.001607	75.0	19.0	270.0	28.6
Q14	IE3	6143.999416	75.0	21.0	270.0	27.0
Q14	IE4	6153.024605	85.0	21.0	270.0	27.0
Q14	IE5	6158.497813	85.0	21.0	277.0	26.5
Q14	IE6	6161.491444	85.0	21.0	277.0	25.0
Q14	IE7	6179.999054	85.0	21.0	277.0	25.0
Q14	IE8	6186.001876	85.0	20.0	277.0	25.0
Q14	IE9	6196.498841	75.0	17.0	277.0	25.5
Q14	IE10	6201.498388	72.0	15.0	277.0	25.5
Q15	IE1	6210.997407	72.0	16.0	285.0	26.0
Q15	IE2	6221.501573	72.0	13.0	285.0	26.5
Q15	IE3	6230.996703	72.0	14.0	285.0	26.5
Q15	IE4	6235.656093	72.0	14.0	285.0	26.0
Q15	IE5	6242.558447	72.0	15.0	277.0	26.0
Q15	IE6	6253.513107	72.0	15.7	265.0	25.0
Q15	IE7	6262.503756	115.0	15.0	265.0	25.0
Q15	IE8	6269.998399	115.0	11.1	265.0	26.0
Q15	IE9	6282.002611	115.0	12.0	265.0	26.0
Q15	IE10	6289.492208	115.0	16.0	265.0	26.0
Q15	IE11	6295.992007	115.0	17.0	265.0	26.0
Q15	IE12	6302.071973	95.0	16.5	265.0	23.4
Q16	IE1	6329.499131	95.0	12.0	265.0	23.0
Q16	IE2	6339.998403	95.0	12.0	265.0	23.0
Q16	IE3	6353.021490	95.0	14.0	272.0	23.0
Q16	IE4	6360.891728	95.0	16.0	283.0	23.0
Q16	IE5	6371.506552	90.0	17.0	283.0	20.0
Q16	IE6	6378.995381	90.0	17.0	283.0	20.0
Q16	IE7	6384.501293	90.0	17.0	283.0	20.0
Q17	IE1	6397.503143	90.0	16.0	283.0	22.0
Q17	IE2	6403.006455	90.0	14.0	283.0	22.5
Q17	IE3	6409.498227	90.0	13.0	283.0	23.0
Q17	IE4	6422.001980	90.0	10.5	283.0	25.0

EK 2 KIC 7512381 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q1	IE1	4969.0	252.0	20.0
Q1	IE2	4975.5	255.0	18.5
Q1	IE3	4979.0	255.0	18.5
Q1	IE4	4983.5	255.0	18.2
Q1	IE5	4987.5	255.0	13.8
Q1	IE6	4990.5	249.0	14.5
Q2	IE1	5005.0	179.0	14.0
Q2	IE2	5074.0	160.0	16.0
Q2	IE3	5011.0	160.0	13.0
Q2	IE4	5022.5	120.0	15.0
Q2	IE5	5027.0	120.0	12.6
Q2	IE6	5032.0	120.0	13.0
Q2	IE7	5038.5	115.0	20.0
Q2	IE8	5042.0	115.0	20.0
Q3	IE1	5104.0	165.0	14.0
Q3	IE2	5120.3	125.0	20.0
Q3	IE3	5158.3	125.0	15.0
Q3	IE4	5180.3	140.0	11.0
Q4	IE5	5189.5	150.0	7.0
Q4	IE6	5210.5	125.0	7.0
Q4	IE7	5248.0	95.0	20.0
Q4	IE8	5268.5	80.0	22.0
Q5	IE1	5280.0	77.0	21.0
Q5	IE2	5284.0	77.0	20.0
Q5	IE3	5292.5	65.0	12.0
Q5	IE4	5302.0	65.0	13.0
Q5	IE5	5312.0	65.0	13.0
Q5	IE6	5317.5	65.0	13.0
Q5	IE7	5322.8	65.0	14.0
Q5	IE8	5338.2	68.0	11.8
Q5	IE9	5351.0	68.0	10.8
Q5	IE10	5360.0	68.0	13.0
Q5	IE11	5367.5	68.0	12.0
Q6	IE1	5382.5	75.0	17.0
Q6	IE2	5388.0	82.0	17.0
Q6	IE3	5395.5	82.0	21.0
Q6	IE4	5414.5	82.0	20.0
Q6	IE5	5420.5	72.0	27.0
Q6	IE6	5427.5	72.0	27.5
Q6	IE7	5436.0	68.0	25.0
Q6	IE8	5444.0	68.0	24.0
Q6	IE9	5448.5	62.0	23.0
Q6	IE10	5456.5	62.0	21.0
Q7	IE1	5467.5	62.0	20.0
Q7	IE2	5490.7	120.0	3.0
Q7	IE3	5497.5	122.0	3.0

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q7	IE4	5503.5	125.0	4.0
Q7	IE5	5511.0	125.0	7.0
Q7	IE6	5520.0	125.0	7.0
Q7	IE7	5524.1	122.0	12.0
Q7	IE8	5530.0	122.0	15.0
Q7	IE9	5535.5	122.0	17.0
Q7	IE10	5540.0	122.0	22.0
Q7	IE11	5545.2	122.0	22.0
Q8	IE1	5571.5	77.0	22.0
Q8	IE2	5575.5	77.0	24.0
Q8	IE3	5582.0	65.0	18.0
Q8	IE4	5587.0	59.0	19.0
Q8	IE5	5600.5	52.0	13.0
Q8	IE6	5611.5	52.0	17.0
Q8	IE7	5617.5	52.0	18.0
Q8	IE8	5623.0	70.0	22.0
Q8	IE9	5628.5	79.0	22.0
Q8	IE10	5900.8	79.0	25.0
Q9	IE1	5648.8	85.0	23.0
Q9	IE2	5654.0	85.0	23.0
Q9	IE3	5659.5	85.0	24.0
Q9	IE4	5666.0	111.0	13.0
Q9	IE5	5672.0	111.0	17.0
Q9	IE6	5676.7	111.0	18.0
Q9	IE7	5683.0	111.0	18.0
Q9	IE8	5688.5	92.0	17.0
Q9	IE9	5692.0	77.0	17.0
Q9	IE10	5695.0	69.0	16.0
Q9	IE11	5700.0	55.0	16.0
Q9	IE12	5703.0	42.0	16.0
Q9	IE13	5713.0	42.0	19.0
Q9	IE14	5715.0	40.0	19.0
Q9	IE15	5723.5	40.0	16.0
Q9	IE16	5727.0	40.0	14.0
Q9	IE17	5731.0	95.0	5.0
Q10	IE1	5747.0	95.0	4.0
Q10	IE2	5752.0	95.0	6.0
Q10	IE3	5759.5	95.0	5.0
Q10	IE4	5766.7	105.0	13.0
Q10	IE5	5775.0	105.0	12.7
Q10	IE6	5779.0	105.0	12.7
Q10	IE7	5783.5	105.0	13.5
Q10	IE8	5787.5	105.0	12.3
Q10	IE9	5796.5	105.0	11.8
Q10	IE10	5809.5	85.0	11.8
Q10	IE11	5816.0	35.0	17.0

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q11	IE12	5929.0	85.0	21.0
Q12	IE1	5937.0	85.0	21.0
Q12	IE2	5941.5	85.0	21.0
Q12	IE3	5945.0	85.0	21.0
Q12	IE4	5947.5	85.0	20.0
Q12	IE5	5952.0	75.0	17.0
Q12	IE6	5957.7	72.0	15.0
Q12	IE7	5965.5	72.0	16.0
Q12	IE8	5976.0	72.0	13.0
Q12	IE9	5987.6	72.0	14.0
Q12	IE10	6000.0	72.0	14.0
Q12	IE11	6007.5	72.0	15.0
Q12	IE12	6012.5	72.0	15.7
Q13	IE1	6022.5	115.0	15.0
Q13	IE2	6032.5	115.0	11.1
Q13	IE3	6036.5	115.0	12.0
Q13	IE4	6042.0	115.0	16.0
Q13	IE5	6051.8	115.0	17.0
Q13	IE6	6062.0	95.0	16.5
Q13	IE7	6066.5	95.0	12.0
Q13	IE8	6071.5	95.0	12.0
Q13	IE9	6080.4	95.0	14.0
Q13	IE10	6084.5	95.0	16.0
Q13	IE11	6088.5	90.0	17.0
Q13	IE12	6092.0	90.0	17.0
Q13	IE13	6096.5	90.0	17.0
Q13	IE14	6102.0	90.0	16.0
Q14	IE1	6109.5	90.0	14.0
Q14	IE2	6114.0	90.0	13.0
Q14	IE3	6119.5	90.0	10.5
Q15	IE1	6219.5	105.0	6.0
Q15	IE2	6242.0	105.0	4.0
Q16	IE1	6350.5	115.0	7.0
Q17	IE1	6421.5	115.0	3.0

EK 3 KIC 9649493 sisteminin Q0'dan Q17'ye kadar olan leke parametreleri

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q0	IE1	4959.132530	125.0	7.0
Q1	IE1	4966.242363	269.0	11.5
Q1	IE2	4973.756644	125.0	5.0
Q1	IE3	4981.999711	125.0	2.0
Q1	IE4	4984.991032	125.0	2.0
Q1	IE5	4989.014842	105.0	7.0
Q2	IE1	5006.002372	75.0	13.0
Q2	IE2	5010.996788	60.0	14.2
Q2	IE3	5026.008848	22.0	12.0
Q2	IE4	5039.998546	345.0	10.0
Q2	IE5	5043.490380	345.0	10.0
Q2	IE6	5046.484048	325.0	9.0
Q2	IE7	5052.846316	300.0	12.0
Q2	IE8	5057.042971	280.0	12.3
Q2	IE9	5066.464857	265.0	13.8
Q2	IE10	5070.999845	260.0	11.4
Q3	IE1	5105.004373	75.0	8.0
Q3	IE2	5107.515106	45.0	10.0
Q3	IE3	5111.988746	45.0	10.0
Q3	IE4	5141.497967	322.0	9.3
Q3	IE5	5148.001888	322.0	10.5
Q3	IE6	5150.835338	310.0	10.0
Q3	IE7	5167.504803	310.0	9.5
Q4	IE1	5188.510672	300.0	3.0
Q4	IE2	5193.503943	75.0	6.0
Q4	IE3	5224.505207	75.0	2.0
Q4	IE4	5236.405600	350.0	4.0
Q4	IE5	5263.003407	35.0	6.0
Q4	IE6	5268.497015	35.0	7.0
Q4	IE7	5273.001282	35.0	9.0
Q5	IE1	5285.997835	25.0	8.5
Q5	IE2	5291.008787	25.0	7.6
Q5	IE3	5293.986658	25.0	7.6
Q5	IE4	5299.989311	5.0	2.0
Q5	IE5	5313.494530	335.0	10.4
Q5	IE6	5318.498465	295.0	9.2
Q5	IE7	5329.995114	280.0	7.0
Q5	IE8	5335.007015	280.0	8.0
Q5	IE9	5338.990152	280.0	7.0
Q5	IE10	5348.498891	280.0	3.0
Q5	IE11	5367.019169	5.0	10.0
Q6	IE1	5380.995497	5.0	10.0
Q6	IE2	5384.515835	5.0	11.0
Q6	IE3	5389.494584	350.0	11.5
Q6	IE4	5394.002647	345.0	10.7
Q6	IE5	5418.515513	320.0	10.0
Q6	IE6	5422.006539	320.0	12.0
Q6	IE7	5428.495102	310.0	13.0

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q6	IE8	5436.494504	310.0	11.0
Q6	IE9	5441.999137	310.0	8.0
Q6	IE10	5446.000120	310.0	8.0
Q6	IE11	5454.009882	5.0	4.4
Q6	IE12	5458.026782	15.0	10.0
Q7	IE1	5472.064753	15.0	10.0
Q7	IE2	5477.499963	5.0	12.8
Q7	IE3	5483.024462	5.0	12.8
Q7	IE4	5488.511197	5.0	12.3
Q7	IE5	5497.511228	338.0	10.0
Q7	IE6	5510.997593	295.0	10.0
Q7	IE7	5517.488682	280.0	10.2
Q7	IE8	5527.065505	295.0	8.0
Q7	IE9	5537.065662	295.0	8.0
Q7	IE10	5548.015291	295.0	5.0
Q8	IE1	5570.500179	15.0	12.0
Q8	IE2	5580.020530	355.0	12.0
Q8	IE3	5586.512036	10.0	12.0
Q8	IE4	5591.497938	5.0	9.0
Q8	IE5	5601.510488	350.0	4.0
Q8	IE6	5617.006375	345.0	10.3
Q8	IE7	5624.004612	345.0	10.8
Q8	IE8	5631.009073	345.0	11.1
Q9	IE9	5674.452866	300.0	5.0
Q9	IE10	5701.490328	28.0	11.0
Q9	IE11	5710.997966	28.0	10.0
Q9	IE12	5715.999195	28.0	11.0
Q9	IE13	5722.993423	7.0	10.0
Q9	IE14	5730.499491	355.0	11.0
Q10	IE1	5749.270696	335.0	7.0
Q10	IE2	5755.999043	5.0	6.0
Q10	IE3	5765.508260	35.0	9.0
Q10	IE4	5784.995087	25.0	8.7
Q10	IE5	5790.005133	20.0	11.0
Q10	IE6	5804.201001	345.0	11.5
Q10	IE7	5811.006053	335.0	12.0
Q10	IE8	5823.002014	335.0	13.0
Q11	IE1	5848.509652	28.0	5.0
Q11	IE2	5856.003654	33.0	8.0
Q11	IE3	5878.515624	33.0	11.0
Q11	IE4	5884.502571	33.0	10.0
Q11	IE5	5928.004524	345.0	9.0
Q12	IE1	5940.501526	350.0	4.0
Q12	IE2	5945.007988	45.0	10.0
Q12	IE3	5948.009455	45.0	10.8
Q12	IE4	5970.000809	45.0	10.2
Q12	IE5	5973.497726	42.0	8.9

Çeyrek	Işık Eğrisi	BJD-2450000	Boylam (°)	Açısal Yarıçap (°)
Q12	IE6	5999.021324	25.0	10.0
Q12	IE7	6003.487093	22.0	10.0
Q12	IE8	6012.003765	22.0	11.0
Q13	IE1	6019.506691	5.0	9.0
Q13	IE2	6025.994824	10.0	8.0
Q13	IE3	6046.981890	10.0	8.0
Q13	IE4	6054.002989	10.0	8.0
Q13	IE5	6069.009522	10.0	12.0
Q13	IE6	6076.007874	25.0	9.7
Q13	IE7	6081.993988	30.0	10.0
Q13	IE8	6093.011325	30.0	12.8
Q14	IE1	6110.510769	20.0	11.5
Q14	IE2	6113.003532	20.0	11.0
Q14	IE3	6120.002863	10.0	10.0
Q14	IE4	6130.993551	8.0	9.0
Q14	IE5	6134.501830	20.0	12.0
Q14	IE6	6144.484772	20.0	12.0
Q14	IE7	6172.095964	40.0	8.3
Q14	IE8	6177.514505	40.0	8.3
Q14	IE9	6186.499248	40.0	8.0
Q14	IE10	6193.011126	40.0	7.5
Q14	IE11	6199.008455	40.0	7.4
Q15	IE1	6212.506420	40.0	7.0
Q15	IE2	6219.505946	335.0	8.5
Q15	IE3	6225.502084	335.0	10.0
Q15	IE4	6230.996383	320.0	8.0
Q15	IE5	6236.147660	320.0	8.0
Q15	IE6	6242.499789	280.0	7.0
Q15	IE7	6255.507810	50.0	4.0
Q15	IE8	6260.509123	50.0	4.5
Q15	IE9	6266.002347	30.0	11.0
Q15	IE10	6275.000582	20.0	8.0
Q15	IE11	6286.003805	20.0	8.0
Q15	IE12	6294.994490	335.0	8.0
Q15	IE13	6298.995933	320.0	12.0
Q16	IE1	6335.997594	260.0	6.0
Q16	IE2	6341.997928	260.0	6.0
Q16	IE3	6344.993134	10.0	9.0
Q16	IE4	6348.500521	30.0	10.0
Q16	IE5	6355.012774	30.0	12.0
Q16	IE6	6367.500630	30.0	9.0
Q16	IE7	6374.498553	30.0	8.8
Q16	IE8	6380.991986	45.0	7.0
Q17	IE1	6395.106520	45.0	8.0
Q17	IE2	6402.503314	45.0	9.0
Q17	IE3	6410.763351	355.0	10.0