

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BAZİ oEA TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN FOTOMETRİK VE TAYFSAL
İNCELEMESİ**

Mustafa Burak DOĞRUEL

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2014**

Her hakkı saklıdır

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kullarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

14.07.2014

Mustafa Burak DOĞRUEL

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI oEA TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN FOTOMETRİK VE TAYFSAL İNCELEMESİ

Mustafa Burak DOĞRUEL

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Birol GÜROL

Bileşenlerinin fiziksel parametrelerinin belirlenebildiği örten değişen çift yıldızlarda zonklama gösteren bileşenlerin varlığı özellikle 2000’li yıllarda hızla artan keşifler ile birlikte ilgi toplamıştır. Bu tür sistemlerde Delta-Scuti türü bileşene sahip olanlar en geniş grubu oluşturmaktadır. Bununla birlikte, kütle kazanan Delta-Scuti bileşene sahip olan yarı ayırık sistemler bu alanda yepyeni bir sınıf olan “oEA (oscillating Eclipsing Algols)” sınıfını oluşturmaktadır. Bu yıldızlar bir çift yıldız sisteminin üyesi olduklarından astrofiziksel anlamda en önemli parametreler olan kütle ve yarıçap gibi fiziksel parametrelerin elde edilmesi mümkün olabilmektedir. Zonklama gösteren yıldızların bir başka önemi ise astrosismolojik analizlerin yapılabilmesi ve bu sayede yıldızların içyapılarına ilişkin bulgulara ulaşılabilesidir.

Bu çalışmada bileşenlerin yörünge hareketleri nedeniyle parlaklık değişimi gösteren ve aynı zamanda kısa döneme sahip küçük genlikli zonklama gösteren EW Boo ve IU Per sistemlerinin fiziksel parametrelerinin (kütle, yarıçap, yüzey çekim ivmesi) elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla dikkate alınan sistemlerin Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi’nde (AÜKR) fotometrik ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’nde (TUG) ise fotometrik ve tayfsal gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ışık eğrileri ve dikine hız eğrileri PHOEBE programı kullanılarak eşzamanlı analiz edilerek bileşen yıldızların geometrik parametreleri ile birlikte sistemlerin mutlak parametreleri belirlenmiştir. Söz konusu sistemler için elde edilen model ışık eğrileri kullanılarak zonklamanın etkin olduğu bölgeler belirlenmiş ve frekans bölgesinde gerçekleştirilen analizler sonucunda zonklama yapısının karakteristik parametrelerine ulaşılmıştır. Sonuçların bu türden sistemler için literatürde bulunan mevcut parametreler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile ele alınan sistemler için mutlak parametrelere ulaşıldığından bileşen yıldızların evrimsel durumları ortaya konulmuş ve tartışılmıştır.

Temmuz 2014, 100 sayfa

Anahtar kelimeler: oEA, Örten Çift Yıldız, Fotometri, Işık Eğrisi, Zonklama, Dikine Hız, EW Boo, IU Per

ABSTRACT

Master Thesis

PHOTOMETRIC AND SPECTROSCOPIC INVESTIGATION OF SOME oEA TYPE ECLIPSING BINARY STARS

Mustafa Burak DOĞRUEL

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Birol GÜROL

The existence of pulsating components in eclipsing binary stars, in which physical parameters of components can be determined, have aroused interest especially with rapidly increasing discoveries in the 2000's. In this kind of systems, the ones which have a component of Delta-Scuti type form the largest group. Besides, semi-detached systems which have a mass gaining Delta-Scuti component form a brand new "oEA (oscillating Eclipsing Algols)" class in this field. Since these stars are members of binary star systems their masses and radii, which are the most important parameters in terms of astrophysics, can be determined. Another importance of stars exhibiting pulsations is that asteroseismology studies can be performed and thus findings concerning the inner structure of stars can be reached.

In this study, obtaining physical parameters (mass, radius, surface gravity) of EW Boo and IU Per systems, which exhibit short period and small amplitude pulsations as well as brightness changes due to orbital movement of components, has been aimed. Towards this aim, photometric observations at Ankara University Kreiken Observatory (AUKR), also photometric and spectroscopic observations at TUBITAK National Observatory (TUG) have been carried out. Light curves and radial velocity curves obtained from observations have been simultaneously analyzed with PHOEBE and absolute parameters of the systems along with geometric parameters of component stars have been determined. Via using model light curves of aforementioned systems, regions in which the pulsations are active have been determined and as a result of analyses performed in the frequency region, characteristic parameters of pulsations have been obtained. It has been seen that the results are compatible with current parameters of this kind of systems in the literature. Since absolute parameters for the systems considered within the scope of this study have been obtained, the evolutionary status of components have been propounded and discussed.

July 2014, 100 pages

Key Words: oEA, Eclipsing Binaries, Photometry, Light Curve, Pulsation, Radial Velocity, EW Boo, IU Per

TEŞEKKÜR

Başta anneme, babama ve ablama sadece bu çalışma sırasında değil hayatım boyunca verdiğim tüm kararlara ve attığım adımlara desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için teşekkür ederim. Ayrıca kampüs içi ve dışında 7/24 bana destek olan, zor zamanlarda ayakta durmama yardım eden sevgili arkadaşım Mehmed Naim BAĞIRAN'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasında yardım etmekten hiç çekinmeyen danışmanım Doç. Dr. Birol GÜROL'a,(Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı gözlem projelerimi destekleyen ve bolca zaman tahsisi yapan Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi (AÜKR) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG) yönetimine, yoğun zamanlarımda beni idare etmekten geri durmayan Araş. Gör. S. Hande GÜRSOYTRAK'a, analizlerde yardımını hiç esirgemeyen sevgili Zahide TERZİOĞLU'na, sohbeti ve güler yüzüyle hepimize keyif veren ve bilgisayar programları konusunda sıkça başını ağrıttığım Öğr. Gör. Yahya DEMİRCAN'a, PHOEBE ile ilgili sık sık yardım aldığım Astronom Gökhan GÖKAY'a, uzakta olmasına rağmen iletişimi koparmayıp birçok konuda desteğini esirgemeyen ve yeni edindiği bilgileri sürekli paylaşan Gözde SARAL'a, özellikle de TUG'daki gözlemlerimde yardımlarını esirgemeyen Oğuzhan OKUYAN'a ve Sıla ERYILMAZ'a, AÜKR'de gözlemlerim sırasında yardımcı olan tüm gözlemcilere teşekkür ederim.

Mustafa Burak DOĞRUEL
Ankara, Temmuz 2014

İÇİNDEKİLER

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Algol Türü Örtlen Çift Yıldızlar.....	2
1.2 δ -Scuti Yıldızları	3
1.3 oEA Türü Örtlen Çift Yıldızlar	6
1.3.1 Keşifler ve sınıflama.....	7
1.3.2 Evrim durumları	7
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1 Zonklamalara Kütle Aktarımının Etkisi	10
2.2 Zonklama Döneminin Çift Sistemin Fiziksel Özelliklerine Bağlılığı.....	11
2.3 Radyal Olmayan Zonklamalar ve Konumsal Filtreleme Yöntemi.....	20
2.4 Tez Çalışmasında İncelenen Sistemler	25
2.4.1 EW Boo	26
2.4.2 IU Per	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1 Materyal	30
3.1.1 Fotometrik veriler	30
3.1.2 Tayfsal veriler.....	32
3.2 Yöntem	34
3.2.1 Fotometrik verilerin indirgenmesi.....	35
3.2.2 Işık eğrilerinin elde edilmesi	39
3.2.3 Tayfsal verilerin indirgenmesi	43

3.2.4 Dikine hız eğrilerinin elde edilmesi	49
3.2.4.1 Çapraz korelasyon fonksiyonu (CCF).....	49
3.2.4.2 Genişleme fonksiyonu (BF)	56
3.2.4.3 KOREL (Korelation Elements)	59
4. BULGULAR	63
4.1 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin PHOEBE İle Analizi	63
4.2 Frekans Analizi	79
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	89
KAYNAKLAR	93
EK 1 Çapraz korelasyon ve genişleme fonksiyonu yöntemleri ile bulunan dikine hız değerleri	98
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	Yörünge yarı büyük eksen uzunluğu
A_1, A_2	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlerin albedo değerleri
α	Sağ açıklık (saat dakika saniye)
$(B-V)_0$	Yıldızın öz B-V rengi
$C_{\max}$	Hesaplanan maksimum zamanı
CCF	Cross Correlation Function (Çapraz Korelasyon Fonksiyonu)
d (pc)	Parsek biriminde uzaklık
δ	Dik açıklık (derece dakika saniye)
D	Ayrık sistemler
DFT	Discrete Fourier Transform (Ayrık Fourier Dönüşümü)
e	Yörünge dışmerkezliği
EA	Algol türü örten değişen sistemler
φ	Evre kayması, zonklama evresi
f	Zonklama frekansı
F	İkinci bileşenin birinci bileşen üzerine uyguladığı çekim kuvveti
F1, F2	Bileşenler için yörünge döneminin dönme dönemine oranı
FFT	Fast Fourier Transform (Hızlı Fourier Dönüşümü)
FWHM	Full Width at Half Maximum (Yarı Yükseklikteki Tam Genişlik)
g_1, g_2	Bileşenlerin bolometrik çekim kararına sabitleri
GCVS	General Catalogue of Variable Stars (Değişen Yıldızların Genel Kataloğu)
HJD	Güneş merkezli Jülyen günü
i	Yörünge eğim açısı
l	Radyal olmayan zonklama modunun derecesi
λ	Dalgaboyu
L1	İç Lagrange noktası
l_3	Üçüncü ışık
logg	Logaritmik yüzey çekim ivmesi (cgs birimlerinde)
K	Kelvin sıcaklığı
K_1, K_2	Bileşen yıldızların dikine hız değişimlerine ilişkin yarı genlik değerleri
$L_{\odot}$	Güneş'in ışıyım gücü
M_1, M_2	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlerin kütleleri
Mg	Magnezyum elementi
$M_{\odot}$	Güneş'in kütlesi, 1.99×10^{33} gr
M_{bol}	Bolometrik parlaklık

M_V	Mutlak görsel parlaklık
m	Kadir; parlaklık birimi & azimutal derece (radyal olmayan zonklamalar)
n	Radyal zonklama derecesi
Na	Sodyum elementi
NRP	Non-radial pulsation (Radyal olmayan zonklama)
oEA	Oscillating Eclipsing Algols (Zonklayan bileşenli Algol türü örten değişenler)
O_{max}	Gözlenen maksimum zamanı
ω	Enberi noktasının boylamı
Ω	Boyutsuz yüzey potansiyeli
π	Paralaks (yay saniyesi)
P_{orb}	Yörünge dönemi
P_{puls}	Pulsasyon (zonklama) dönemi
P_{temel}	Temel modda zonklama dönemi
Q	Zonklama sabiti, Johnson-Morgan fotometrik sistemi için kızarmadan bağımsız parametre
$q (=M_2/M_1)$	Kütle oranı
$r (=R/a)$	Kesirsel yarıçap
R_1, R_2	Bileşenlerin yarıçapları
$R_\odot$	Güneş'in yarıçapı, 6.96×10^5 km
SD	Yarı ayırık sistemler
SNR	Sinyal / Gürültü oranı
$\Sigma w(O-C)^2$	Ağırlıklandırılmış fark kare toplamı
T_{eff}	Etkin sıcaklık (K)
$TAMS$	Terminal Age Main Sequence (Merkezi hidrojenlerini tüketen yıldızların anakoldan ayrıldığı konum)
T_0	Epok, Başlangıç zamanı
T_1, T_2	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlerin sıcaklıkları
V_γ	Sistemin kütle merkezinin uzay hızı (km/sn)
x_{bol}, y_{bol}	Bolometrik kenar kararırma katsayıları
x_B, y_B	Bileşenlerin dalgaboyuna bağlı kenar kararırma katsayıları
$ZAMS$	Zero Age Main Sequence (Sıfır yaş anakolu)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Yarı ayırık bir çift sistemin Roche geometrisi	2
Şekil 1.2 Algol'ün (Beta Persei) farklı dalgaboylarında elde edilen ışık eğrileri	3
Şekil 1.3 Zonklayan yıldızların şematik Hertzsprung-Russell diyagramı	5
Şekil 1.4 Tipik bir δ -Scuti değişen yıldızı olan FG Vir'in Strömgren y ve v filtrelerindeki ışık eğrileri.....	5
Şekil 1.5 oEA türü bir örten çift sistem olan AB Cas'ın Strömgren fotometrik sistemi ile elde edilmiş ışık eğrisi, eğriye yapılan teorik çözüm, çözümden olan farklar (O-C) ve renk değişimleri görülmektedir	6
Şekil 1.6 Bazı oEA sistemleri için oluşturulmuş HR diyagramı.....	8
Şekil 2.1 RZ Cas'ın zonklama genliğinde farklı yıllarda gözlenen değişim	11
Şekil 2.2 oEA türü bir sistem olan RZ Cas için, bileşenlerin yörüngesel hareketlerinden kaynaklanan ışık eğrisi çıkarıldıktan sonra ortaya çıkan zonklamaya ilişkin ışık eğrisi	12
Şekil 2.3 QY Aql sistemi için zonklamalara ilişkin frekans analizine bir örnek ..	12
Şekil 2.4 Çizelge 2.1'de verilen δ -Scuti bileşenli örten çift sistemler için $\log P_{\text{orb}} - \log P_{\text{puls}}$ grafikleri	14
Şekil 2.5 Yoldaş bileşen tarafından zonklama yapan baş bileşen üzerine uygulanan çekim etkisine karşılık baş bileşenin zonklama döneminin değişimi	17
Şekil 2.6 Yakın çift sistemlerin bileşeni olan δ -Scuti yıldızları için $\log P_{\text{puls}} - \log g$ grafiği	18
Şekil 2.7 Bazı oEA sistemleri için oluşturulmuş, evrim durumunun (x-y düzlemi) ve baskın zonklama frekansının (z-ekseni) üç boyutlu grafiği	18
Şekil 2.8 Örten çift sistemlerdeki δ -Scuti bileşenlerin Kütle-Yarıçap diyagramındaki konumları	19
Şekil 2.9 $\log P_{\text{puls}} - \log P_{\text{orb}}$ grafiği	20
Şekil 2.10 İkinci overtone modda ($n=2$) radyal zonklama yapan bir δ -Scuti yıldızının içyapısı	21
Şekil 2.11 $l=3$ için örnek bir radyal olmayan zonklama modeli (Handler 2006)	22
Şekil 2.12 RZ Cas'ın Strömgren v filtresinde elde edilmiş birinci minimum sırasında zonklamaların genlik değişimi (üstte) ve evre kayması (altta)	24
Şekil 2.13 RZ Cas için yapılan NRP çözümleri	25
Şekil 2.14 EW Boo sisteminin V bandı normalize ışık eğrisi.....	27
Şekil 2.15 IU Per sisteminin O-C eğrisi ve yapılan parabol fiti	28
Şekil 2.16 IU Per sisteminin B bandı diferensiyel ışık eğrisi ve yapılan çözüm	28

Şekil 3.1 TUG T100 teleskobunda kullanılan Bessel UBVRI filtre seti için geçirgenlik eğrileri	32
Şekil 3.2 Gözlemlerde kullanılan 9 numaralı optik ağ için duyarlılık eğrisi	33
Şekil 3.3 EW Boo (üstte) ve IU Per (altta) için elde edilen büyüme eğrilerine örnekler.....	37
Şekil 3.4 EW Boo'nun GCVS'den alınan ışık elemanları ile oluşturulmuş O-C diyagramı, yapılan doğrusal fit ve denklemi	40
Şekil 3.5 IU Per'in Zhang vd. (2009)'den alınan ışık elemanları ile oluşturulmuş O-C diyagramı.....	40
Şekil 3.6 EW Boo'nun ışık eğrisi.....	42
Şekil 3.7 IU Per'in AÜKR (üst panel) ve TUG (alt panel) gözlemlerinden elde edilen ışık eğrileri.....	43
Şekil 3.8 EW Boo sistemine ait 1200 saniye poz süresi verilmiş bir ham tayf görüntüsü.....	45
Şekil 3.9 Çizgi tanısına bir örnek (açıklık 4)	46
Şekil 3.10 Yapılan dispersiyon fonksiyonu fiti.....	47
Şekil 3.11 EW Boo'nun kısa dalgalı boyundaki tayfı (8, 9, 10 ve 11 numaralı açıklıklar)	48
Şekil 3.12 IU Per'in kısa dalgalı boyundaki tayfı (8, 9, 10 ve 11 numaralı açıklıklar) ..	48
Şekil 3.13 EW Boo'nun uzun dalgalı boyu bölgesindeki tayfı ve atmosferik çizgiler	49
Şekil 3.14 EW Boo sisteminin (üstte) ve BD +371919 standart yıldızının (altta) 6 numaralı açıklıktaki tayfları	52
Şekil 3.15 EW Boo için 0.27 (üstte) ve 0.71 (altta) evrelerindeki CCF pikleri ve yapılan fitler	54
Şekil 3.16 IU Per sisteminin 0.69 evresindeki CCF pikleri ve yapılan fit	55
Şekil 3.17 EW Boo'nun CCF yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrisi	55
Şekil 3.18 IU Per'in CCF yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrisi.....	56
Şekil 3.19 CCF ile BF karşılaştırması.....	57
Şekil 3.20 EW Boo için farklı evrelerde bulunan genişleme fonksiyonları.....	58
Şekil 3.21 EW Boo'nun genişleme fonksiyonu yöntemi ile elde edilmiş dikine hız eğrisi	59
Şekil 3.22 IU Per'in genişleme fonksiyonu yöntemi ile elde edilmiş dikine hız eğrisi ..	59
Şekil 3.23 EW Boo'nun KOREL ile elde edilen dikine hız eğrisi.....	61
Şekil 3.24 EW Boo için baş ve yoldaş bileşenlerin KOREL ile elde edilen ayrılmış tayfları	62
Şekil 4.1 (B-V) ₀ rengine göre farklı ışınım sınıfından yıldızlar için elde edilmiş Q parametresinin değişimi (Straizys 1999).....	64

Şekil 4.2 Farklı ışınlam sınıfından yıldızlar için renk-renk diyagramı ve IU Per sisteminin bu diyagramdaki konumu	64
Şekil 4.3 CCF yöntemini kullanan FXCOR ile EW Boo ve IU Per'in tayflarındaki H β çizgisini de içeren 7 numaralı açıklığın (4523Å -5338Å arası) atlastaki tayflarla karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.4 Tayf türünün CaII K çizgisinin eşdeğer genişliklerine göre değişimi, yapılan fit ve incelenen sistemlerin konumu.....	66
Şekil 4.5 IU Per için yapılan i-q taraması	69
Şekil 4.6 EW Boo B bandı çözümü	73
Şekil 4.7 EW Boo V bandı çözümü	73
Şekil 4.8 EW Boo R bandı çözümü	74
Şekil 4.9 EW Boo I bandı çözümü.....	74
Şekil 4.10 IU Per B bandı çözümü.....	75
Şekil 4.11 IU Per V bandı çözümü.....	75
Şekil 4.12 IU Per R bandı çözümü.....	76
Şekil 4.13 IU Per I bandı çözümü	76
Şekil 4.14 EW Boo için dikine hız eğrisi çözümü	77
Şekil 4.15 IU Per için dikine hız eğrisi çözümü.....	77
Şekil 4.16 EW Boo ve IU Per sistemlerinin 0.25 evresindeki Roche geometrisi	78
Şekil 4.17 EW Boo için spektral pencere ve bulunan frekanslar	82
Şekil 4.18 EW Boo için bulunan gecelik frekansların zamana göre değişimi	82
Şekil 4.19 EW Boo için V bandı ışık eğrisi artıklarına yapılan çoklu frekans Fourier fiti	83
Şekil 4.20 IU Per için bulunan frekanslar ve spektral pencere	84
Şekil 4.21 IU Per sisteminin en uzun veri setine sahip gözlemleri için B bandı ışık eğrisi artıklarına tek frekans ile yapılan Fourier fiti.....	85
Şekil 4.22 EW Boo sisteminin zonklamaya göre evrelendirilmiş V bandı artıkları	86
Şekil 4.23 IU Per sisteminin zonklamaya göre evrelendirilmiş B bandı artıkları.....	87
Şekil 5.1 EW Boo ve IU Per sistemlerinin $\log P_{orb}-\log P_{puls}$ diyagramındaki konumları	91
Şekil 5.2 EW Boo ve IU Per sistemlerindeki bileşenlerin diğer oEA türü sistemlerin bileşenleri ile birlikte HR diyagramındaki konumları.....	92

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 δ -Scuti bileşenli örten çift sistemlerin listesi	15
Çizelge 2.2 EW Boo'nun SIMBAD ve GCVS veritabanlarından elde edilen parametreleri.....	26
Çizelge 2.3 EW Boo sisteminin bazı fiziksel parametreleri	27
Çizelge 2.4 IU Per sisteminin SIMBAD ve GCVS'den elde edilen parametreleri.....	29
Çizelge 3.1 Gözlemlere ilişkin özet bilgiler.....	31
Çizelge 3.2 TFOSC ile kullanılabilen optik ağlar	33
Çizelge 3.3 TFOSC'ta kullanılan CCD'nin özellikleri	34
Çizelge 3.4 Mukayese ve denet yıldızları kullanılarak bantlara göre hesaplanan gecelik hata miktarları.....	38
Çizelge 3.5 İncelenen sistemler için AÜKR ve TUG fotometrik gözlemlerinden elde edilen birinci minimum zamanları.....	39
Çizelge 3.6 Mukayese ve denet yıldızları	42
Çizelge 3.7 TUG'da tayfsal gözlemleri yapılan standart yıldızlar.....	51
Çizelge 3.8 Gözlem tarihlerine göre FXCOR'da kullanılan standart yıldızlar	51
Çizelge 3.9 EW Boo'nun KOREL ile elde edilen yörünge parametreleri	62
Çizelge 4.1 EW Boo için ışık ve dikine eğrisi çözümü	71
Çizelge 4.2 IU Per için ışık ve dikine hız eğrisi çözümü	72
Çizelge 4.3 EW Boo ve IU Per sistemleri için hesaplanan mutlak parametreler.....	79
Çizelge 4.4 Baş bileşendeki zonklama için frekans analizi sonuçları.....	81
Çizelge 4.5 IU Per için frekans analizi sonuçlarının karşılaştırılması	87
Çizelge 4.6 Elde edilen frekanslara karşılık gelen zonklama sabitleri ve yaklaşık zonklama modları.....	88

1. GİRİŞ

Tutulmalardan dolayı ışık değişimi gösteren örten değişen çift yıldızlar, her iki bileşenin de görülebildiği tayfsal gözlemlere sahip olunması durumunda, bileşenlerinin ayrı ayrı kütle ve yarıçaplarının kolaylıkla belirlenebildiği sistemlerdir. Bu parametreler yıldız evrimi ve zonklama yapan yıldızların içyapısının incelendiği *yıldız sismolojisi (astrosismoloji)* gibi birçok astrofizik uygulaması için en önemli parametrelerdir. Bu tür sistemlerde bileşenlerden birinin zonklama yapması ise bu bileşenin mutlak parametrelerinin doğrudan ve yüksek hassasiyetle elde edilebileceği anlamına gelir. Bir çift sistemin üyesi olmayıp zonklama yapan yıldızlarda ise mutlak parametrelerin yüksek hassasiyetle elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla bu tür sistemler özellikle astrosismoloji için kritik öneme sahiptir.

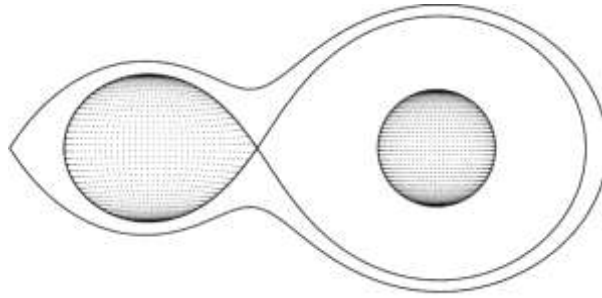
2000’li yıllarda örten çift sistemlerdeki zonklama yapan bileşenlerin varlığına olan ilgi önemli ölçüde artmış ve hızla artan sayılarda keşifler duyurulmuştur. Bu keşifler sonucu hemen hemen her türden zonklama yapan yıldızın bir örten çift sistemin üyesi olabildiği görülmüştür (Pigulski ve Michalska 2007). δ -Scutiler zonklama yapan yıldızlar içerisinde nispeten daha yaygın bir tür olduğundan zonklayan bileşene sahip örten çift sistemler içerisindeki en büyük grubu oluşturmaktadırlar. Bileşen yıldızlardan biri δ -Scuti türü değişen olan yarı ayırık sistemler için yeni bir sınıflama yapılmış ve “oEA” olarak gösterilmeye başlanmıştır. “o” sembolü oscillating (zonklayan) ve “EA” ise Algol türü örten değişen sistemleri temsil etmektedir. Bu sınıftaki sistemlerde görülen zonklama özellikleri ve evrim durumu, kütle aktarımından dolayı tek δ -Scuti yıldızlarından farklı olmaktadır (Mkrichian vd 2007). Dolayısıyla zonklamada bulunan bileşen yıldız ile birlikte kütle aktarımının ne şekilde değişikliklere yol açtığına incelenebilmesi ancak bu tür sistemlerin analizleri ile mümkündür.

Bu tez çalışması kapsamında bu yeni sınıfa dahil olan iki sistem (EW Boo ve IU Per) için hem Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi’nde (AÜKR) hem de TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’nde fotometrik ve tayfsal veriler elde edilmiştir. Fotometrik verilerden elde edilen ışık eğrisi ile tayfsal verilerden elde edilen dikine hız eğrisi birlikte analiz edilerek incelenen sistemlerin mutlak parametrelerinin bulunması ve

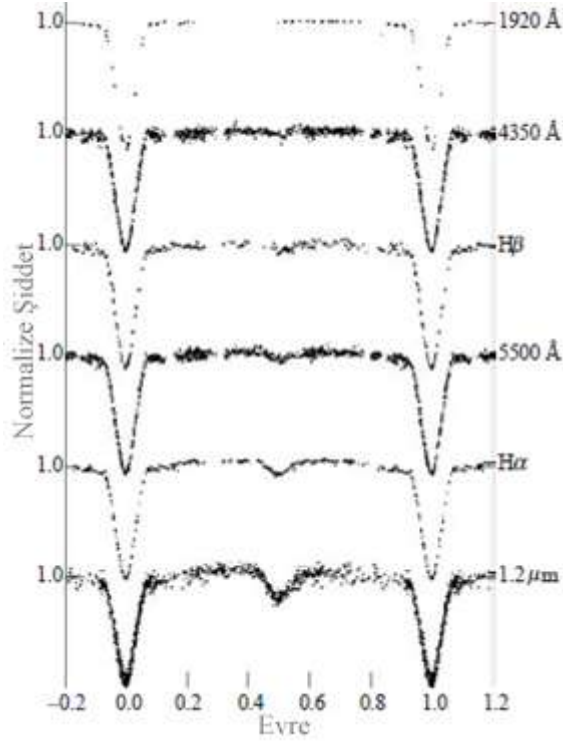
zonklama karakteristiklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bunların yanı sıra belirlenen mutlak parametreler kullanılarak sistemlerin evrim durumlarının incelenmesi, oEA sınıfına ait sistemler için şu ana kadar elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması ve bulguların literatüre kazandırılması da amaçlanmıştır.

1.1 Algol Türü Örtün Çift Yıldızlar

Yarı ayrık sistemler bileşenlerinden birinin Roche lobunu doldurduğu ve muhtemelen karşısındaki bileşenine kütle aktarımının bulunduğu çift yıldız sistemleridir (Şekil 1.1). Bu tür sistemler için verilebilecek en iyi örnek, türe adını veren Algol yıldızı (β Persei) olup Şekil 1.2’de ışık eğrisi görülmektedir. Analizler bu tür sistemlerde daha küçük kütleli bileşenin Roche lobunu doldurmuş olduğunu ve diğer bileşene kütle aktarımında bulunduğunu göstermektedir. Yıldızların evrimleri dikkate alındığında zıtlık yaratan bu duruma “Algol Paradoksu” adı verilir. Aslında daha düşük kütleli bileşen yıldız başlangıçta daha büyük kütleliyen, evrimleşerek Roche lobunu doldurarak iç Lagrange noktasından (L1) kütlelerinin büyük bir kısmını diğer bileşene aktarması sonucu böylesine bir görüntünün ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Böyle sistemlerde ortak olan bir özellik kütle kazanan bileşen etrafında birikim diskinin bulunuyor olmasıdır. Birikim diski kalıcı olmayabilir, kütle aktarımı aralıklarla gerçekleşiyorsa bu disk de geçici olabilir. Kütle aktarımı aynı zamanda sistemin döneminde de bir değişime neden olur. Bu değişim minimum zamanlarının gözlenen ve hesaplanan değerleri arasındaki farkın (O-C) analizi ile ortaya konulabilir (Percy 2007).



Şekil 1.1 Yarı ayrık bir çift sistemin Roche geometrisi



Şekil 1.2 Algol'ün (Beta Persei) farklı dalgalıboylarında elde edilen ışıık eğrileri (Percy 2007)

Klasik Algol sistemlerinde orta F'den daha erken tayf türünde, daha parlak ve evrimleşmemiş bir başyıldız ile ona eşlik eden orta F'den daha geç tayf türünde, görelı olarak daha küçük kütleli fakat evrimleşmiş bir yoldaş bileşen bulunur. Görsel bölgede parlaklığın sıklıkla 1^m'den fazla olduğu birinci minimumda örtülen bileşen hemen hemen her zaman daha büyük kütleli olan bileşendir ve genellikle bir anakol yıldızıdır (Budding 1986).

1.2 δ-Scuti Yıldızları

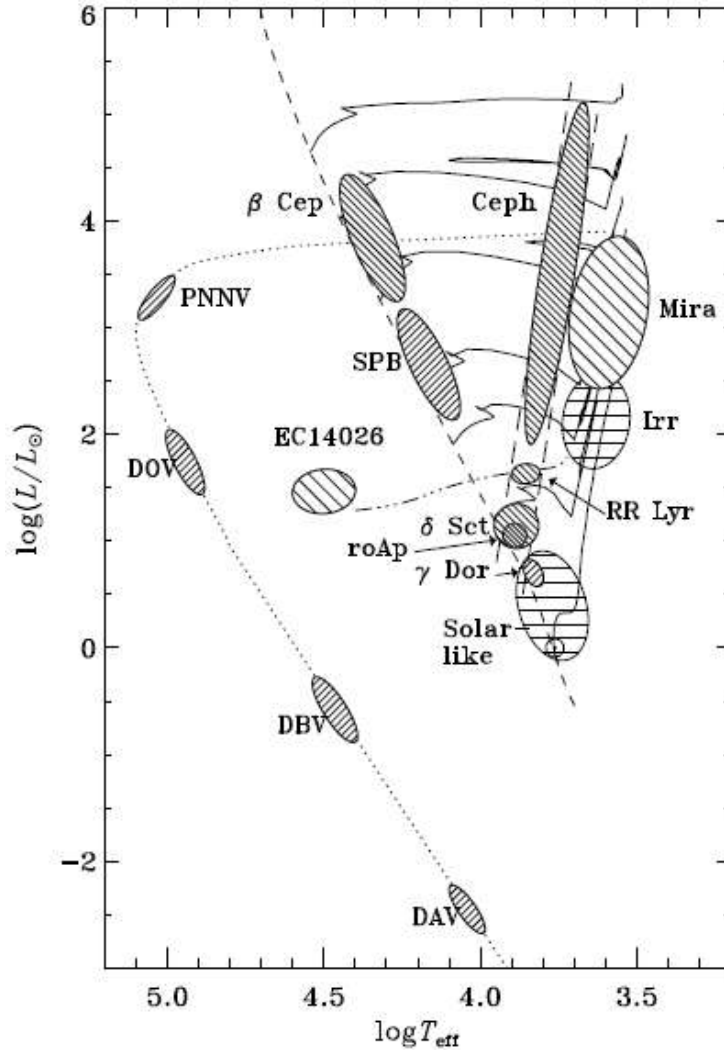
δ-Scuti türü değışenler A-F tayf türünden, 0.3 günden kısa dönemlere sahip, görsel bölgede 0.001 kadir ile 0.8 kadire kadar parlaklık değışimi gösteren zonklama yapan yıldızlardır. Tipik olarak 0.02 kadir değışim genliğine sahiptirler. Hertzsprung-Russell (HR) diyagramında kararsızlık kuşağında bulunurlar ve üstten klasik Cepheidler, alttan ise zonklama yapan beyaz cüceler ile sınırlanmış geniş bir alanda dağılım gösterirler. Büyük çoğunluğu Populasyon I üyesidir ancak küçük bir kısmı da düşük metal bolluğuna ve yüksek uzay hızlarına sahiptir ki bu özellikler de Populasyon II türü

yıldızlar olduğuna işaret eder. Bu duruma gösterilebilecek en iyi örneklerden biri de SX Phe'dir (Breger 1979). Şekil 1.3'te zonklayan yıldızların HR diyagramındaki konumları gösterilmiştir.

Anakoldan devler koluna doğru evrimleşen büyük kütleli ($M > 2 M_{\odot}$) yıldızlar HR diyagramında karasızlık kuşağını daha yüksek ışıyım gücüne sahip olarak yaklaşık yatay bir şekilde keser. Evrimsel olarak bu tür yıldızlar δ -Scuti olarak tanımlanır fakat yüksek kütle ve ışıyım güçlerinden dolayı dönemleri ortalama δ -Scuti yıldızlarından daha büyüktür ve bir güne kadar çıkabilmektedir. Böylece benzer dönemlere sahip RR Lyrae türü değişenler ile HR diyagramında aynı konumlarda çakışırlar. Bu yıldızları RR Lyrae'lerden ayırt edebilmek için yıldızların dönme hızlarına bakılabilir; evrimleşmiş δ -Scuti yıldızları RR Lyrae'lerden daha hızlı dönen cisimlerdir. Bu istisna haricinde δ -Scuti yıldızları iki alt grupta toplanırlar (Breger 2000);

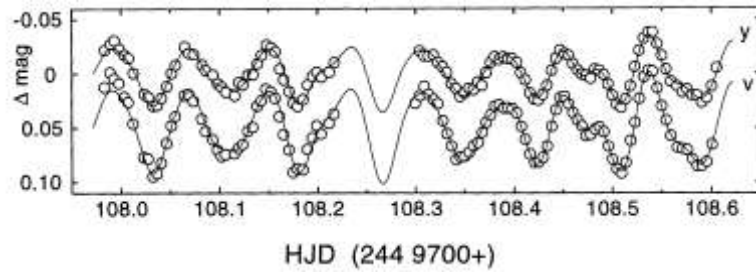
- i. Yüksek genlikli δ -Scuti yıldızları (High Amplitude δ -Scuti Stars – HADS) – ilk olarak *AI Velorum* olarak isimlendirilmiş, görsel bölgede genlikleri 0.3 kadirten büyük olanlar,
- ii. *SX Phoenicies* (SX Phe) yıldızları.

δ -Scutilerin tipik zonklama dönemleri 0.02 – 0.3 gün arasındadır ki bu süre A5-F2 III-V türü yıldızların radyal zonklama dönem aralığına karşılık gelir. δ -Scuti türü değişenlerin çoğu çoklu döneme sahiptir (Şekil 1.4) ve bu durum dönem belirlemesini zorlaştırmaktadır fakat aynı zamanda çoklu dönemlerin teorik hesaplamalar ile karşılaştırılmasıyla yıldızların içyapısını belirleyebilme (astrosismoloji) olasılığını artırmaktadır (Percy 2007).



Şekil 1.3 Zonklayan yıldızların şematik Hertzsprung-Russell diyagramı (Christensen-Dalsgaard 2003)

Kesikli çizgi sıfır yaş anakolu, sürekli çizgiler sağ alttan başlamak üzere sırasıyla 1, 2, 3, 4, 7, 12 ve 20 $M_{\odot}$ kütleler için evrim yollarını, çizgili-noktalı eğri yatay kolu, noktalı eğri ise beyaz cüce yıldızlarının evrim yollarını göstermektedir.



Şekil 1.4 Tipik bir δ -Scuti değişen yıldızı olan FG Vir'in Strömgren y ve v filtrelerindeki ışık eğrileri (Breger 2000)

Sürekli eğri teorik değişimi göstermektedir. Düzensiz ışık değişimleri çoklu dönemli değişimlerin üst üste binmesinden kaynaklanmaktadır.

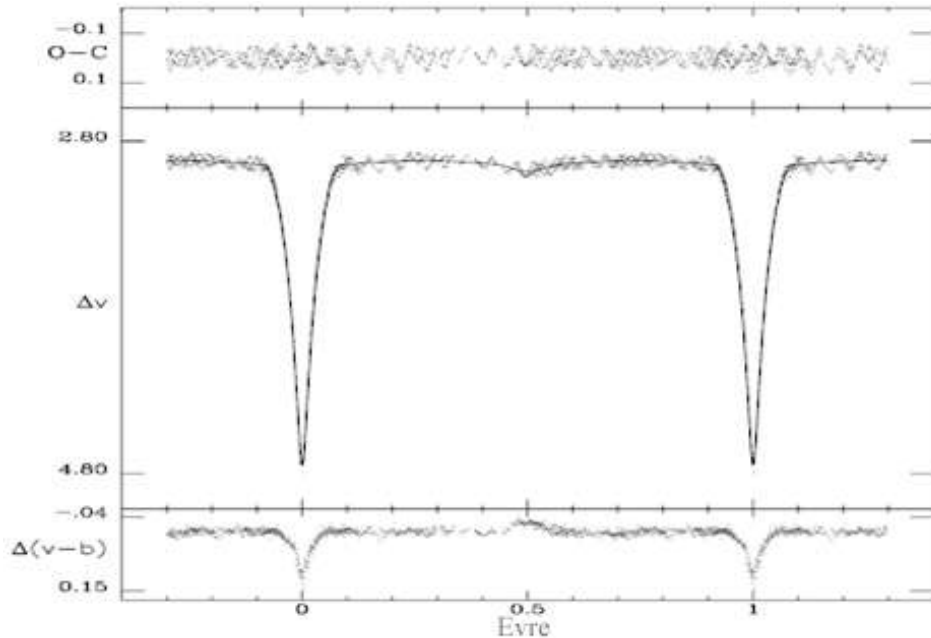
δ -Scuti türü değişenler zonklama yapan diğer değişen yıldızlar gibi dönem-ışınım gücü bağıntısına uyar. Petersen ve Christensen-Dalsgaard (1999) tarafından bulunan bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$M_V = -3.725 \log P_{temel} - 1.969 \quad (1.1)$$

Bu bağıntı temel zonklama dönemi (P_{temel}) bilinen δ -Scuti türü değişen yıldızların mutlak parlaklıklarının doğrudan hesaplanabileceğini göstermektedir. Görsel parlaklığı ile birlikte dikkate alındığında ise uzaklık modülünün ($m-M$) elde edilebilmesi ve dolayısıyla bu yıldızın uzaklığının belirlenebilmesi mümkün olabilmektedir.

1.3 oEA Türü Örtten Çift Yıldızlar

oEA türü sistemler (oscillating Eclipsing Algols) “Yarı ayırık Algol türü sistemlerde kütle toplayan ve zonklama yapan (B)A-F tayf türünden yıldızlar” şeklinde tanımlanmaktadır (Mkrichian vd. 2002b). Şekil 1.5’te bu türden bir sistemin ışık, renk ve örtülmeden arındırılmış zonklama değişimi görülmektedir.



Şekil 1.5 oEA türü bir örtten çift sistem olan AB Cas’ın Strömngren fotometrik sistemi ile elde edilmiş ışık eğrisi, eğriye yapılan teorik çözüm, çözümden olan farklar (O-C) ve renk değişimleri görülmektedir (Rodriguez vd. 2004b)

1.3.1 Keşifler ve sınıflama

Örten çift sistemlerde δ -Scuti türü zonklamalar ilk kez 1970'li yıllarda keşfedilmiş olup (Tempesti 1971, Broglia ve Marin 1974, McInally ve Austin 1977), 2000'li yıllarda keşfedilen bu türden sistemlerin sayısında hızlı bir artış ortaya çıkmıştır. 1990'lı yılların sonundan itibaren yapılan keşifler Orta Asya Grubu (Central Asian Network – CAN) tarafından yapılmış olup, 2007 yılına kadar 20 oEA yıldızı keşfedilmiştir (Mkrtichian vd. 2007). En son yayınlanan katalogda (Zhou 2010) zonklama yapan bileşene sahip 89 örten çift sistem bulunmaktadır ve bunların çok büyük bir kısmında zonklama yapan bileşen δ -Scuti türüdür. Şu ana kadar keşfedilen δ -Scuti bileşenli örten çift sistemlerin sayısı 74'ü bulmuştur ve bu sayı, özellikle de *Kepler* ve *CoRoT* uyduları sayesinde hızla artmaya devam etmektedir (Liakos vd. 2012).

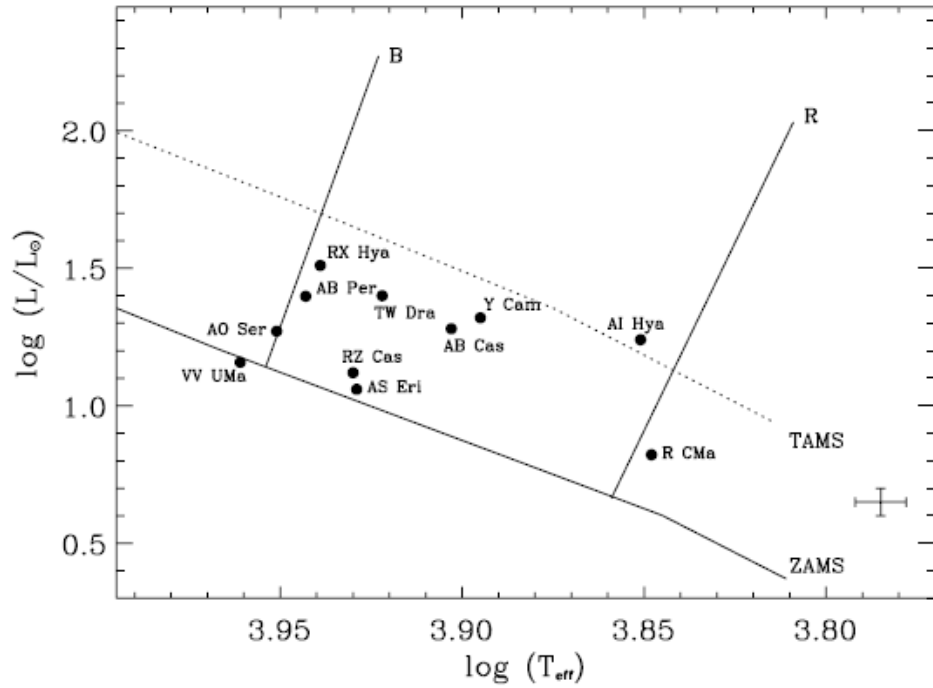
Yarı ayırık Algol türü örten çift sistemlerdeki kütle kazanan ve zonklama yapan bileşenlerin oluşturduğu sınıfın varlığı 2000'li yılların başında ortaya çıkarılmış olup nispeten yeni bir sınıf (oEA) oluşturmuştur. δ -Scuti bileşenli örten çiftlerin %70'inden fazlasını bu sınıftaki sistemler oluşturur (Rodriguez vd. 2004a). oEA şeklinde isimlendirme yapıp ayrı bir grup oluşturulmasının en önemli sebebi ise bu tür yıldızların, GCVS kataloğunda normal δ -Scuti bileşene sahip ayırık Algol sistemlerini de içeren EA/DSCT sınıfındaki yıldızlardan ayırt edilmesini sağlamaktır (Mkrtichian vd. 2002b, 2003). oEA grubundaki sistemlerde L_1 iç Lagrange noktasından kütle aktarımı gerçekleşir ve aktarılan kütle zonklama yapan bileşenin atmosferinde birikir (Mkrtichian vd. 2007). Kütle birikimi oEA yıldızının kütlelerini, yarıçapını, yoğunluğunu ve kütle birikim oranına bağlı olan evrim durumunu değiştirir. Bu değişimler zonklama dönemini ve özelliklerini etkileyebilir.

1.3.2 Evrim durumları

oEA türü sistemlerde zonklama yapan bileşen kararsızlık kuşağında bulunup, δ -Scuti türü değişenlere ilişkin tüm zonklama karakteristiklerini göstermesine rağmen, klasik δ -Scuti yıldızlarından farklı bir grup oluşturur (Mkrtichian vd. 2005). En önemli farklılıkları, oEA yıldızlarının yakın çift sistemlerdeki evrim durumlarıdır. Tek δ -Scuti

yıldızları anakol üzerinde konumlanırlar veya anakoldan devler koluna doğru hareket ederler. Diğer yandan, bir çift sistemin bileşeni olan δ -Scuti yıldızları anakol boyunca yavaş evrim gösterirler, dolayısıyla yıldız evriminin bu sıradışı kısmını incelemek oldukça faydalıdır. Evrimdeki bu farklılıklar çift sistemlerdeki kütle aktarımı ve tedirginlik etkileri ile ilişkilidir (Liakos vd. 2012, Mkrtichian vd. 2003).

Şekil 1.6'da δ -Scuti bileşenin fiziksel parametrelerinin iyi olarak belirlendiği oEA sistemleri için oluşturulmuş bir HR diyagramı görülmektedir. Bu diyagramda gözlemsel kararsızlık kuşağının mavi ve kırmızı (B ve R) kenarları ve teorik olarak oluşturulmuş ZAMS ve TAMS çizgileri de bulunmaktadır (Soydugan vd. 2006a).



Şekil 1.6 Bazı oEA sistemleri için oluşturulmuş HR diyagramı (Soydugan vd. 2006a)

Hızlı kütle aktarımı (RMT – Rapid Mass Transfer) sırasında oEA yıldızlarının düşük kütleli ataları, daha önceleri dev olan yoldaş bileşenin Roche lobundan büyük miktarda kütle kazanır ve daha yüksek kütle ve ışıyım gücüne sahip olacak şekilde hızlıca evrimleşir. Bu aşamadan sonra artık HR diyagramında sıfır yaş anakola (ZAMS) yakındırlar ve yavaş kütle birikimi (SMA – Slow Mass Accretion) evresine geçerler. SMA evresi, oEA yıldızlarını ısısal dengesizlikte tutar ve anakol boyunca daha yüksek

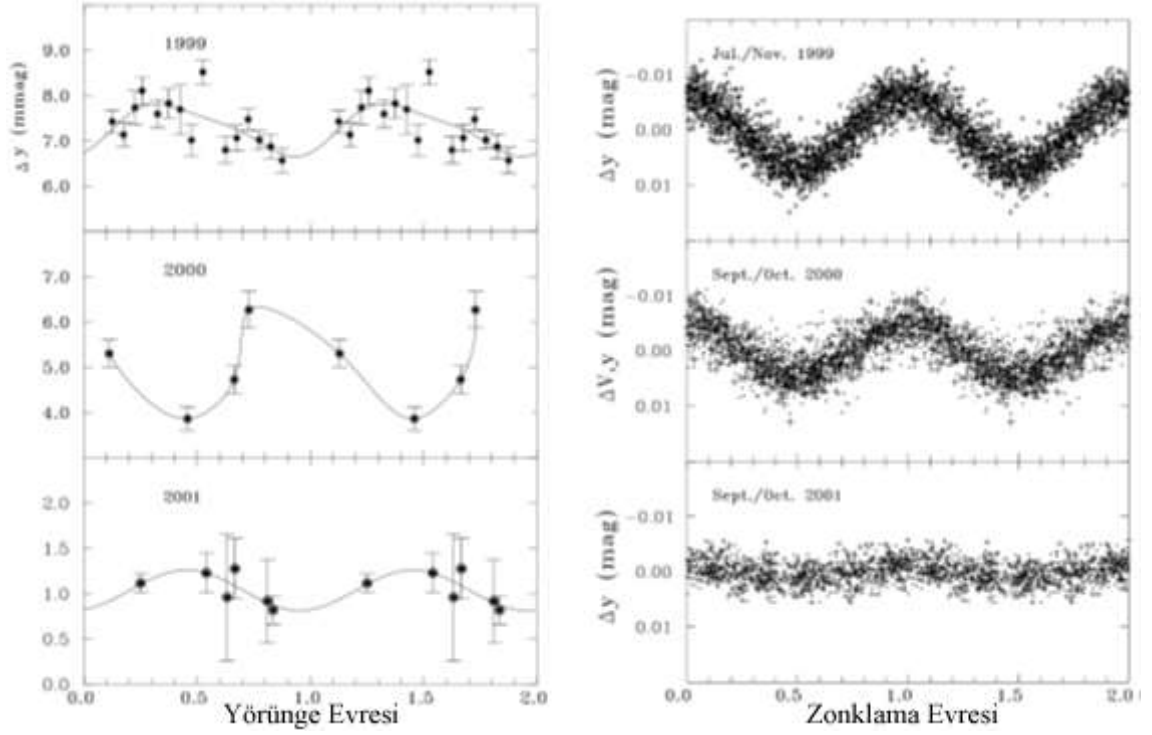
k t lelere ve daha erken tayf türlerine doğru yavaşça evrimleşmelerini sağlar. Bu evrimleşme ise oEA yıldışları ile δ -Scuti ve kararsızlık kuşağındaki diğer yıldışlar arasındaki ikinci bir farktır.  zet olarak, oEA yıldışları kütle birikimi sırasında normal anakol yıldışlarının veya anakol sonrası δ -Scuti yıldışlarının izlediği evrim yolundan farklı bir yol izlerler. Ayrıca zonklamalarından dolayı astrosismoloji çalışmaları için de oldukça çekicidirler (Mkrtichian vd. 2003). Bilinen oEA türü sistemlerin büyük çoğunluğunda sistemin daha büyük k t leli olan bileşeni δ -Scuti yıldışıdır ve tipik olarak bir kırmızı dev bileşene sahiptir (Hoffman 2009).

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Zonklamalara Kütle Aktarımının Etkisi

oEA sistemlerindeki zonklama yıldızın yüzeyindeki kütle birikimine bağlıdır. Kütle aktarımı/birikimi gözlenen zonklamayı iki şekilde etkileyebilir. Bunlardan ilki, biriken kütlenin, kütle kazanan oEA yıldızının ortalama yoğunluk, dış katmanlarının yapısı gibi özellikleri ve dolayısıyla mod seçim mekanizması üzerindeki doğrudan etkisidir. İkincisi ise, sistemi çevreleyen gazın gözlenen değerlere, özellikle de zonklamaların fotometrik ve tayfsal genliklerine olan etkisidir (Mkrichian vd. 2007). Yarı ayrılgollerde görülen kütle aktarımı ve birikimi zonklama dönemini etkileyebilir ve dolayısıyla bu durumdan oEA sistemlerinin kütle aktarım oranı belirlenebilir (Soydugan vd. 2006a).

Yoldaş bileşenin Roche lobunu doldurarak L_1 iç Lagrange noktasından, zonklama yapan δ -Scuti bileşen üzerine kütle aktarmaya başlamasıyla (kütle kaybeden yoldaş yıldızdaki manyetik aktivite sonucu) δ -Scuti bileşenin etrafında yörünge düzlemi üzerinde kuşak şeklinde bir gaz birikintisi oluşur. Ayrıca bu birikintinin etrafını saran ve çift sistemi içine alacak şekilde ince bir gaz zarf da meydana gelir. Kütle aktarım oranındaki bir artma bu yapının yoğunluğunu ve boyutlarını değiştirir, dolayısıyla bakış doğrultusundaki soğurmayı da yörünge evresi ile uyumlu olacak şekilde etkiler. Bu etki ilk kez RZ Cas'ta hem fotometrik hem de tayfsal olarak açık bir şekilde görülmüştür (Lehmann ve Mkrichian 2004). Şekil 2.1'de RZ Cas'ın zonklama genliğinde gözlenen yıllık değişimler görülmektedir. Buna göre, zonklama genliği zamanla değişmekte ve yörünge hareketinin bu değişimdeki etkisi de zamanla değişmektedir ki bu da sistemi çevreleyen gazın bakış doğrultusundaki yoğunluğunun değiştiğine işaret eder. Dolayısıyla zonklama genliklerinin yörünge evresine göre değişimleri Algol türü sistemlerdeki kütle aktarımının değişkenliğini incelemek için yeni bir araç olarak düşünülebilir (Mkrichian vd. 2007).

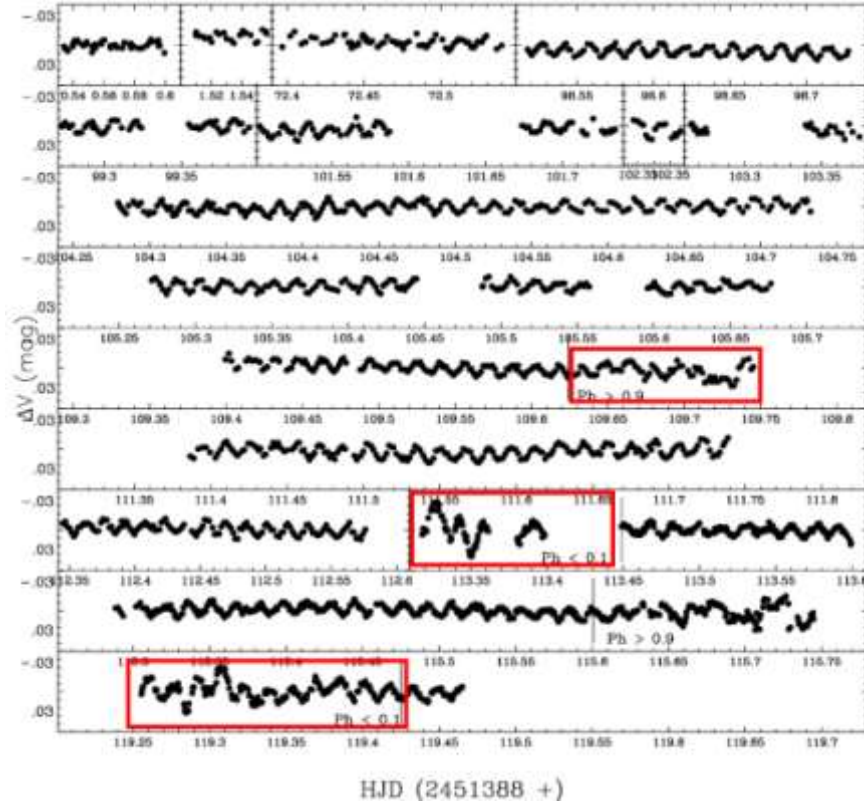


Şekil 2.1 RZ Cas'ın zonklama genliğinde farklı yıllarda gözlenen değişim (Mkrtichian vd. 2007)

Solda yörünge dönemine göre evrelendirilmiş zonklama genlikleri, sağda ise zonklama dönemine göre evrelendirilmiş ışık eğrileri görülmektedir.

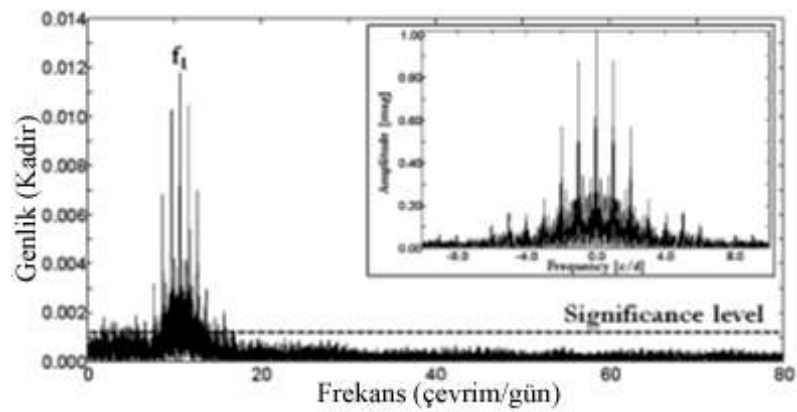
2.2 Zonklama Döneminin Çift Sistemin Fiziksel Özelliklerine Bağlılığı

oEA türü örten çift sistemlerdeki δ -Scuti bileşenin zonklama dönemini bulmak için ışık eğrisine frekans analizi uygulanır. δ -Scuti bileşenin örtülmesi sırasında Şekil 2.2'de görüldüğü gibi zonklamada düzensizlikler meydana geldiği için frekans analizinde (Şekil 2.3) ışık eğrisinin birinci minimum dışında kalan kısımları kullanılır (Rodriguez vd. 2004a).



Şekil 2.2 oEA türü bir sistem olan RZ Cas için, bileşenlerin yörüngesel hareketlerinden kaynaklanan ışık eğrisi çıkarıldıktan sonra ortaya çıkan zonklamaya ilişkin ışık eğrisi (Rodriguez vd. 2004a)

Birinci minimum civarında (kırmızı ile gösterilmiş 0.9-0.1 evreleri arasında) zonklamaya ilişkin yapının bozulduğu görülüyor.



Şekil 2.3 QY Aql sistemi için zonklamalara ilişkin frekans analizine bir örnek (Liakos ve Niarchos 2013)

İç kısımdaki panelde spektral pencere, dışındaki panelde ise birincil zonklama frekansı (f_1) görülmektedir. Kesikli çizgi ise anlamlılık düzeyini (4σ) göstermektedir.

δ -Scuti yıldızı üzerinde yoldaş bileşenin muhtemel etkisi ilk kez Soyduğan vd. (2006a) tarafından incelendi. Bu incelemede çift sistemin yörünge dönemi (P_{orb}) ile δ -Scuti bileşenin birincil zonklama dönemi (P_{puls}) arasında bir ilişkinin bulunduğu ortaya çıkarılmış olup bu ilişkinin sebebi konusunda henüz bir çalışma yapılmamıştır. Buna göre kısa yörünge dönemine sahip olan sistemlerde δ -Scuti bileşenin zonklama dönemi de kısa olma eğilimindedir. Bu çalışma Liakos vd. (2012) tarafından yeniden ele alınmış, Çizelge 2.1’de verilen 73 adet δ -Scuti bileşenli örten çift sistem değerlendirilerek yörünge ve zonklama dönemleri arasındaki ilişki yeniden incelenmiştir (Şekil 2.4). Bu çizelgede, listelenen sistemlerin türleri D (ayrık), SD (yarı ayrık) ve U (sınıflandırılmamış) şeklinde verilmiştir. Verilere en küçük kareler yöntemi ile doğrusal fit yapılarak, yörünge dönemi ile δ -Scuti bileşenin zonklama dönemi arasında aşağıda verilen bağıntılar bulunmuştur:

i. Yarı ayrık (yani oEA türü) sistemler için,

$$\log P_{puls} = -1.56(4) + 0.62(8) \log P_{orb} \quad (2.1)$$

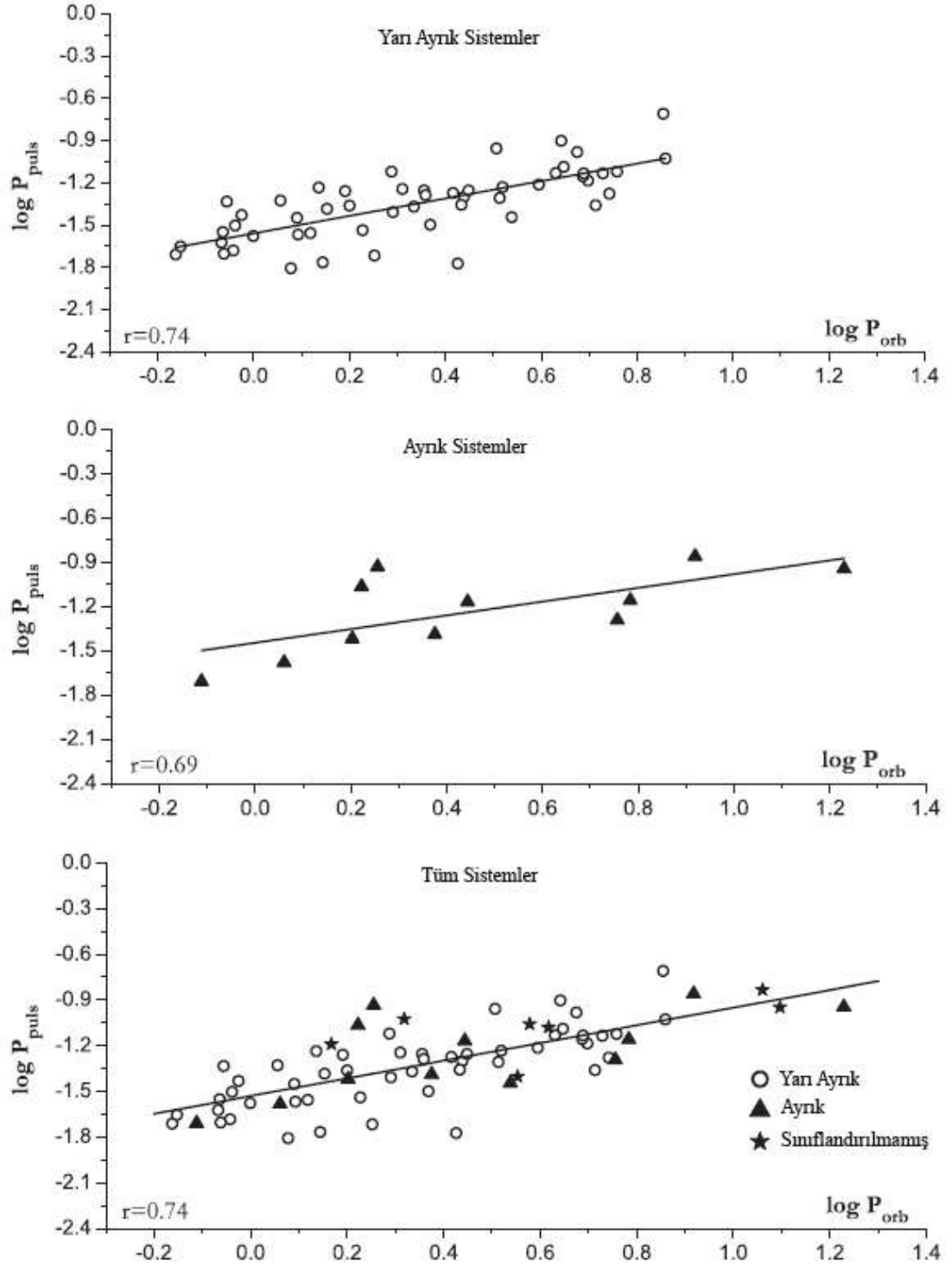
ii. Ayrık sistemler için,

$$\log P_{puls} = -1.4(1) + 0.5(2) \log P_{orb} \quad (2.2)$$

iii. δ -Scuti bileşenli bilinen tüm yakın çiftler için (ayrık, yarı ayrık, sınıflandırılmamış):

$$\log P_{puls} = -1.53(3) + 0.58(7) \log P_{orb} \quad (2.3)$$

Frolov vd. (1980) ve Tsvetkov ve Petrova (1993) zonklama dönemi ile yörünge dönemi arasındaki oranın bir rezonansın varlığını gösterebileceğini düşünerek yaptıkları araştırma sonucunda bazı çift yıldız sistemleri için böylesine bir senkronizasyonun varlığı gösterilmiştir. Ancak son bulgulara göre δ -Scuti bileşenli çift sistem türleri için zonklama ve yörünge dönemlerini birbirine bağlayan bir fiziksel yasa henüz ortaya konulamamıştır (Liakos vd. 2012).



Şekil 2.4 Çizelge 2.1’de verilen δ -Scuti bileşenli örten çift sistemler için $\log P_{orb}$ - $\log P_{puls}$ grafikleri (Liakos vd. 2012)

Sürekli çizgi yapılan en iyi doğrusal fiti, r ise korelasyon katsayısını göstermektedir.

Çizelge 2.1 δ -Scuti bileşenli örten çift sistemlerin listesi (Liakos vd. 2012)

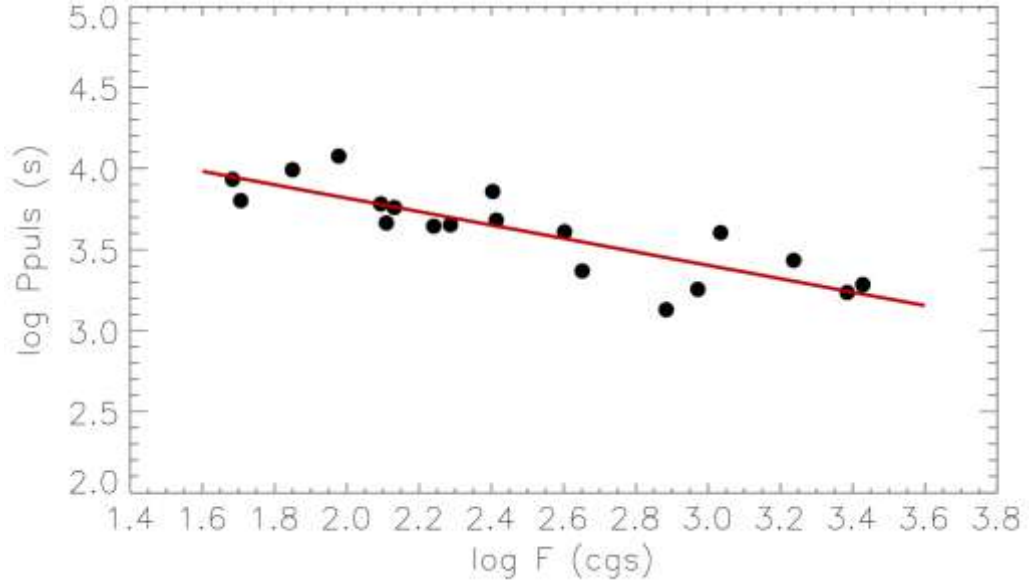
Sistem	P _{orb} (gün)	P _{puls} (gün)	Tür	Sistem	P _{orb} (gün)	P _{puls} (gün)	Tür
Cha RS	1.66987	0.086	D	GSC 4293–0432	4.3844	0.125	SD
CPD-31°6830	0.88343	0.18304	D	GSC 4550–1408	1.23837	0.02703	SD
CPD-41°5106	2.137	0.12125	D	GSC 4558–0883	3.25855	0.0493	SD
CPD-60°871	1.22096	0.21423	D	HD 62571	3.20865	0.11048	SD
Dra GK	16.96	0.11376	D	Her BO	4.27283	0.07446	SD
Dra HN	1.80075	0.11686	D	Her CT	1.7864	0.01889	SD
Dra HZ	0.77294	0.01895	D	Her EF	4.7292	0.1042	SD
HD 99612	2.77876	0.06796	D	Her TU	2.2669	0.0556	SD
HD 172189	5.70165	0.051	D	Hya RX	2.2817	0.0516	SD
HD 220687	1.59425	0.03821	D	KIC 10661783	1.23136	0.03554	SD
HIP 7666	2.37232	0.0409	D	Lac AU	1.39243	0.01977	SD
Hya AI	8.2897	0.138	D	Leo WY	4.98578	0.0655	SD
Oph V577	6.0791	0.0695	D	Leo Y	1.6861	0.029	SD
Pyx XX	1.15	0.02624	D	Lep RR	0.91543	0.03138	SD
Aql QY	7.22954	0.09385	SD	Lyn CL	1.58604	0.04338	SD
Aqr CZ	0.86275	0.02849	SD	Mic VY	4.43637	0.08174	SD
Aqr DY	2.1597	0.04275	SD	Oph V2365	4.8656	0.07	SD
Boo EW	0.9063	0.02083	SD	Ori FL	1.55098	0.05501	SD
Boo YY	3.93307	0.06128	SD	Pav MX	5.73084	0.0756	SD
Cam Y	3.3057	0.0586	SD	Peg BG	1.95243	0.04002	SD
CMa R	1.1359	0.0471	SD	Per AB	7.1603	0.1958	SD
Cap TY	1.42346	0.04132	SD	Per IU	0.857	0.0238	SD
Cas AB	1.3669	0.0583	SD	Ser AO	0.8793	0.0465	SD
Cas IV	0.99852	0.0265	SD	Tau AC	2.0434	0.05703	SD
Cas RZ	1.1953	0.0156	SD	Tel IZ	4.88022	0.07376	SD
Cep XX	2.33732	0.03174	SD	UNSW-V-500	5.35048	0.0734	SD
Cet WY	1.93969	0.07575	SD	UMa IO	5.52039	0.05275	SD
Cyg UW	3.4508	0.03405	SD	UMa VV	0.6874	0.0195	SD
Cyg V346	2.7433	0.0502	SD	Vel BF	0.704	0.02225	SD
Cyg V469	1.3125	0.0278	SD	Aur KW	3.789	0.0875	U
Dra HL	0.94428	0.03848	SD	Gru RS	11.5	0.147	U
Dra SX	5.16957	0.04375	SD	HD 61199	3.57436	0.03959	U
Dra TW	2.8069	0.0556	SD	HD 207651	1.4708	0.06479	U
Dra TZ	0.866	0.01973	SD	Her V944	2.08309	0.09467	U
Eri AS	2.6641	0.0169	SD	Leo DG	4.14675	0.08337	U
Eri TZ	2.6062	0.0534	SD	Lyn CQ	12.50736	0.11277	U
GSC 3889–0202	2.71066	0.0441	SD				

Herhangi bir çift sistemin üyesi olmayan tek δ -Scuti yıldızlarını içeren bir katalog Rodriguez vd. (2000) tarafından yayınlanmıştır. Bu katalogda δ -Scuti türü değişen yıldızların %60'ının dönemlerinin 0.05 gün ile 0.15 gün arasında olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 2.4'teki grafiğin oluşturulmasında kullanılan oEA türü sistemlerin yaklaşık %70'inde zonklama yapan birinci bileşenin zonklama dönemi 0.06 günden daha kısadır. Bu da yakın çiftlerdeki δ -Scuti bileşenlerin zonklama dönemlerinin, tek δ -Scuti yıldızlarının zonklama dönemlerinden daha kısa olduğunu gösterir (Soydugan vd. 2006a). Aslında bilinen en kısa dönemli δ -Scuti yıldızları da oEA sistemlerinde bulunmaktadır (Hoffman 2009).

Şekil 2.5'te zonklama yapan baş bileşenin zonklama dönemi, yoldaş bileşen tarafından baş bileşenin yüzeyi üzerindeki birim kütleye uygulanan kütle çekim etkisine karşılık (cgs birimlerinde) grafiğe aktarılmıştır. Bileşen yıldızların kütlesi ve bileşenler arası ayrıklığın bilindiği 21 adet sistem için bu bağıntı Soydugan ve Kaçar (2013) tarafından incelenmiş ve verilere en küçük kareler yöntemiyle yapılan doğrusal fit sonucu korelasyon katsayısı (r) 0.84 olmak üzere,

$$\log P_{puls} = -0.40 \pm 0.06 \log F + -4.63 \pm 0.40 \quad (2.4)$$

bağıntısının bulunduğu hesaplanmıştır. Buradan, yoldaş bileşen tarafından zonklama yapan baş bileşen üzerine uygulanan kütle çekim kuvvetinin artması ile baş bileşenin zonklama döneminin azalacağı sonucu çıkarılabilir.

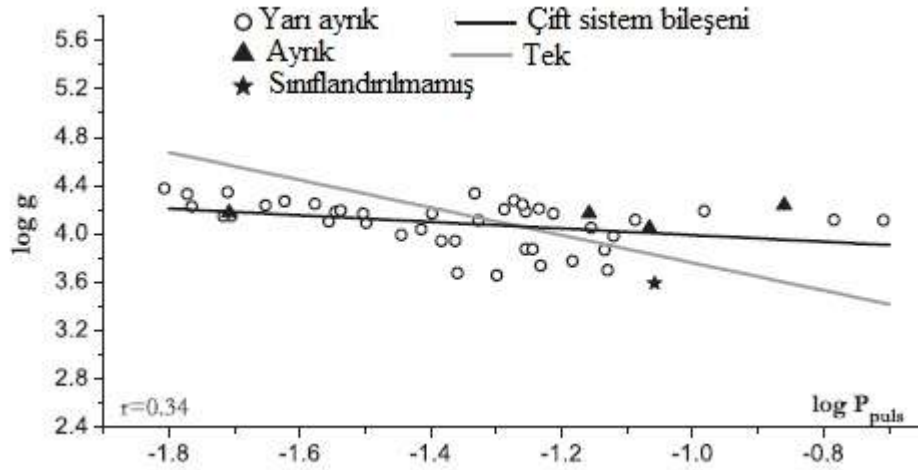


Şekil 2.5 Yoldaş bileşen tarafından zonklama yapan baş bileşen üzerine uygulanan çekim etkisine karşılık baş bileşenin zonklama döneminin değişimi (Soydugan ve Kaçar 2013)
Sürekli çizgi verilere yapılan en iyi doğrusal fiti göstermektedir.

oEA sistemlerindeki zonklama yapan bileşenin kütle ve yarıçap değerleri kullanılarak g yüzey çekim ivmesi hesaplanabilir ki bu da yıldız evrimi ile ilişkilendirilebilir. Şekil 2.6'dan görülebileceği gibi, yıldız evrimleştikçe zonklamalar yavaşlama eğilimi göstermektedir. Bu nedenle, zonklama dönemi ile yıldızın evrimsel durumu arasında bir bağlantı kurmak mümkün olabilir. $\log g$ ve $\log P_{puls}$ arasındaki korelasyon için mutlak parametreleri bilinen oEA sistemleri dikkate alınarak gerçekleştirilen doğrusal fit sonucunda,

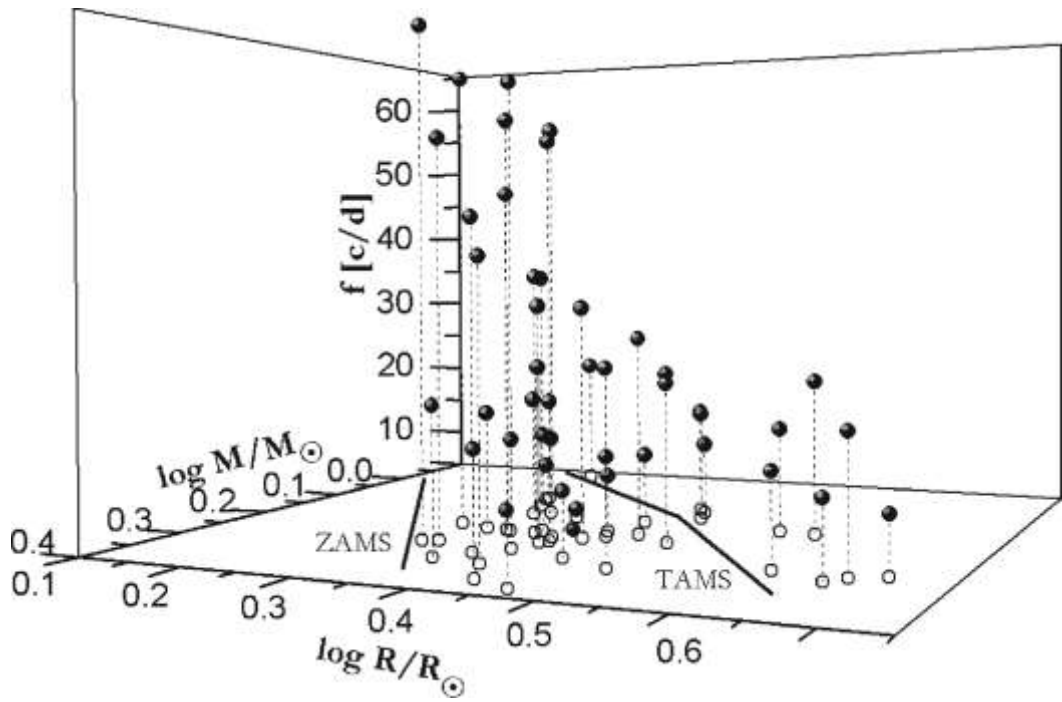
$$\log g = -0.3(1) \log P_{puls} + 3.7(2) \quad (2.5)$$

bağıntısı bulunmuştur (Liakos vd. 2012). Bazı oEA sistemleri için Şekil 2.7'de δ -Scuti bileşeninin baskın zonklama frekansı ile evrim durumu arasındaki ilişkiyi temsilen verilen üç boyutlu grafik görülmektedir. Bu grafiğe göre, daha hızlı zonklama yapan yıldızlar ZAMS-TAMS limitleri içerisinde kalırken, daha yavaş zonklama yapanlar TAMS'ın üstünde kalmaktadır.

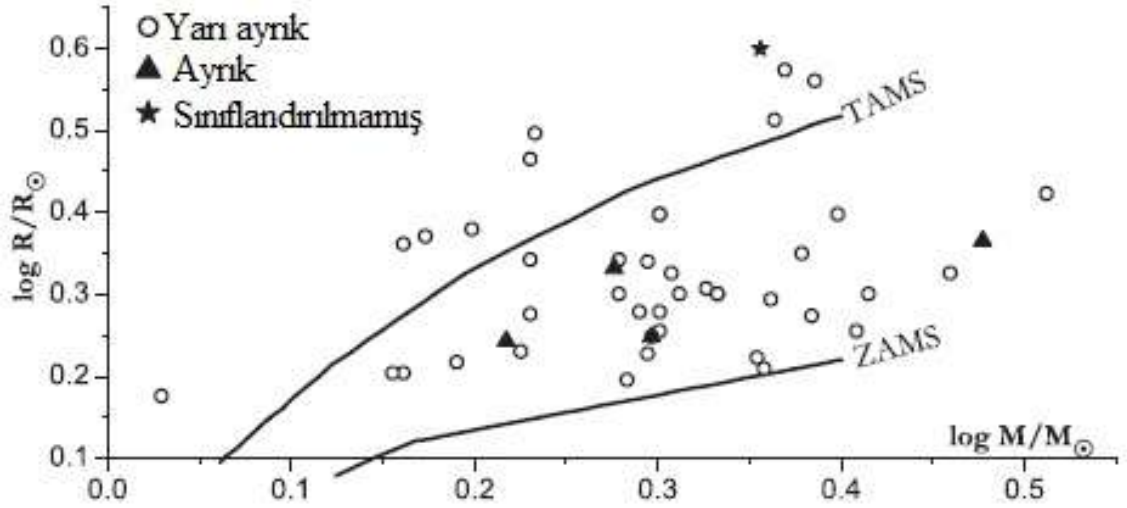


Şekil 2.6 Yakın çift sistemlerin bileşeni olan δ -Scuti yıldızları için $\log P_{\text{puls}}$ - $\log g$ grafiği (Liakos vd. 2012)

Siyah kalın çizgi yapılan fiti ($r=0.34$), gri çizgi ise bir çift sistemin üyesi olmayan tek δ -Scuti yıldızları için bulunan bağıntıyı ($\log g = -1.14(4)\log P_{\text{puls}} + 2.62(4)$ - Fernie 1995) göstermektedir.



Şekil 2.7 Bazı oEA sistemleri için oluşturulmuş, evrim durumunun (x-y düzlemi) ve baskın zonklama frekansının (z-ekseni) üç boyutlu grafiği (Liakos vd. 2012)



Şekil 2.8 Örtün çift sistemlerdeki δ -Scuti bileşenlerin Kütle-Yarıçap diyagramındaki konumları (Liakos vd. 2012)

Zhang vd. (2013) tarafından zonklama dönemi ile sistemin yörünge dönemi arasındaki ilişki teorik olarak incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda P_{puls} - P_{orb} arasındaki bağıntı, zonklama yapan bileşenin parametreleri cinsinden türetilmiş ve denklem (2.6) elde edilmiştir.

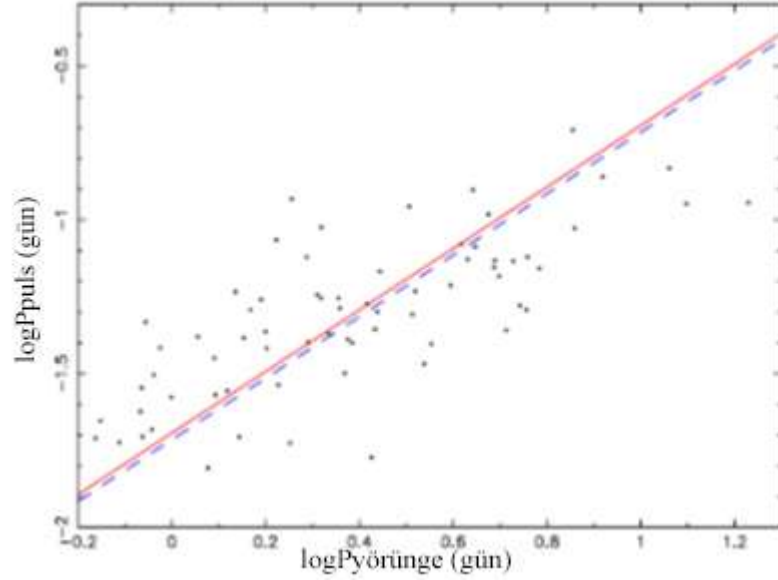
$$\log P_{puls} = \log \left[\frac{Q}{0.116} f_1^{3/2} r_{cr1}^{3/2} (1 + q^{1/2}) \right] + \log P_{orb} \quad (2.6)$$

Burada $q=M_2/M_1$ sistemin kütle oranı, f_1 baş yıldızın Roche lobunu doldurma faktörü, ρ baş yıldızın ortalama yoğunluğu olmak üzere $Q=P_{puls}(\rho/\rho_\odot)^{1/2}$ gün cinsinden zonklama sabiti, r_{cr1} ise baş bileşen için Roche lobunun kesirsel yarıçapıdır ve Eggleton (1983) tarafından denklem (2.7)'deki şekliyle ifade edilir.

$$r_{cr1} = \frac{0.49q^{-2/3}}{0.6q^{-2/3} + \ln(1+q^{-1/3})} \quad (2.7)$$

Zhang vd. (2013) tarafından bu bağıntılar yardımıyla $Q=0.014$ gün, $q=0.25$ ve $f_1=0.52$ için $\log P_{puls}$ - $\log P_{orb}$ bağıntısı oluşturulmuş ve Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuç, oEA sistemlerinde zonklama sabitinin ~ 0.01 civarında olacağını göstermektedir. Bu ise Q değerlerinin Antonello ve Pastori (1981) tarafından incelenen istatistiksel dağılımına bakıldığında büyük çoğunluğu 0.018-0.036 arasında Q değerlerine sahip

olan tek δ -Scuti yıldızlarına göre oEA sistemlerindeki δ -Scuti yıldızlarının daha düşük Q değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.



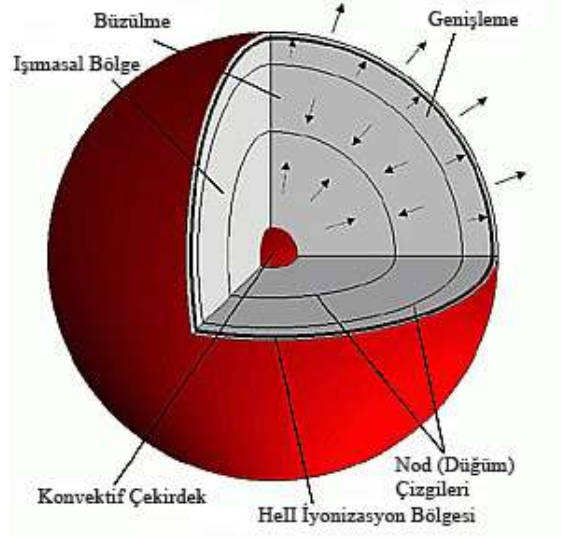
Şekil 2.9 $\log P_{\text{puls}} - \log P_{\text{orb}}$ grafiği (Zhang vd. 2013)

Sürekli çizgi yapılan doğrusal fiti, kesikli çizgi ise $Q=0.014$ gün, $q=0.25$ ve $f_1=0.52$ için denklem (2.6) ile yapılan fiti göstermektedir.

2.3 Radyal Olmayan Zonklamalar ve Konumsal Filtreleme Yöntemi

δ -Scuti yıldızları çok dönemli değişen yıldızlar olarak bilinirler. Çok sayıda radyal ve radyal olmayan modda aynı anda zonklama yapabilen yıldızlardır. Büyük çoğunluğu radyal olmayan zonklama (Non-radial pulsation – NRP) gösterirler (Breger 1979).

En basit zonklama şekli radyal zonklamadır ve bir yıldızın sonsuz sayıda radyal zonklama modu olabilir. En basit mod olan temel modda zonklama sırasında yıldızın tüm kısımları birlikte uyum içinde büzülür ve genişler. Birinci overtone modda, yıldızın içinde maddenin hareketsiz kaldığı bir ‘nodal küre’ vardır. Bu kürenin dışında ve içinde kalan maddeler birbirine zıt yönde büzülme ve genişleme hareketi yaparlar; biri büzülürken diğeri genişler. İkinci overtone modda iki adet, üçüncü overtone modda üç adet, vb. nodal küre vardır (Percy 2007). İkinci overtone modda ($n=2$) radyal zonklama yapan bir δ -Scuti yıldızının içyapısı Şekil 2.10’da verilmiştir.

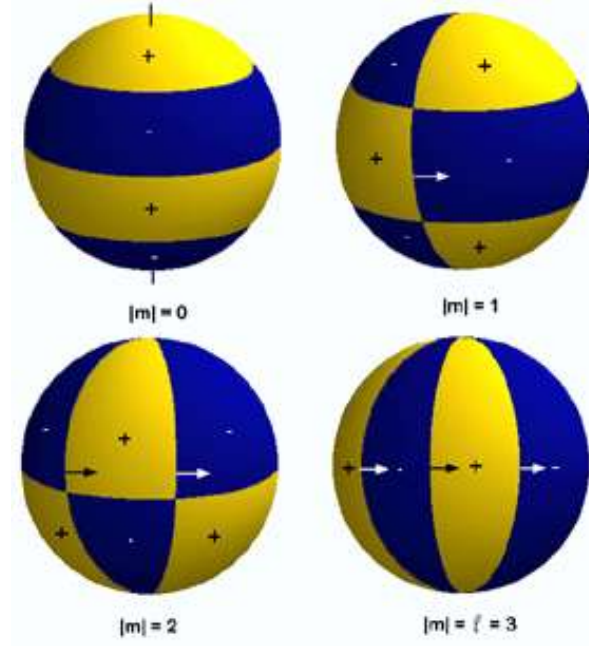


Şekil 2.10 İkinci overtone modda ($n=2$) radyal zonklama yapan bir δ -Scuti yıldızının içyapısı

Radyal olmayan zonklamada yıldızın şekli değişir fakat hacmi değişmez. Radyal olmayan zonklama modları ikiye ayrılır;

- i. Hareketin başlıca radyal olduğu ve düzeltici kuvvetin (tekrar denge konumuna getiren kuvvet) basınç olduğu p (basınç) modları,
- ii. Hareketin başlıca yatay olduğu ve düzeltici kuvvetin kaldırma kuvveti veya kütle çekimi olduğu (su dalgalarında olduğu gibi) g modları.

Radyal olmayan zonklamalar frekansları ve üç kuantum sayısı ile tanımlanır. Radyal derece (n) yıldız yüzeyi ile merkezi arasındaki nodların (düğüm) sayısına eşittir, azimutal mertebe (m) yıldız yüzeyi üzerindeki boylamsal nod çizgilerinin sayısıdır (nod çizgilerinde radyal hareket olmaz) ve radyal olmayan derece (l) yıldız yüzeyi üzerindeki nod çizgilerinin toplam sayısıdır. Dolayısıyla $l-|m|$ değeri enlemsel nod çizgilerinin sayısını gösterir. Bir l değeri için $m=-l, -l+1, \dots, l-1, l$ olmak üzere $2l+1$ olası m değeri vardır. $m \neq 0$ ise yıldız yüzeyi boyunca yayılan dalgalar vardır. $m > 0$ durumunda bu dalgalar prograd, $m < 0$ durumunda ise retrograd hareket ederler. $n=0$ olması durumunda yıldız temel modda, $n=1$ durumunda birinci overtone modda, $n=2$ durumunda ikinci overtone modda, vb. zonklama yapar. Yıldız maddesinin fiziksel hareketi temel modda zonklama sırasında en fazladır, overtone modlarda ise daha azdır. Şekil 2.11’de $l=3$ için örnek bir radyal olmayan zonklama modeli gösterilmiştir (Handler 2006).



Şekil 2.11 $l=3$ için örnek bir radyal olmayan zonklama modeli (Handler 2006)
 (+) işaretli kısımlar dışa doğru, (-) işaretliler ise içe doğru hareket etmektedir.

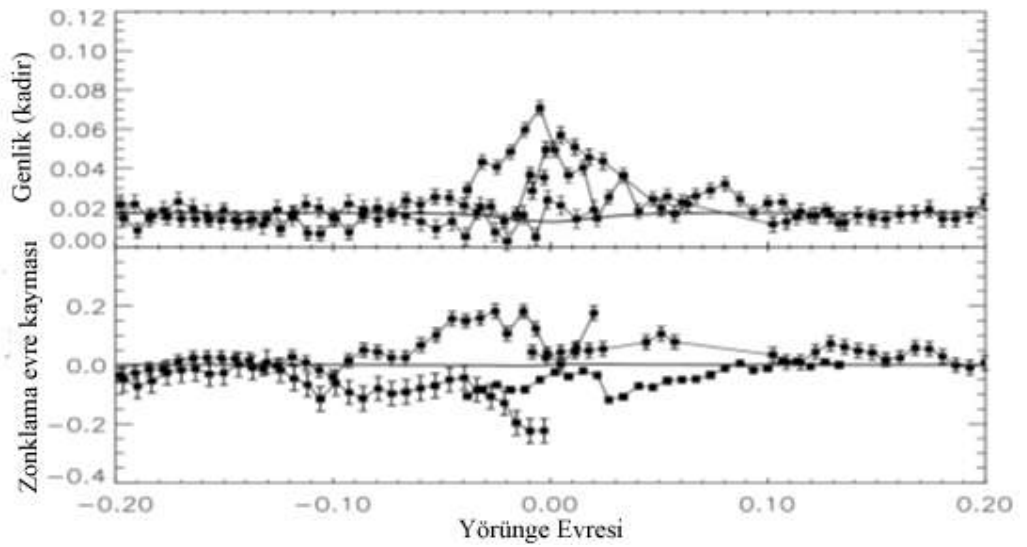
Örten çift sistemler için genellikle yörünge düzlemleri bakış doğrultusuna yakın olur ($i \sim 90^\circ$) ve her ne kadar bazı ayırık sistemler ve Algol türü sistemler için doğruluğu kanıtlanamamış olsa da, bileşen yıldızların dönme eksenlerinin sistemin yörünge düzlemine dik olduğu varsayılır. Bu varsayımın doğru olması durumunda, dönme eksenini radyal olmayan zonklamaların simetri eksenini olur ve dolayısıyla sistemdeki zonklama yapan bileşen yaklaşık olarak ekvator bölgesinden gözlenmiş olur. Bu durumda $l+|m|$ değerinin tek olduğu modların genlikleri zayıflar ve bu sebeple görülemeyebilir. Sadece $l+|m|$ değerlerinin çift olduğu modlar görünür olur. Dolayısıyla l dereceli bir mod için $N=2l+1$ moddan $N_i=l$ kadarı görünmez, $N_v=l+1$ kadarı da görünür. Bu durum da örten çiftlerdeki zonklama yapan bileşen için olası modların sayısını azaltır. Sadece $l=0$; $l=1$, $m=\pm 1$; $l=2$, $m=\pm 2$; $l=2$, $m=0$; $l=3$, $m=\pm 3$ ve $l=3$, $m=\pm 1$ olan modlar yıldız diskinden alınan fotometrik sinyalde görülebilir. Bu şekilde yaklaşık olarak yarıya düşürülen görünür mod sayıları ile teorik ve gözlemsel zonklama spektrumlarının karşılaştırılması yoluyla gerçekleştirilen mod belirleme daha kolaylaşır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, zonklamaların simetri eksenlerinin yörünge düzlemine gerçekten dik olup olmadığının henüz gözlemsel olarak tam bir ispatının

yapılmamış olması ve eksenin yörünge düzleminin normaline göre eğimli olabileceğidir (Mkrtichian vd. 2005).

oEA türü sistemlerde δ -Scuti bileşenin zonklama modlarının belirlenmesinde, bu bileşenin örtüldüğü birinci minimum kullanılır. Birinci minimum sırasında, zonklama yapmayan yoldaş bileşen geometrik konum olarak bir filtre gibi davranır ve radyal olmayan zonklamaların genlik ve faz değişimini üretir ki bu değişimler zonklama modunun (l, m) kuantum sayılarına (küresel harmonikler) ve tutulmanın geometrisine bağlıdır. Bu yöntem ‘Konumsal Filtreleme Yöntemi’ olarak adlandırılır ve heliosismolojide (Güneş sismolojisi) kullanılan, radyal olmayan zonklama modlarının geometrik filtrelenmesi yöntemine eşdeğerdir (Mkrtichian vd. 2005). Yöntemin ana fikri, görünür yıldız yüzeyinin belirli bir kısmının örtülmesi ile sadece belirli zonklama bölgelerinin gözlenmesidir. Zonklama yapan bileşene sahip örten çift sistemlerde bu örtülme zonklama yapmayan yoldaş bileşen tarafından gerçekleştirilir. Hesaplamalar sırasında değişken parametreler (l, m) kuantum sayıları, zonklama genliği ve zonklama simetri eksenini ile yıldızın dönme eksenini arasındaki açıdır. Göreli boyutlar ve yörünge eğim açısı gibi tutulmaların geometrisini tanımlayan parametreler zaten yeterince hassas bir şekilde çift sistemin ışık ve dikine hız eğrilerinden elde edilebilir (Gamarova vd. 2003).

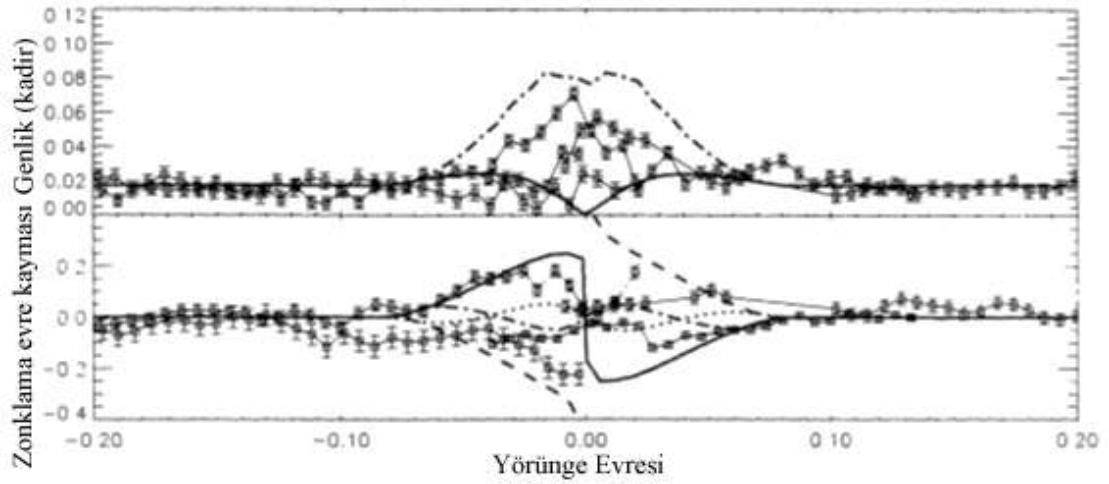
Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, birinci minimum sırasında zonklamaya ilişkin ışık eğrisinde bazı bozulmalar gerçekleşir. Bu bozulmalar kısmen diferensiyel parlaklıkların ($m_{\text{değişen}}-m_{\text{mukayese}}$) elde edilmesindeki ve/veya çift sistemin yörünge hareketinden kaynaklanan ışık değişiminin ışık eğrisinden çıkarılmasındaki sistematik hatalardan kaynaklanabilir, çünkü zonklamaya ilişkin değişimler yörünge hareketinden dolayı ortaya çıkan değişimlere göre çok daha küçüktür. Yine de bu bozulmalar ve düzensizlikler büyük oranda gerçek değişimi yansıtabilir ve bu değişimler de radyal olmayan zonklamalara işaret eder (Rodriguez vd. 2004a). Örneğin, Şekil 2.12’de RZ Cas’ın gözlenen zonklama genliğinin değişimi ve evre kaymaları $((O_{\text{max}}-C_{\text{max}})/P_{\text{puls}}$ ile hesaplanır) sentetik radyal zonklama çözümü ($l=0$) ile kıyaslanmaktadır ve birinci minimum sırasında teorik ile gözlenen değerler arasında uyumsuzluk görülmektedir. Düşük hatalar da dikkate alındığında buradaki uyumsuzluk radyal olmayan zonklama ile

açıklanabilir. Birinci minimum sırasında zonklamada gözlenen genlik değişimi ve evre kayması modellenen değişimlerle kıyaslanarak (l , m) kuantum sayılarının belirlenmesi mümkün olur. Şekil 2.13'te radyal olmayan zonklama modeli kullanılarak yapılan çözümler verilmektedir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için sürekli olarak gözlenmiş iyi kalitede ve çok sayıda birinci minimum gözlemi gerekir. Modelleme sırasında da muhtemel çoklu döneme sahip zonklama ile Algollerdeki kütle aktarımından kaynaklanan gaz akıntıları dikkate alınmalıdır (Mkrtychian vd. 2005).



Şekil 2.12 RZ Cas'ın Strömgren v filtresinde elde edilmiş birinci minimum sırasında zonklamaların genlik değişimi (üstte) ve evre kayması (altta) (Rodriguez vd. 2004a)

Kalın siyah çizgi ile gösterilen teorik eğriler radyal zonklama ($l=0$) için oluşturulmuştur.



Şekil 2.13 RZ Cas için yapılan NRP çözümleri (Gamarova vd. 2003)

Sürekli eğri $l=2, m=\pm 2$; kesikli eğri ise $l=2, m=\pm 1$ için elde edilen çözümü göstermektedir. Alttaki grafikte ise sürekli eğri $l=2, m=-2$; kesik çizgili eğri $l=2, m=2$; noktalı eğri $l=2, m=-1$ ve noktalı-çizgili eğri $l=2, m=1$ için elde edilen çözümleri göstermektedir.

2.4 Tez Çalışmasında İncelenen Sistemler

Üzerinde çalışabileceğimiz oEA türü sistemlerin seçiminde birçok parametre göz önüne alınmıştır. Her şeyden önce, katalog ve literatür araştırması yapılarak henüz fiziksel parametreleri belirlenmemiş sistemler üzerine odaklanılmıştır. Çalışmanın en önemli tarafı hiç kuşkusuz ki bu tür sistemlerdeki baş bileşende görülen δ -Scuti türü zonklamalardır ve bu zonklamalar oldukça küçük genliğe sahiptir. Bu durum ise gözlemlerini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla seçim yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan biri de kullanılacak gözlem araçlarının kapasiteleridir. Bu yüzden, ayrıntıları bölüm 3'te verilen elimizdeki gözlem araçları dikkate alınarak, 11 kadirde daha parlak ve 0.02 kadirde daha büyük zonklama genliğine sahip olan sistemler tercih edilmiştir. Bu sistemler içerisinde son olarak, tez kapsamındaki gözlem projelerimize tahsis edilebilecek sınırlı gözlem zamanı göz önünde bulundurularak, yörünge dönemi 1.5 günden kısa olanlar seçilmiştir. Gözlemleri tamamlanarak bu çalışmada incelenen sistemler, EW Boo ve IU Per, oEA türü sistemlerdeki neredeyse en kısa yörünge dönemine sahip olan sistemlerdir.

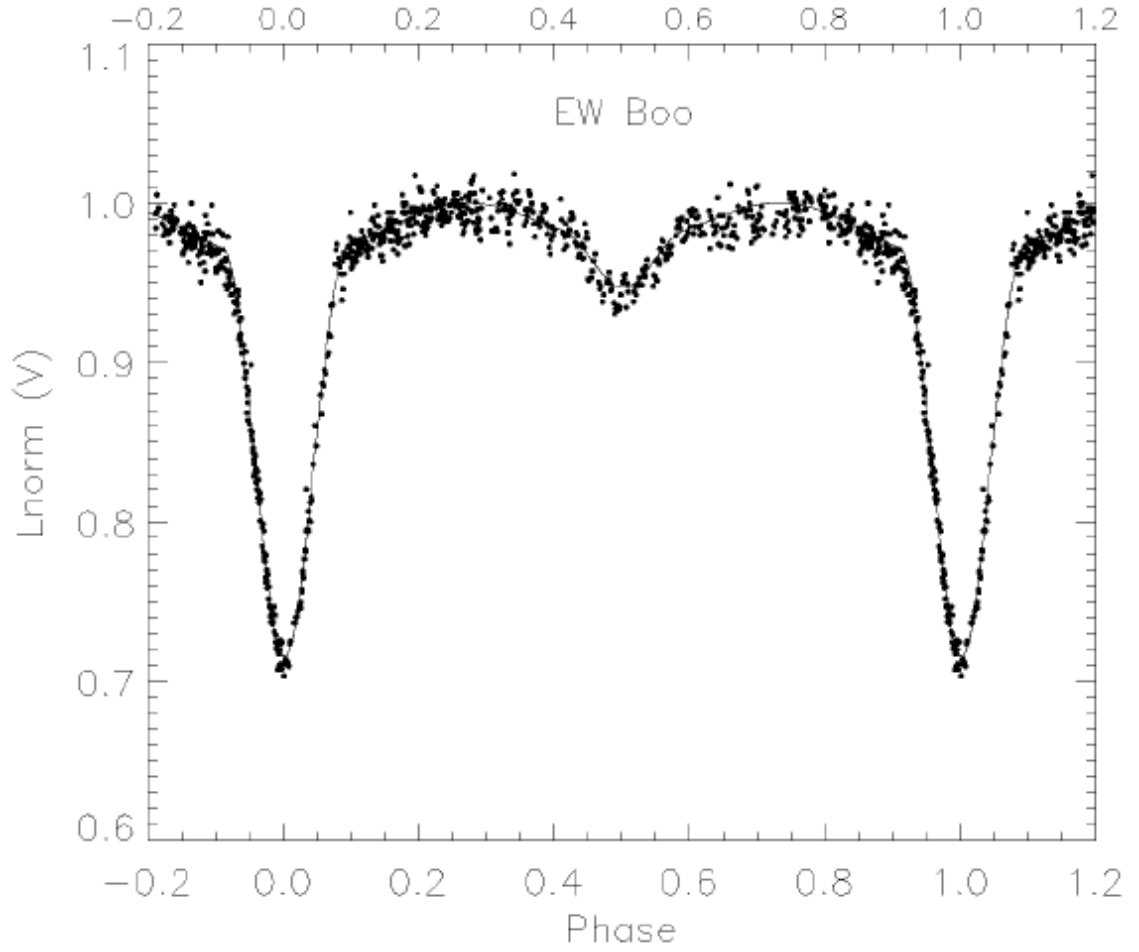
2.4.1 EW Boo

Hipparcos uydusu tarafından (ESA 1997) keşfedilen EW Boo (=HIP 73612, TYC 3044-443-1, BD+38 2613) literatürde hakkında çok bilgi bulunmayan Algol türü bir örten değişen sistemdir. GCVS’de sistemin ışık elemanları $MinI(HJD)=2452500.229+0^g.9063492 \times E$ olarak verilmiştir. Sistemin ışık eğrisi Şekil 2.14’te, SIMBAD ve GCVS veritabanlarından alınan bazı parametreleri ise Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 EW Boo’nun SIMBAD ve GCVS veritabanlarından elde edilen parametreleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
α (J2000)	15 ^{sa} 02 ^{dk} 46 ^{sn}	J	9 ^m .882
δ (J2000)	37° 54’ 36’’	H	9 ^m .772
B	10 ^m .48	K	9 ^m .782
V	10 ^m .26	π (mas)	1.87±1.38
Tayf Türü	A0	P (gün)	0 ^g .9063492

EW Boo sistemi Soyduğan vd. (2006b) tarafından Cepheid kararsızlık kuşağının δ -Scuti bölgesinde bulunan yakın çiftler kataloğunda zonklama yapmaya aday bir sistem olarak gösterilmiştir. Soyduğan vd. (2008) tarafından yapılan fotometrik çalışmanın HELAS Workshop (Wroclaw – Polonya 2008) kapsamında yayınlanan ön sonuçlarında sistemin tahmini kütle oranı ($q=M_2/M_1$) 0.217, zonklama yapan bileşenin tahmini sıcaklığı 8179 K ve tahmini zonklama dönemi yaklaşık 30 dakika olarak verilmiş, bunlar haricinde sisteme ilişkin diğer parametrelerden bahsedilmemiştir. Ayrıca az sayıda olduğu söylenen tayfsal verilerle ilgili de herhangi bir detay verilmemiştir. Daha sonra ise Soyduğan ve Kaçar (2013) tarafından $\log F - \log P_{puls}$ (Şekil 2.5) bağıntısının oluşturulmasında kullanılan sistemler içerisinde Çizelge 2.3’te verilen parametreleri ile birlikte listelenmiştir. Bu parametrelere kaynak olarak da hazırlık aşamasındaki kendi çalışmalarını göstermişlerdir.



Şekil 2.14 EW Boo sisteminin V bandı normalize ışık eğrisi (Soydugan vd. 2008)

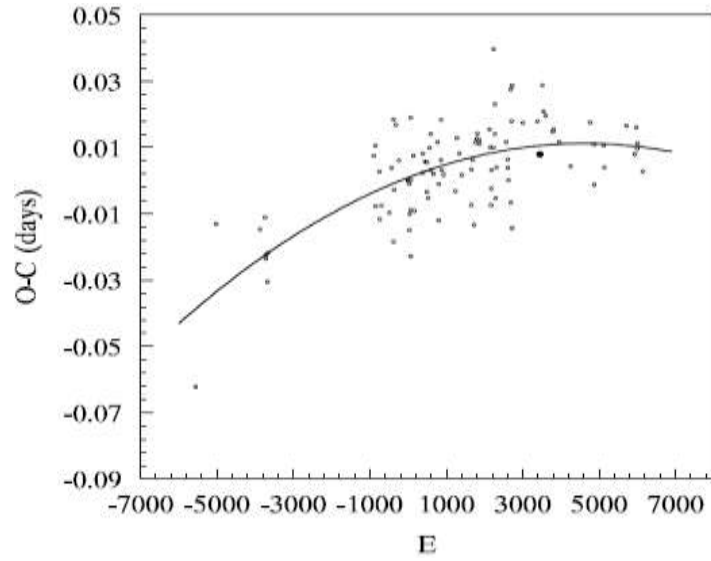
Çizelge 2.3 EW Boo sisteminin bazı fiziksel parametreleri (Soydugan ve Kaçar 2013)

P_{puls} (gün)	M_1 ($M_{\odot}$)	M_2 ($M_{\odot}$)	a ($R_{\odot}$)	R_1 ($R_{\odot}$)	q
0.0208	1.4	0.31	4.7	1.71	0.22

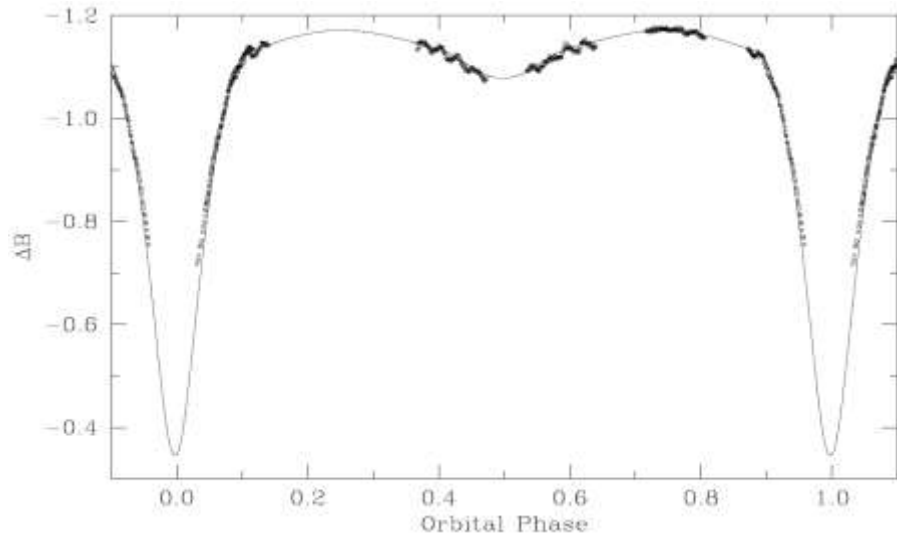
2.4.2 IU Per

IU Per (=TYC 2858-2564-1) sistemi GCVS’de yarı ayrık Algol türü (EA/SD) bir sistem olarak listelenmiş ve ışık elemanları $MinI(HJD)=2445611.436+0^g.8570251 \times E$ şeklinde verilmiştir. Çizelge 2.1’de verilen sistemler arasında en kısa dönemlilerden biri olarak göze çarpmaktadır. Qian (2001) tarafından yapılan dönem analizinde sistemin

döneminin sürekli olarak azaldığı sonucuna varılmıştır (Şekil 2.15). Sistemin baş bileşenindeki zonklama ilk kez Kim vd. (2005) tarafından ortaya çıkarılmış (Şekil 2.16) ve $f_1=42.103 \text{ gün}^{-1}$ ve $f_2=45.806 \text{ gün}^{-1}$ olmak üzere iki zonklama frekansı bulunmuştur. Aynı zamanda, sistemin yarı ayırık Algol türü olmasından ve baş bileşeninin δ -Scuti türü çok dönemli zonklama yapmasından dolayı IU Per'in oEA grubundan olabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 2.15 IU Per sisteminin O-C eğrisi ve yapılan parabol fiti (Qian 2001)



Şekil 2.16 IU Per sisteminin B bandı diferensiyel ışık eğrisi ve yapılan çözüm (Kim vd. 2005)

Çizelge 2.4 IU Per sisteminin SIMBAD ve GCVS'den elde edilen parametreleri

Parametre	Değer
α (J2000)	02 ^{sa} 59 ^{dk} 36 ^{sn}
δ (J2000)	43° 55' 19''
B	10 ^m .85
V	10 ^m .56
J	9 ^m .781
H	9 ^m .628
K	9 ^m .568
P (gün)	0 ^g .8570251
Tayf Türü	A4

IU Per sistemi üzerinde Zhang vd. (2009) tarafından kapsamlı bir fotometrik çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, sistemin yeni elde edilen minimum zamanları kullanılarak yapılan dönem analizi ile yeni ışık elemanları elde edilmiş ve V bandı ışık eğrisinin analizi yapılarak geometrik parametrelere ulaşılmıştır. Fotometrik çözüm ışık eğrisinden çıkarıldıktan sonra kalan artıklara yapılan Fourier analizi sonucunda sistemdeki baş bileşenin zonklamasına ilişkin 4 farklı frekans bulunmuş, ayrıca bulunan her bir zonklama modu için baş bileşenin mutlak parametreleri bilinmeden hesaplanan ortalama yoğunluk değeri kullanılarak zonklama sabiti (Q) hesaplanmıştır. Son olarak da yapılan mod belirleme çalışması ile baş bileşenin büyük olasılıkla radyal zonklama yaptığı sonucuna varılmıştır. Çalışmada herhangi bir tayfsal veri kullanılmamış ve sistemin mutlak parametreleri hesaplanmamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışma kapsamında seçilen oEA türü iki sistem (EW Boo ve IU Per) için fotometrik ve tayfsal gözlemler gerçekleştirilmiştir. Kabul edilen gözlem projelerimiz çerçevesinde fotometrik gözlemler hem Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde (AÜKR) hem de TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG), tayfsal gözlemleri ise TUG'da gerçekleştirilmiştir. Her iki gözlemevinde projelerimiz için tahsis edilen gözlem gecelerinden bazılarında olumsuz hava koşulları ve/veya teknik sorunlar sebebiyle gözlem hiç yapılamamış ya da yapılsa bile yeterli kalitede gözlem verisi elde edilememiştir. Yapılan gözlemlere ilişkin özet bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.1 Fotometrik veriler

AÜKR'de 2012 ve 2013 yıllarında yapılan fotometrik gözlemlerde 40 cm çaplı, Schmidt-Cassegrain odaklı, f/10 odak oranına sahip Meade LX200 GPS teleskobu ile Apogee ALTA U47 CCD kamera ve Johnson-Cousins BVRI filtre setinden oluşan odak düzlemi aletleri kullanılmıştır. Piksel boyutu 13x13 mikron (μm) olan 1024x1024 piksellik CCD gökyüzünde 11"x11" büyüklüğünde bir alan görmektedir.

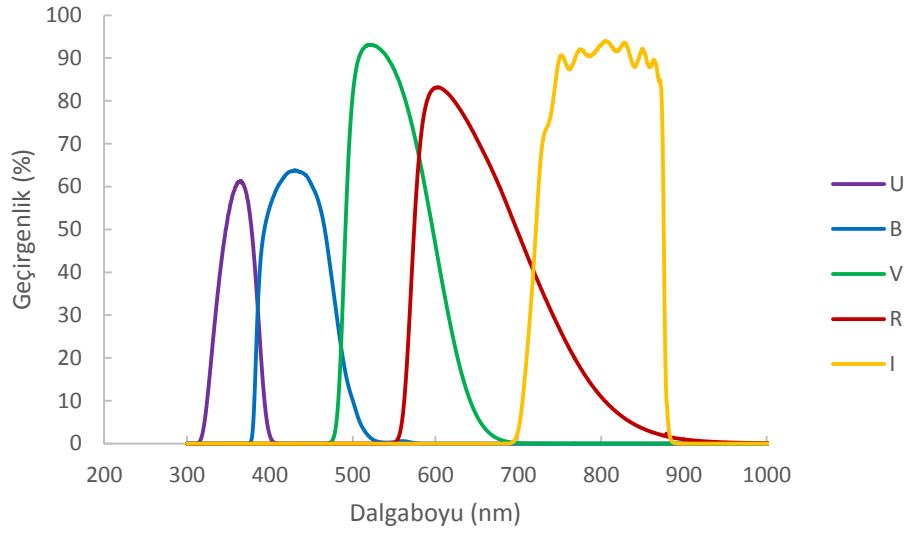
TUG'da 2013-C döneminde (Ekim 2013 – Ocak 2014) olumsuz hava koşullarından dolayı, projemize tahsis edilen dört gecenin sadece birinde gözlem yapılabilmektedir. Bu gözlem için 100 cm çaplı, f/10 odak oranına ve Ritchey-Chrétien¹ optik sistemine sahip T100 teleskobu ile gökyüzünde 21".5x21".5 büyüklüğünde bir alan görebilen, 15x15 mikron piksel boyutuna sahip 4096x4096 piksellik SI 1100 Cryo CCD kamera ve geçirgenlik eğrileri Şekil 3.1'de verilen Bessel UBVRi filtre setinden oluşan odak düzlemi aletleri kullanılmıştır.

¹ İki adet hiperbolik aynaya sahip özelleştirilmiş bir Cassegrain türü optik sistemdir.

Çizelge 3.1 Gözlemlere ilişkin özet bilgiler

Gözlem Türü	Tarih	Gözlemevi	Gözlenen yıldızlar/Veri sayısı	Kullanılan Filtreler
Fotometrik	10.06.2012	AÜKR	EW Boo/916	Johnson VRI
	01.07.2012	AÜKR	EW Boo/392	Johnson BVRI
	15.07.2012	AÜKR	EW Boo/452	Johnson BVRI
	24.07.2012	AÜKR	EW Boo/572	Johnson BVRI
	29.08.2012	AÜKR	EW Boo/328	Johnson BVRI
	03.09.2012	AÜKR	EW Boo/324	Johnson BVRI
	04.11.2012	AÜKR	IU Per/1216	Johnson BVRI
	05.11.2012	AÜKR	IU Per/1148	Johnson BVRI
	14.12.2012	AÜKR	IU Per/690	Johnson BVRI
	30.12.2012	AÜKR	IU Per/460	Johnson BVRI
	06.03.2013	AÜKR	EW Boo/552	Johnson BVRI
	31.03.2013	AÜKR	EW Boo/108	Johnson BVRI
	04.05.2013	AÜKR	EW Boo/496	Johnson BVRI
	24.05.2013	AÜKR	EW Boo/380	Johnson BVRI
	30.05.2013	AÜKR	EW Boo/320	Johnson BVRI
	10.06.2013	AÜKR	EW Boo/428	Johnson BVRI
	20.06.2013	AÜKR	EW Boo/528	Johnson BVRI
	05.07.2013	AÜKR	EW Boo/440, IU Per/120	Johnson BVRI
	03.09.2013	AÜKR	EW Boo/240, IU Per/532	Johnson BVRI
	10.09.2013	AÜKR	EW Boo/212, IU Per/640	Johnson BVRI
	25.09.2013	AÜKR	IU Per/644	Johnson BVRI
	06.10.2013	AÜKR	IU Per/800	Johnson BVRI
	09.10.2013	AÜKR	IU Per/160	Johnson BVRI
	27.10.2013	TUG	IU Per/1821	Bessel UBVI
	05.11.2013	AÜKR	IU Per/320	Johnson BVRI
Tayfsal ²				Evre Aralığı
	19.03.2013	TUG	EW Boo/3	0.22 – 0.25
	20.03.2013	TUG	EW Boo/10	0.23 – 0.38
	24.03.2013	TUG	EW Boo/14	0.61 – 0.89
	07.07.2013	TUG	EW Boo/11, IU Per/2	0.41 – 0.59
	08.07.2013	TUG	EW Boo/11, IU Per/2	0.50 – 0.70

² İncelenen oEA türü sistemlerin haricinde dikine hız belirlemek için seçilen bazı hız standartlarının da gözlemleri yapılmıştır.



Şekil 3.1 TUG T100 teleskobunda kullanılan Bessel UBVRİ filtre seti için geçirgenlik eğrileri (<http://monet.uni-goettingen.de/foswiki/MonetObserving/Filters>)

3.1.2 Tayfsal veriler

Gözlemsel verisi bu çalışmada kullanılmak üzere gerçekleştirilen tayfsal gözlemler TUG’da bulunan 1.5m çaplı, Ritchey-Chrétien optik sistemine sahip RTT150 teleskobu ile yapıldı. Odak düzlemi aleti olarak hem doğrudan görüntüleme hem de düşük/orta çözünürlükte tayf ölçümü yapabilen, 0.68 odak indirgeme çarpanına³ sahip TFOSC (TUG Faint Object Spectrograph and Camera) kullanılmıştır.

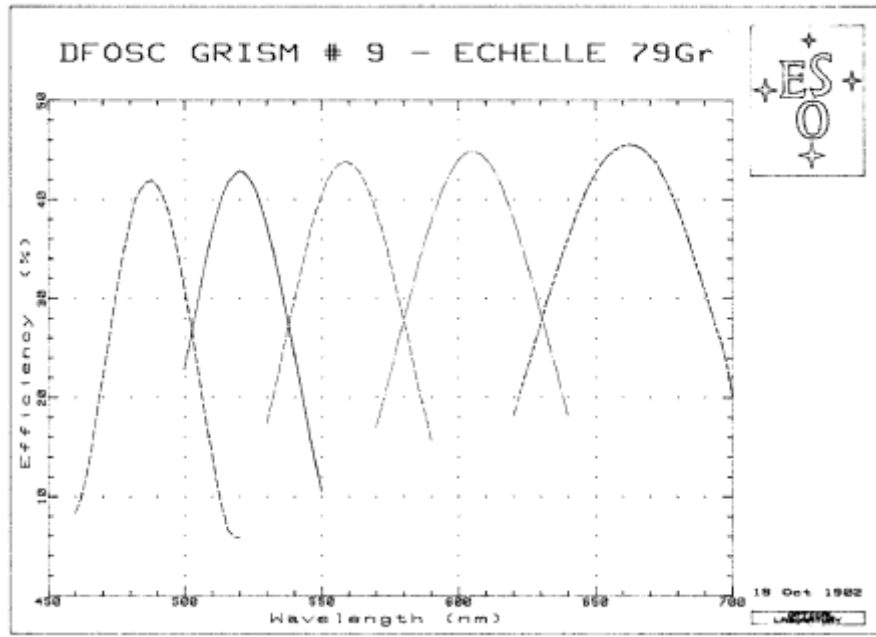
TFOSC ile 3300-12000 Å dalgaboyu aralığında tayf elde etmek mümkündür ve kullanılan optik ağırlara (grism) bağlı olarak tayfsal çözünürlük $R \sim 200$ ile 5000 arasındadır. TFOSC ile kullanılabilen optik ağırlar ve bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu çalışmadaki tayfsal veriler, duyarlılık eğrisi Şekil 3.2’de verilen 9 numaralı optik ağı kullanılarak elde edilmiştir.

TFOSC’ta tayf kalibrasyonu için 6 adet lamba (Halojen, Ne, He, Fe-Ar, Th-Ar) bulunmaktadır. Düz alan (flat) görüntüleri için Halojen, dalgaboyu kalibrasyonu için ise Fe-Ar (demir-argon) lambaları kullanılmıştır.

³ Teleskobun etkin odak uzunluğunu kısaltır.

Çizelge 3.2 TFOSC ile kullanılabilen optik ağılar (<http://tug.tubitak.gov.tr/>)

Grism (Optik Ağ)	Order (Basamak)	Çözünürlük ($R=\lambda/\Delta\lambda$)	Dalgaboyu Aralığı (Å)	$\Delta\lambda$ (Å)
7	1	1331	4300-6250	4.1
8	1	2189	6200-7850	3
9	6-18	5099	3350-9400	1.2
10	1	228	3300-6400	17
11	1	392	4000-7600	13
12	1	205	5300-10200	37
14	2	1337	3270-6120	5.4
15	2	749	3230-9120	12
17	2	2659	6500-12000	-



Şekil 3.2 Gözlemlerde kullanılan 9 numaralı optik ağ için duyarlılık eğrisi (<http://www.ls.eso.org/>)

TFOSC'ta arkadan aydınlatmalı Fairchild 447 yongasına sahip, sıvı azot ile soğutulan bir CCD kullanılmaktadır. Söz konusu CCD'nin özellikleri Çizelge 3.3'te verilmektedir.

Çizelge 3.3 TFOSC'ta kullanılan CCD'nin özellikleri

Piksel formatı	2048x2048 piksel	
Piksel boyutu	15x15 mikron	
Piksel ölçeği	0.39 ``/piksel	
Görüş alanı	13`.3x13`.3	
Kazanç (A)	1.34 e ⁻ /ADU (Yüksek)	5.02 e ⁻ /ADU (Düşük)
Kazanç (B)	1.35 e ⁻ /ADU (Yüksek)	5.06 e ⁻ /ADU (Düşük)
Okuma gürültüsü (A)	5.1 e ⁻ (Yüksek kazanç)	7.6 e ⁻ (Düşük kazanç)
Okuma gürültüsü (B)	5.3 e ⁻ (Yüksek kazanç)	7.8 e ⁻ (Düşük kazanç)

3.2 Yöntem

Bu tez çalışmasında incelenen sistemlerin fotometrik ve tayfsal gözlemlerinden elde edilen veriler Linux tabanlı işletim sistemlerinde çalışan IRAF⁴ (Image Reduction and Analysis Facility) programı ile indirgenmiştir. İndirgeme işlemlerinden sonra fotometrik verilerden ışık eğrileri elde edilmiştir. Tayfsal verilerden ise dikine hız eğrilerinin elde edilmesi için aşağıda belirtilen üç farklı program kullanılmıştır:

- IRAF içindeki *guiapps* paketinde yer alan ve çapraz korelasyon fonksiyonu yöntemini (Cross Correlation Function – CCF) kullanan FXCOR altprogramı.
- Rucinski (1999) tarafından geliştirilen genişleme fonksiyonu (broadening function) yöntemini kullanan Rucinski Broadening Function⁵ (Broad25f.exe) programı.
- Hadrava (1995) tarafından geliştirilen “Bileşke tayfın Fourier dönüşümü ile ayrıştırılması” yöntemini kullanan KOREL⁶ programı.

Işık ve dikine hız eğrilerinin analizinde Prsa ve Zwitter (2005) tarafından geliştirilen, Wilson-Devinney (WD) kodunun (Wilson ve Devinney 1971) 2003 sürümünü (van Hamme ve Wilson 2003) kullanan PHOEBE⁷ (Physics Of Eclipsing Binaries) programının 0.31a sürümü kullanılmıştır. PHOEBE hem Linux hem de Windows

⁴ <http://iraf.noao.edu/>

⁵ <http://www.astro.utoronto.ca/~rucinski/SVDcookbook.html>

⁶ <http://www.asu.cas.cz/~had/korel.html>

⁷ <http://phoebe-project.org/1.0/>

işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Tez alışması kapsamında yapılan analizlerde PHOEBE'nin Linux üzerinde çalıştırılması tercih edilmiştir.

Işık eğrisi analizlerinden sonra zonklama yapan bileşenin incelenmesinde PERIOD04⁸ v1.2 programı kullanılmıştır. Bu program Fourier analizi ile çok dönemli değişimlerden frekansları tek tek çıkarabilen ve bu değişimleri en küçük kareler yöntemini kullanıp çok sayıda frekans ile fit yaparak modelleyebilen bir programdır. Aynı zamanda program genlik ve/veya faz değişimlerini de modelleyebilmektedir. Programdaki Fourier analizi ayrıık Fourier dönüşümünü (Discrete Fourier Transform – DFT) temel almaktadır. Astronomi amaçlı zaman serisi verileri genellikle eşit zaman aralıklarında olmadığından dolayı hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform – FFT) kullanılmamaktadır (Lenz ve Breger 2005).

3.2.1 Fotometrik verilerin indirgenmesi

AKR ve TUG'da elde edilen fotometrik verilerin aletsel etkilerden (bias, kara akım, düz alan vb.) arındırılması IRAF programında bulunan *ccdred* paketi içerisindeki CCDPROC altprogramı ile gerçekleştirilmiştir. TUG T100 teleskobu ile yapılan fotometrik gözlemin n indirgeme aşamasında düz alan düzeltmesi (flat fielding) uygulanırken aşağıda belirtilen sebeplerden ötürü farklı bir prosedür uygulanmıştır.

TUG T100 ile gerçekleştirilen gözlemlerde hem “kubbe içi flat” hem de “gökyüzü flat” görüntüleri alınmıştır. “Kubbe içi flat” görüntülerinde teleskop/detektör gökyüzü gözleminde olduğu gibi aydınlanmaz. Bu şekilde alınan düz alan görüntüleri ile yapılacak düzeltme büyük ölçekli artık aydınlanma yapılarına sebep olmaktadır. Bu amaçla her iki tür flat görüntüleri kullanılarak bilimsel verilere düz alan (flat) ve aydınlanma (illumination) düzeltmeleri şu şekilde uygulanmıştır:

nce kubbe içi flat görüntüleri kullanılarak CCDPROC ile bilimsel görüntülere düz alan düzeltmesi yapılmıştır. Ardından *ccdred* paketi içerisinde bulunan MKSKYCOR altprogramı ile gökyüzü gözlemlerinden bir aydınlanma görüntüsü elde edilmiştir. Son

⁸ <http://www.univie.ac.at/tops/Period04/>

olarak da bu görüntü CCDPROC'ta "*illumcor*" seçeneği aktif hale getirilerek tüm bilimsel görüntülere uygulanmış ve düz alan düzeltmesinden sonra aydınlanma düzeltmesi de gerçekleştirilmiştir.

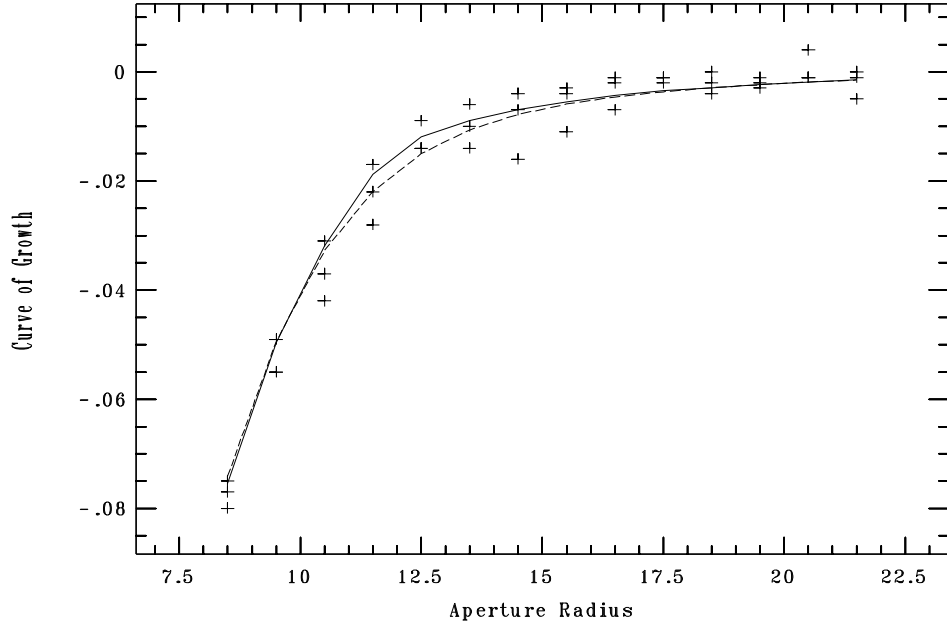
Ön indirgeme işlemleri tamamlanmış verilerin ışık ölçümü *digiphot* paketindeki APPHOT altprogramı ile gerçekleştirilmiştir. Bu altprogram ile verilerde incelenecek yıldızların FWHM (yarı yükseklikteki tam genişlik – full width at half maximum) değerlerine uygun olacak şekilde belirlenen açıklıklar için ışık ölçümü yapılabilmektedir. Işık ölçüm sonuçları aşağıda belirtilen iki yöntemle elde edilmiştir.

- i. Sabit açıklık kullanılarak APPHOT ile yapılan ışık ölçüm.
- ii. Değişken açıklık kullanılarak yapılan ışık ölçüm.

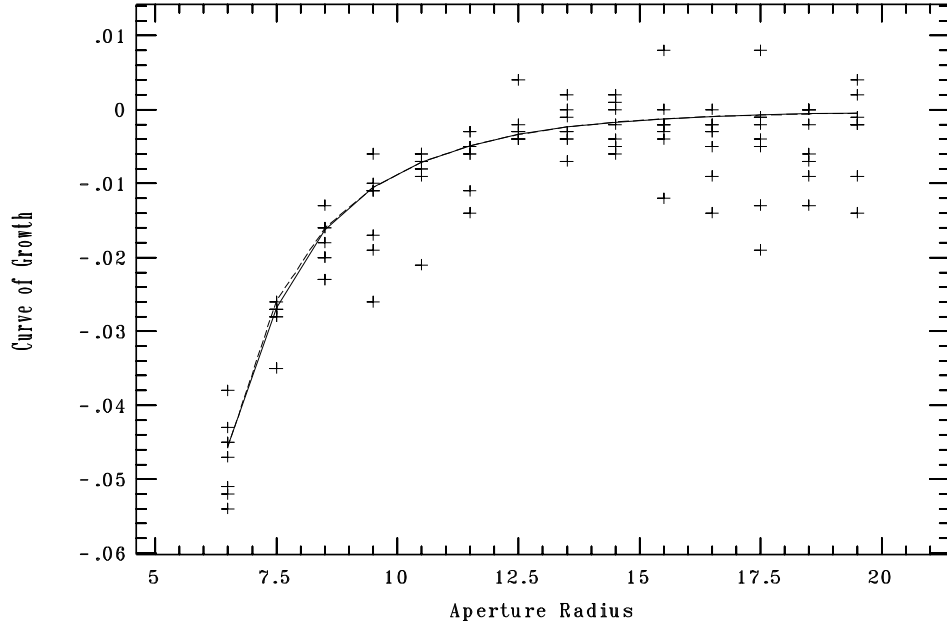
İkinci yöntem ile yapılan ışık ölçümünde *photcal* paketindeki MKAPFILE altprogramı kullanılır. Önce APPHOT kullanılarak açıklık için küçük yarıçaplardan başlayıp artan değerlerde yarıçaplar ile (örneğin; 5, 6, 7, ..., 20) ışık ölçüm yapılır. MKAPFILE bu şekilde elde edilen sonuçları kullanarak her bir görüntü için bir büyüme eğrisi hesabı yapar ve bu eğriyi kullanarak açıklık düzeltmesi gerçekleştirir. Böylece her bir yıldız için en ideal açıklık kullanılmış olur.

Çalışmamızda her iki yöntem ile ışık eğrileri elde edilmiş ve açıklık düzeltmesi yapıldığında daha iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Özellikle de ışık eğrilerindeki zonklama yapıları açıklık düzeltmesi yapıldığında daha net görülebilmektedir. Şekil 3.3'te EW Boo ve IU Per için elde edilen büyüme eğrilerine örnekler verilmektedir.

NOAO/IRAF V2.14.1 mburak@mburak-VPCEG27FM Mon 22:20:02 21-Apr-2014
 Image: szdf_EWBoo-027B.fit Ro: 3.982 X: 1.006 Rms: 0.00253
 Dashed line: theoretical cog Solid line: adopted cog



NOAO/IRAF V2.14.1 mburak@mburak-VPCEG27FM Mon 22:14:50 21-Apr-2014
 Image: szdf_IUPer-002R.fit Ro: 2.236 X: 2.106 Rms: 0.0017
 Dashed line: theoretical cog Solid line: adopted cog



Şekil 3.3 EW Boo (üstte) ve IU Per (altta) için elde edilen büyüme eğrilerine örnekler

İndirgmeden sonra mukayese ve denet yıldızları kullanılarak bantlara göre gecelik gözlem hataları hesaplanmıştır. Bunun için denet yıldızlarının mukayese yıldızlarına göre değişimi ($m_{\text{denet}} - m_{\text{mukayese}}$) elde edilmiş ve bantlara göre her bir gözlem gecesi için bu değerlerin standart sapması hesaplanmıştır. Çizelge 3.6’da görüldüğü gibi EW Boo için kullanılan denet yıldızı oldukça sönüktür ve parlaklığı mukayese yıldızına çok yakın değildir. Bu sebeple EW Boo gözlemleri için hesaplanan standart sapma değerleri zonklama genliği değerine göre yüksek çıkmıştır. Yapılan gözlemler için bantlara göre hesaplanan gecelik hata miktarları Çizelge 3.4’te verilmektedir.

Çizelge 3.4 Mukayese ve denet yıldızları kullanılarak bantlara göre hesaplanan gecelik hata miktarları

Sistem	Tarih	U	B	V	R	I
EW Boo	10.06.2012	-	-	0.038	0.067	0.050
	01.07.2012	-	0.092	0.032	0.028	0.028
	15.07.2012	-	0.048	0.018	0.013	0.020
	24.07.2012	-	0.078	0.032	0.024	0.028
	29.08.2012	-	0.063	0.027	0.023	0.026
	03.09.2012	-	0.056	0.025	0.024	0.029
	06.03.2013	-	0.055	0.033	0.036	0.036
	31.03.2013	-	0.060	0.046	0.053	0.055
	04.05.2013	-	0.065	0.042	0.030	0.031
	24.05.2013	-	0.066	0.029	0.022	0.032
	30.05.2013	-	0.068	0.051	0.053	0.038
	10.06.2013	-	0.051	0.031	0.029	0.029
	20.06.2013	-	0.062	0.042	0.031	0.035
	05.07.2013	-	0.065	0.031	0.027	0.028
	03.09.2013	-	0.054	0.029	0.023	0.034
	10.09.2013	-	0.045	0.030	0.020	0.025
IU Per	05.11.2012	-	0.023	0.013	0.021	0.011
	14.12.2012	-	0.037	0.016	0.012	0.015
	30.12.2012	-	0.033	0.022	0.016	0.019
	03.09.2013	-	0.023	0.014	0.01	0.015
	10.09.2013	-	0.017	0.013	0.011	0.011
	25.09.2013	-	0.018	0.016	0.01	0.012
	06.10.2013	-	0.019	0.011	0.01	0.010
	09.10.2013	-	0.013	0.010	0.008	0.010
	27.10.2013	0.198	0.085	0.076	0.056	0.046

3.2.2 Işık eğrilerinin elde edilmesi

Bu çalışmada öncelikle EW Boo ve IU Per sistemlerine ait ışık elemanlarının düzeltilmesi için literatürden minimum zamanları toplanmıştır. Kendi gözlemlerimizden AVE⁹ programı kullanılarak hesaplanan minimum zamanları Çizelge 3.5'te verilmiştir. Bu zamanların da literatürden bulunanlara eklenmesi ile oluşturulan O-C eğrisine, minimum zamanlarının hata değerleri dikkate alınarak ağırlıklı doğrusal fit yapılmış ve böylece düzeltilmiş yeni ışık elemanları elde edilmiştir. Şekil 3.4'te EW Boo için ve Şekil 3.5'te IU Per için elde edilen O-C diyagramları bulunmaktadır. IU Per için Zhang vd. (2009) tarafından verilen düzeltilmiş ışık elemanları

$$HJD(MinI) = 2454413.0933(5) + 0^g.85702543(20) \times E$$

kullanıldığından yeniden bir düzeltme yapılmasına gerek duyulmamıştır. EW Boo için GCVS'den alınan ışık elemanları ise;

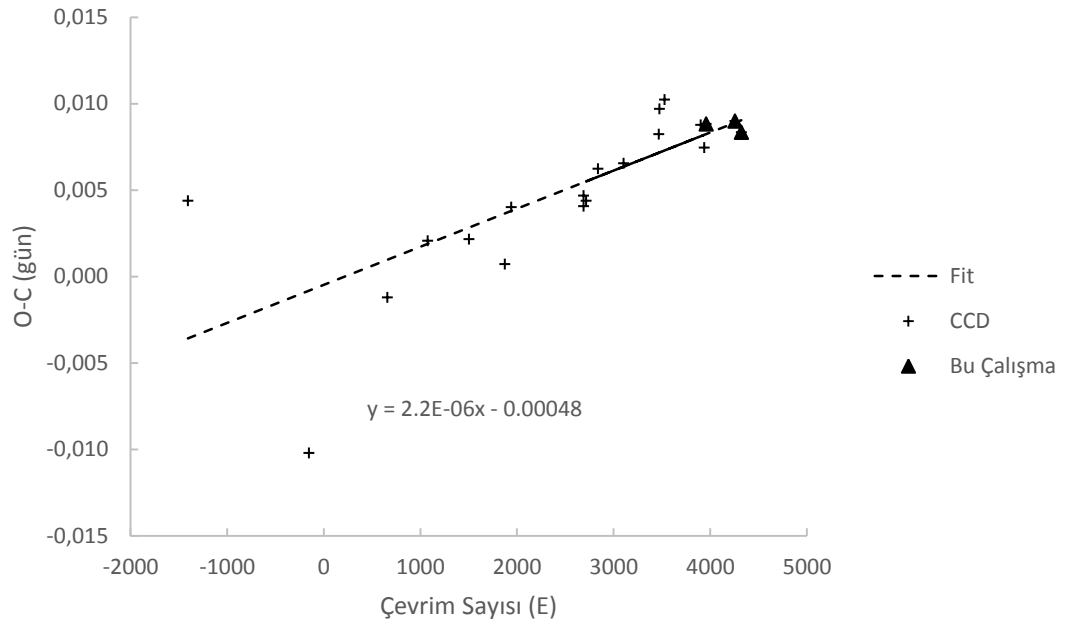
$$HJD(MinI) = 2452500.228519 + 0^g.906351404 \times E$$

şeklinde düzeltilmiştir.

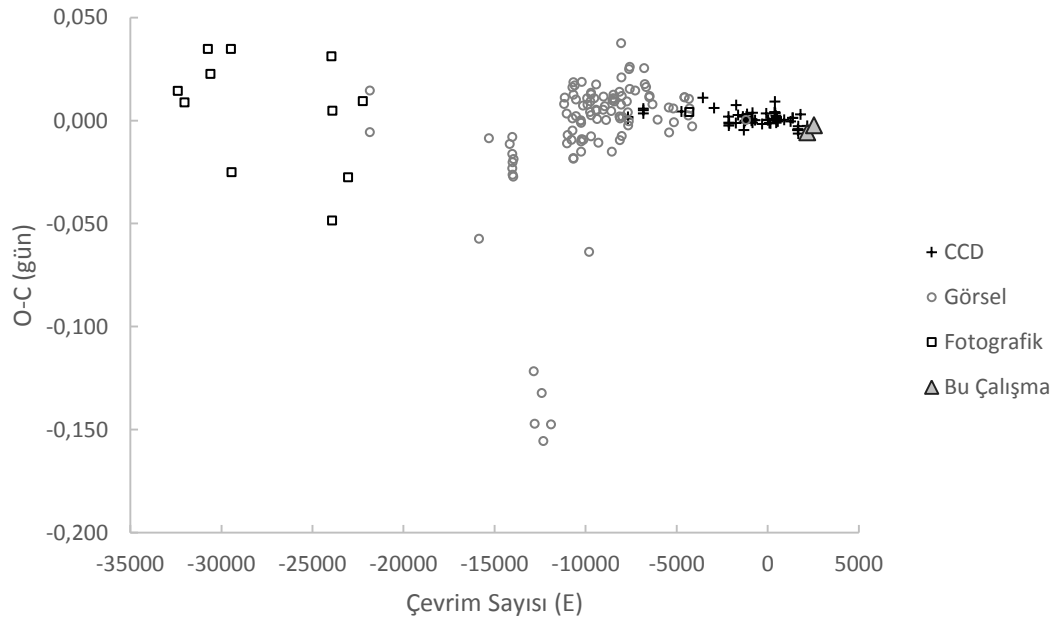
Çizelge 3.5 İncelenen sistemler için AÜKR ve TUG fotometrik gözlemlerinden elde edilen birinci minimum zamanları

Sistem	Tarih	Minimum Zamanı (HJD)	Hata
EW Boo	10.06.2012	2456089.380655	0.000150
	06.03.2013	2456358.566536	0.000269
	04.05.2013	2456417.478581	0.000146
IU Per	14.12.2012	2456276.260866	0.000068
	27.10.2013	2456593.363687	0.000266

⁹ <http://astrogea.org/soft/ave/aveint.htm>



Şekil 3.4 EW Boo'nun GCVS'den alınan ışık elemanları ile oluşturulmuş O-C diyagramı, yapılan doğrusal fit ve denklemi



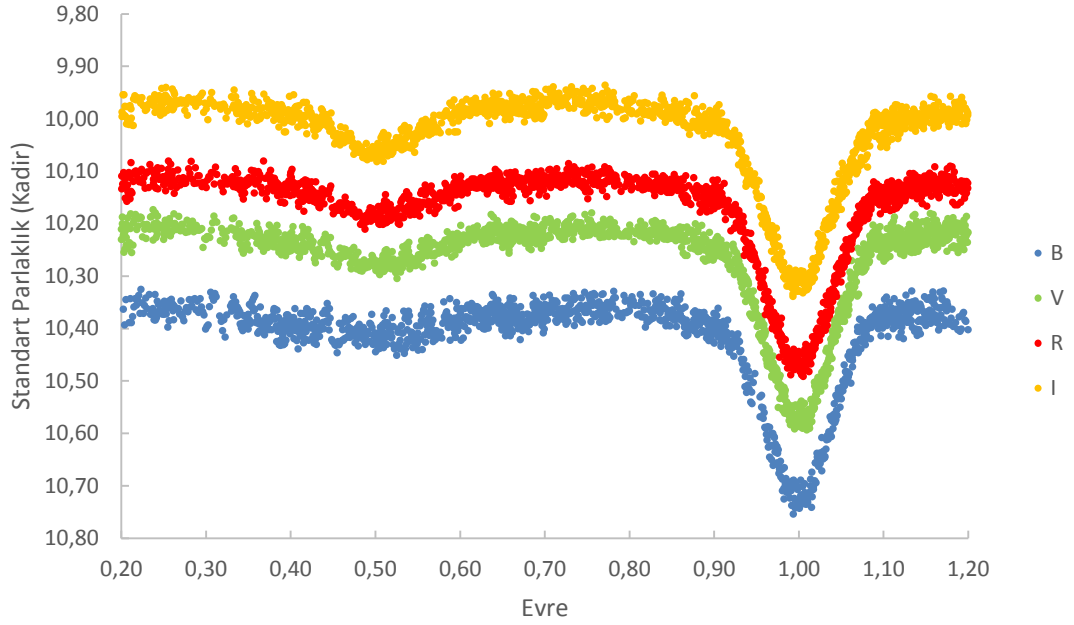
Şekil 3.5 IU Per'in Zhang vd. (2009)'den alınan ışık elemanları ile oluşturulmuş O-C diyagramı

Işık elemanları belirlendikten sonra Çizelge 3.6'da verilen mukayese ve denet yıldızları kullanılarak diferensiyel parlaklık ($\Delta m = m_{\text{değişen}} - m_{\text{mukayese}}$) ile ışık eğrileri elde

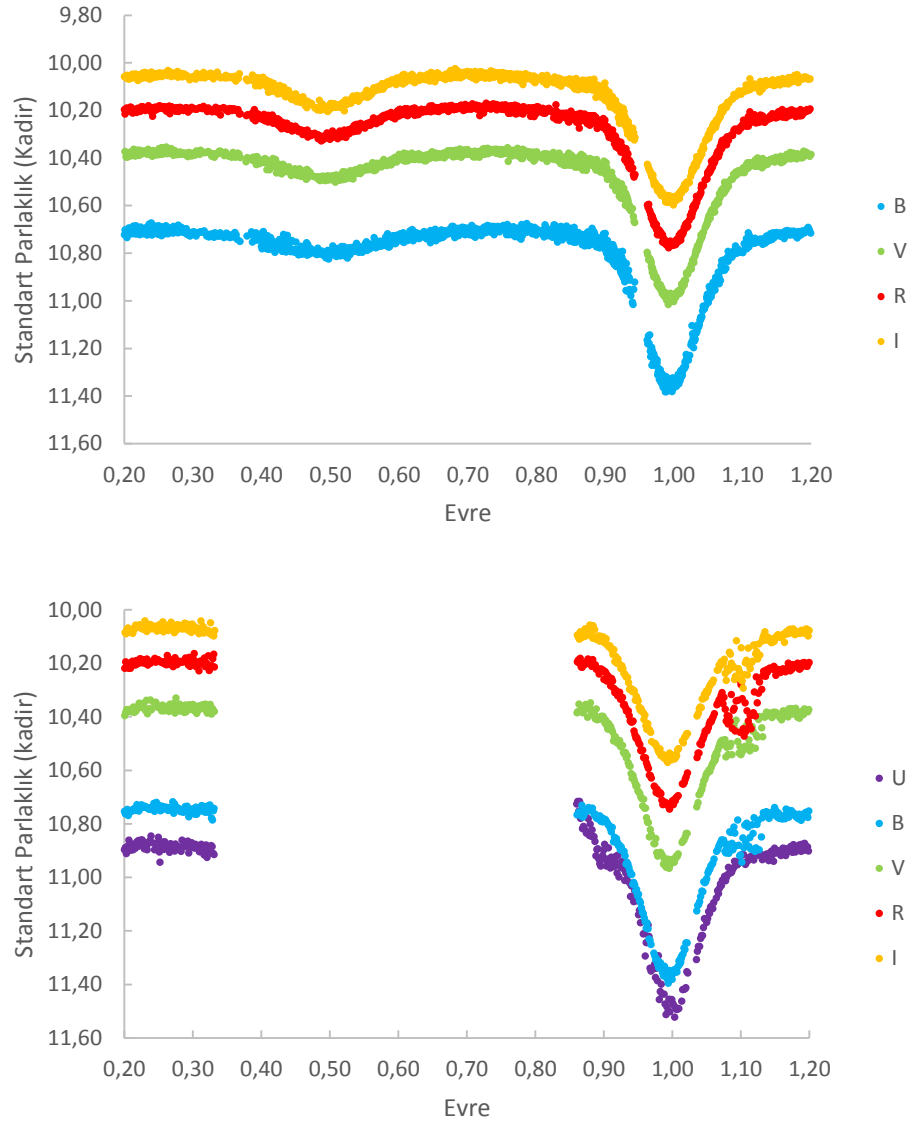
edilmiştir. Daha sonra standart sisteme dönüşüm işlemlerine geçilmiştir. Bunun için önce mukayese ve denet yıldızlarının aletsel parlaklık değerleri hava kütesine göre grafiğe aktarılmıştır. Aletsel parlaklıktaki hata değerleri dikkate alınıp ağırlıklandırılmış doğru fity uygulanarak yeteri kadar büyük hava kütesi aralığında gözlem yapılmış olan her bir gözlem gecesi için bantlara göre sönümleme katsayıları ve atmosfer dışı parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Bu şekilde belirlenen atmosfer dışı parlaklık değerleri, Ağustos-Eylül 2012 döneminde AÜKR’de “Landolt fotometrik standart yıldızları” gözlenmesi ile elde edilen dönüşüm katsayıları kullanılarak standart sisteme dönüştürülmüştür. Mukayese ve denet yıldızlarının her bir gözlem gecesi için elde edilen standart parlaklıklarının ortalaması alınarak kataloglarda verilen değerlerle karşılaştırılmış ve EW Boo sisteminin mukayese ve denet yıldızları için oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. IU Per sisteminin mukayese ve denet yıldızları için ise Landolt yıldızlarının gözlemlerinden hesaplanan dönüşüm katsayıları kullanıldığında kataloglar ile uyumlu sonuçlar elde edilememiştir. Bunun üzerine mukayese ve denet yıldızlarının standart sistemdeki UBVRİ parlaklıkları Pickles ve Depagne (2010) tarafından oluşturulmuş katalogdan alınmıştır. Son olarak mukayese yıldızı için elde edilen standart parlaklık değerleri diferansiyel parlaklık değerlerine eklenerek incelenen sistemlerin standart sistemdeki ışık eğrileri elde edilmiştir (Şekil 3.6 – Şekil 3.7). Analiz için PHOEBE programında kullanılacak olan normalize ışık eğrileri ise standart sisteme dönüşümden sonra ışık eğrilerinin birinci minimum çıkışındaki (0.1 evresindeki) akı değerine normalize edilmesiyle oluşturulmuştur.

Çizelge 3.6 Mukayese ve denet yıldızları (SIMBAD – FK5 veritabanından alınmıştır)

	EW Boo		IU Per	
	Mukayese	Denet	Mukayese	Denet
Yıldız	GSC 3044-0125	GSC 3044-0263	TYC 2858-2003-1	GSC 2858-2541
α (J2000)	15 ^{sa} 02 ^{dk} 48 ^{sn}	15 ^{sa} 02 ^{dk} 58 ^{sn}	02 ^{sa} 59 ^{dk} 32 ^{sn}	02 ^{sa} 59 ^{dk} 45 ^{sn}
δ (J2000)	37°58'36"	37°59'56"	43°55'51"	43°56'30"
Parlaklık	13.006 (B)	14.626 (B)	12.22 (B)	13.273 (B)
(kadir)	12.447 (V)	14.011 (V)	11.88 (V)	12.471 (V)



Şekil 3.6 EW Boo'nun ışık eğrisi



Şekil 3.7 IU Per'in AÜKR (üst panel) ve TUG (alt panel) gözlemlerinden elde edilen ışık eğrileri

3.2.3 Tayfsal verilerin indirgenmesi

Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi 19 Mart 2013 tarihinde TUG'da yapılan tayfsal gözlemde olumsuz hava koşullarından dolayı EW Boo sisteminin yalnızca üç adet tayfı alınabilmekmiştir. 20 Mart 2013'te ise yine olumsuz hava koşullarından dolayı sık sık ara verilen gözlem nihayetinde erken sonlandırılmıştır. 24 Mart 2013 gözlemi ise hem hava koşulları açısından hem de teknik açıdan oldukça sorunsuz bir şekilde

gerçekleştirilmiştir. 19 ve 20 Mart 2013 tarihlerindeki aksaklıklar sebebiyle projemize telafi amacıyla TUG tarafından iki gün daha tahsis edilmiş ve bu kapsamda 7 – 8 Temmuz 2013 tarihlerinde gözlemler gerçekleştirilmiştir. Telafi gözlemlerinde hava koşulları açısından bir sorun yaşanmamış, ancak teleskobun hedefi hassas bir şekilde takip etmesini sağlayan autoguider mekanizmasında yaşanan ciddi sorunlar sebebiyle dört adet gözlem verisi oldukça düşük kalitede elde edilebilmiştir.

İndirgeme işlemlerine başlamadan önce IMHEAD altprogramı kullanılarak alınan görüntülerin başlıkları incelenmiş, eksik ya da hatalı olan başlıklar belirlenmiştir. HEDIT altprogramı ile tüm görüntülere GAIN (kazanç), RDNOISE (okuma gürültüsü), epok (EPOCH) ve dalgaboyu eksenini (DISPAXIS) başlıkları eklenmiştir. Ayrıca yıldız zamanı (ST) yeniden hesaplanarak başlıklara eklenmiştir.

Tayf gözlemlerinden elde edilen 2080x2048 piksel boyutundaki görüntülere bir örnek Şekil 3.8’de verilmiştir. Görüntü üzerinde bulunan parlak şeritler (açıklıklar) tayfsal bilgilerin bulunduğu bölgeleri göstermektedir. Beyaz noktalar ise yoğunlukla kozmik ışın etkisinden kaynaklanan parlamaları göstermektedir. Görüldüğü gibi görüntüde veri bulunmayan bazı kısımlar vardır. Bu kısımlar bir düz alan görüntüsünün IMPLOT altprogramı kullanılarak grafiksel olarak incelenmesi ile belirlenmiş, ardından CCDPROC ile kırpma (trim) işlemi uygulanarak görüntülerden sadece kullanılacak kısmın alınması sağlanmıştır. Bu işlemden sonra veriler üzerindeki aletsel etkilerin giderildiği ön indirgeme adımlarına geçilmiştir. Bu aşamada düz alan (flat) düzeltmesi fotometrik verilerde olduğundan farklı bir şekilde yapılmıştır.

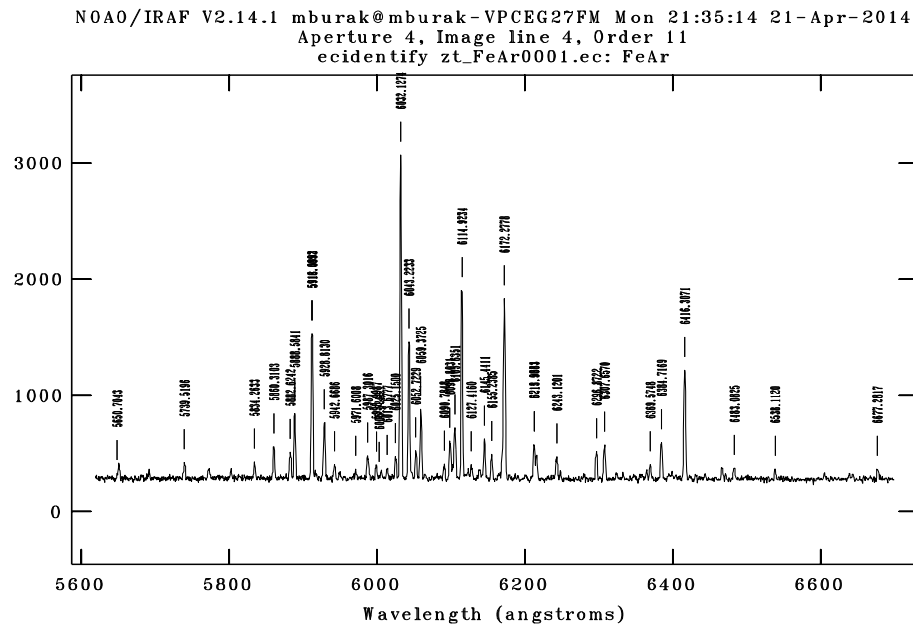


Şekil 3.8 EW Boo sistemine ait 1200 saniye poz süresi verilmiş bir ham tayf görüntüsü

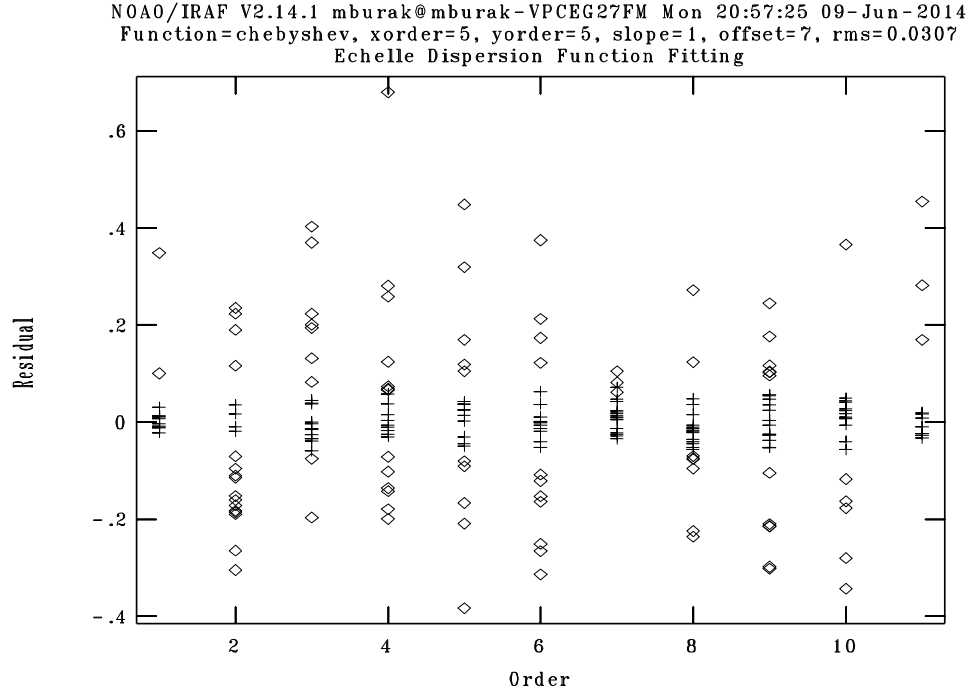
Tayfsal düz alan görüntülerinde geçirgenlik dalgaboyuna bağlı değişim gösterir. Bunu ortadan kaldırmak için dalgaboyu eksenini boyunca her bir açıklık içinde kalan bölgede flat tayfına düzgün bir fit yapılır. Bulunan bu fit kullanılarak dalgaboyu eksenini boyunca bilimsel görüntüler üzerinde flat düzeltmesi gerçekleştirilir. Bunun için açıklıklar dışında kalan bölgelerde pikseller birim değere sahip olmalıdır, yani flat görüntüsü normalize edilmelidir. Bu işlem için *echelle* paketindeki APFLATTEN altprogramı kullanılır ancak öncelikle görüntülerdeki açıklıkların konumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Halojen lamba kullanılarak alınan Flat görüntülerinde CCD'nin her bölgesi eşit şekilde aydınlatılamaz. Dolayısıyla açıklıkların belirlenmesinde sorun yaşanır. Bu sorundan kaçınmak için açıklıkların belirlenmesinde parlak bir yıldızın tayfının kullanılması uygun olur (Gürol vd. 2008). Bu sebeple açıklıkların belirlenmesinde *echelle* paketindeki APALL altprogramı ile yeterince parlak olan hız standartları kullanılmıştır. Bu şekilde belirlenen 11 adet açıklık APFLATTEN altprogramında referans olarak gösterilmiş, bir sonraki aşamada her bir açıklık için flat tayfına fit yapılmış ve bu fit kullanılarak normalize bir flat görüntüsü elde edilmiştir. Son olarak normalize flat görüntüsü CCDPROC ile diğer tüm bilimsel görüntülere uygulanmıştır.

Ön indirgmeden sonra yine *echelle* paketindeki APALL altprogramı kullanılarak, daha önce belirlenen açıklıklardan tayflar çıkarılmıştır. Yine daha önce hız standartlarından belirlenen açıklıklar referans alınarak, dalgaboyu kalibrasyonu için alınan Fe-Ar (demir-argon) lamba görüntülerinden APALL kullanılarak aynı açıklıklara karşılık gelen tayflar çıkarılmıştır.

Lamba tayflarına çizgi tanısı ve dispersiyon fonksiyonu fiti yapmak için *echelle* paketindeki ECIDENTIFY altprogramı ile birlikte TUG web sitesinde verilen TFOSC çizgi kalibrasyon atlası kullanılmıştır. Şekil 3.9’da çizgi tanısına bir örnek, Şekil 3.10’da ise yapılan dispersiyon fonksiyonu fiti görülmektedir. Bir lamba tayfı için çizgi tanısı ve fit yapıldıktan sonra bu lamba tayfı ECREIDENTIFY altprogramında referans olarak girilmiş ve böylece aynı işlemler diğer tüm lamba tayflarına tek seferde uygulanmıştır. Dalgaboyu kalibrasyonunun tamamlanmasından sonra REFSPECTRA altprogramı kullanılarak bilimsel görüntülere referans lamba tayfları atanmıştır. Bu işlem ile bilimsel görüntülerin başlıklarına hangi lamba tayfindan elde edilen dispersiyon çözümünün kullanılacağını belirten REFSPEC1, REFSPEC2 şeklinde başlıklar eklenmiş olur. Bilimsel görüntülere dalgaboyu kalibrasyonu görüntülerdeki REFSPEC başlıklarını dikkate alan DISPCOR altprogramı ile uygulanmıştır.



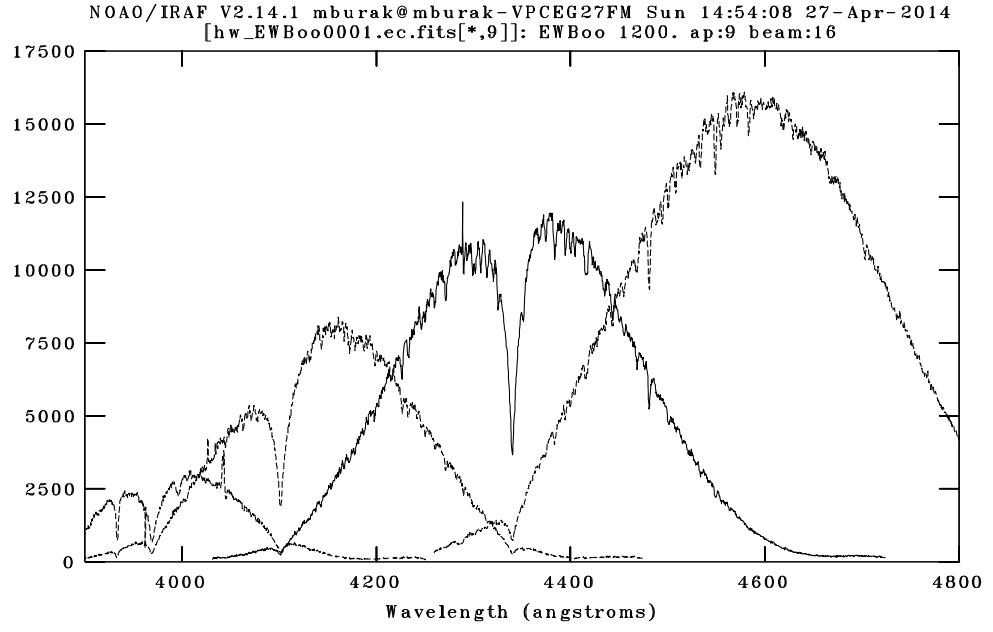
Şekil 3.9 Çizgi tanısına bir örnek (açıklık 4)



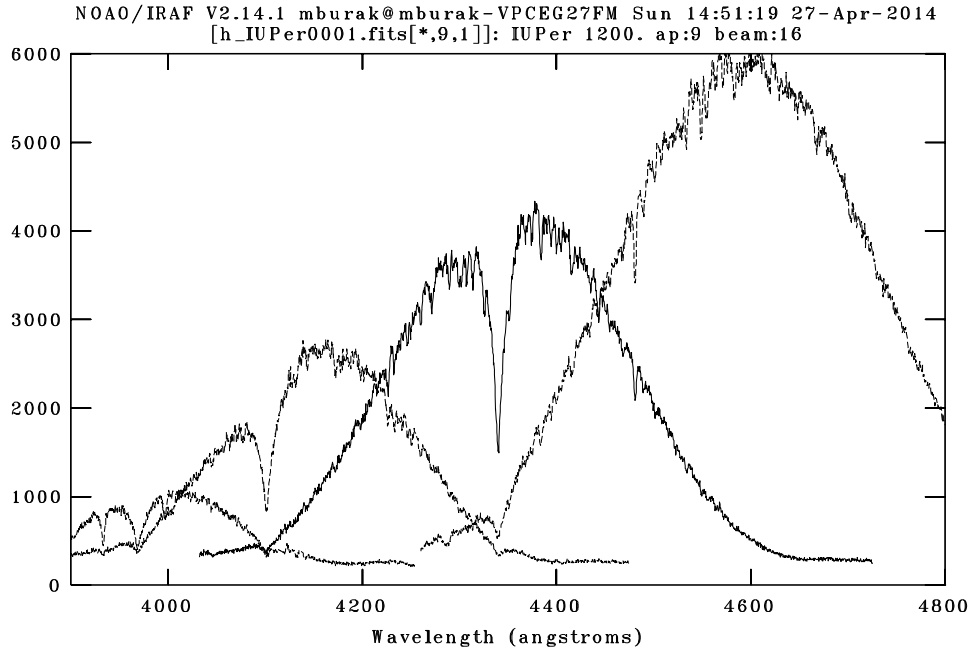
Şekil 3.10 Yapılan dispersiyon fonksiyonu fiti
+ sembolü fit işleminde kullanılan verileri göstermektedir.

Son olarak, Yer'in Güneş etrafındaki hareketinden kaynaklanan Doppler kaymasının tayflardan arındırılarak gözlemlerin Güneş merkezine indirgenmesi sağlanmıştır. Bunun için öncelikle *astutil* paketindeki RVCOR altprogramı ile Güneş merkezli dikine hızlar hesaplanmış, ardından *echelle* paketindeki DOPCOR altprogramı ile bu hızlardan kaynaklanan Doppler düzeltmesi gerçekleştirilmiştir.

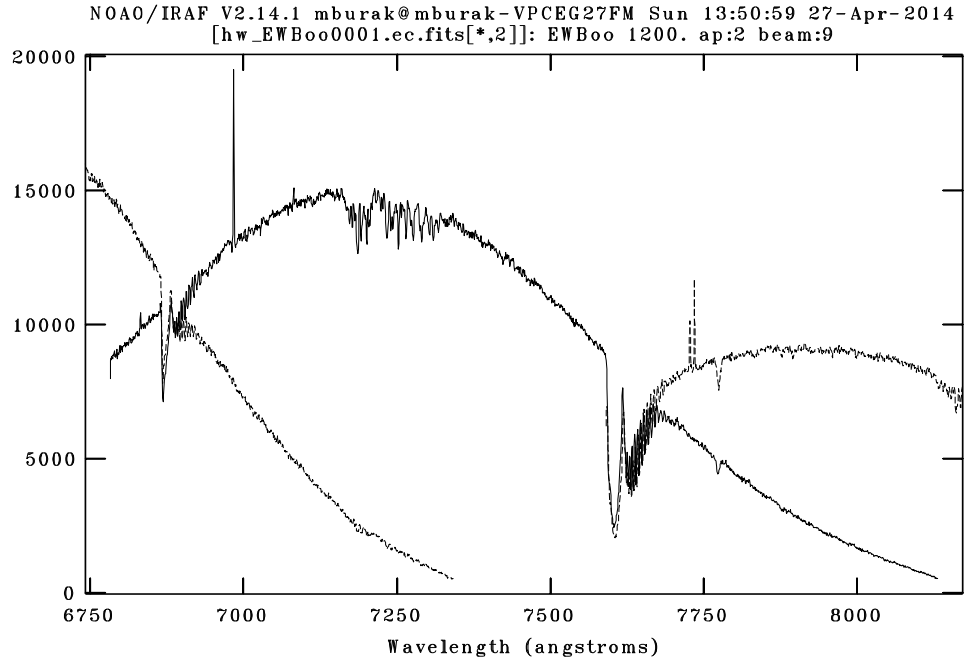
İndirgeme işlemleri tamamlandıktan ve Doppler düzeltmesi yapıldıktan sonra elde edilen tayflardan bazıları kısa dalgalı boylarındaki dört ardışık açıklık SPLOT altprogramı ile üst üste çizdirilmiş olarak Şekil 3.11 – Şekil 3.12’de verilmiştir. Burada Balmer serisinin H γ (4341 Å) ve H δ (4102 Å) çizgileri görülmektedir. Şekil 3.13’te ise atmosferik çizgilerin yoğun olduğu uzun dalgalı boyu bölgesinden ışınım tayfına bir örnek verilmiştir. Farklı açıklıklar için çıkan bölgeler dalgalı boyu kalibrasyonunun ne ölçüde doğru yapıldığının bir göstergesidir.



Şekil 3.11 EW Boo'nun kısa dalgaboylarındaki tayfı (8, 9, 10 ve 11 numaralı açıklıklar)



Şekil 3.12 IU Per'in kısa dalgaboylarındaki tayfı (8, 9, 10 ve 11 numaralı açıklıklar)



Şekil 3.13 EW Boo'nun uzun dalga boyu bölgesindeki tayfı ve atmosferik çizgiler

3.2.4 Dikine hız eğrilerinin elde edilmesi

Bölüm 3.2'nin başında belirtildiği gibi bu çalışmada dikine hız eğrilerinin elde edilmesinde üç farklı yöntem (CCF, BF ve tayfların Fourier dönüşümü ile ayrıştırılması) kullanılmıştır. Algol türü sistemlerde yoldaş bileşen F'den daha geç tayf türlerinde ve baş bileşene göre çok daha sönük olduğundan tayfta çizgilerinin bulunması oldukça zordur. Bu sebeplerden dolayı tayflardan yoldaş bileşenin çizgilerinin görülebileceği 5000Å'den daha uzun dalga boylarının bulunduğu ve aynı zamanda atmosferik çizgilerin bulunmadığı bölgeler incelenmek üzere seçilmiştir. Her üç yöntemde de seçilen bu bölgeler kullanılmıştır.

3.2.4.1 Çapraz korelasyon fonksiyonu (CCF)

CCF yöntemi, iki serinin birbiri ile hangi derecede ilişkili olduğunu bulmak için kullanılan standart bir yöntemdir. Bu yöntemde serilerden biri kaydırılarak diğer seri ile benzerliği ölçülür. Bu yüzden çapraz korelasyon fonksiyonuna *kayan iç çarpım* da

denilmektedir. $f(t)$ ve $g(t)$ bir t reel değişkeninin kompleks fonksiyonları olmak üzere, f ile g 'nin çapraz korelasyonu

$$CCF = f \otimes g \equiv \bar{f}(-t) * g(t) \quad (3.1)$$

ile gösterilir. Burada $\bar{f}$ ile f fonksiyonunun kompleks eşleniği, $*$ ise

$$f * g = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (3.2)$$

ile verilen konvolüsyon işlemini göstermektedir. (3.1) ile (3.2) ifadelerinden CCF için (3.3) ile gösterilen ifade elde edilir.

$$f \otimes g = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(\tau)g(t-\tau)d\tau \quad (3.3)$$

Tayflar için kompleks fonksiyonlar söz konusu olmadığından (3.3) ifadesindeki $\bar{f}$ yerine reel bir fonksiyon olan f alınır.

Tayflardan dikine hız belirlemek için bu yöntemin kullanılması sayesinde tayf çizgilerinin tanımlanması ve laboratuvar dalgaboyu ile karşılaştırma amacıyla merkezlerinin belirlenmesine olan ihtiyaç ortadan kalkar. Yöntemde bunun yerine, gözlenen yıldızdaki tayfsal özelliklerin, ölçülen Doppler kaymasına bağlı olarak, bir karşılaştırma yıldızıninki ile özdeş olduğu varsayılır. Işık hızı c ve dalgaboyu λ ile gösterilmek üzere $x=c\ln\lambda$ şeklinde tanımlanan logaritmik dalgaboyu ölçeğinde, gözlenen $I(x)$ tayfının uygun bir şekilde seçilmiş $J(x)$ şablon tayfi ile çapraz korelasyonu (tayfin seçilen bir dalgaboyu aralığında)

$$F(v) \equiv \int I(x+v)J(x)dx \quad (3.4)$$

şeklindedir. Burada v Doppler kaymasına karşılık gelen hızı göstermektedir. Gözlenen $I(x)$ tayfi iki ya da daha fazla bileşenin üst üste binmesinden oluşmuşsa her bir bileşen anlık dikine hızına göre kaymış bir tepe noktası oluşturacak şekilde F korelasyonuna katkıda bulunur. Bundan dolayı her bir tayfsal veri için ayrı ayrı bileşenlerin çapraz korelasyonlarına iki ya da daha fazla Gauss eğrisi ile fit yapılır (Hadrava 2009).

Bu çalışmada incelenen sistemlerin TUG’da elde edilen tayflarından CCF yöntemi ile dikine hız belirlemek için kullanılan standart yıldızlar Çizelge 3.7’de listelenmiştir.

Çizelge 3.7 TUG’da tayfsal gözlemleri yapılan standart yıldızlar

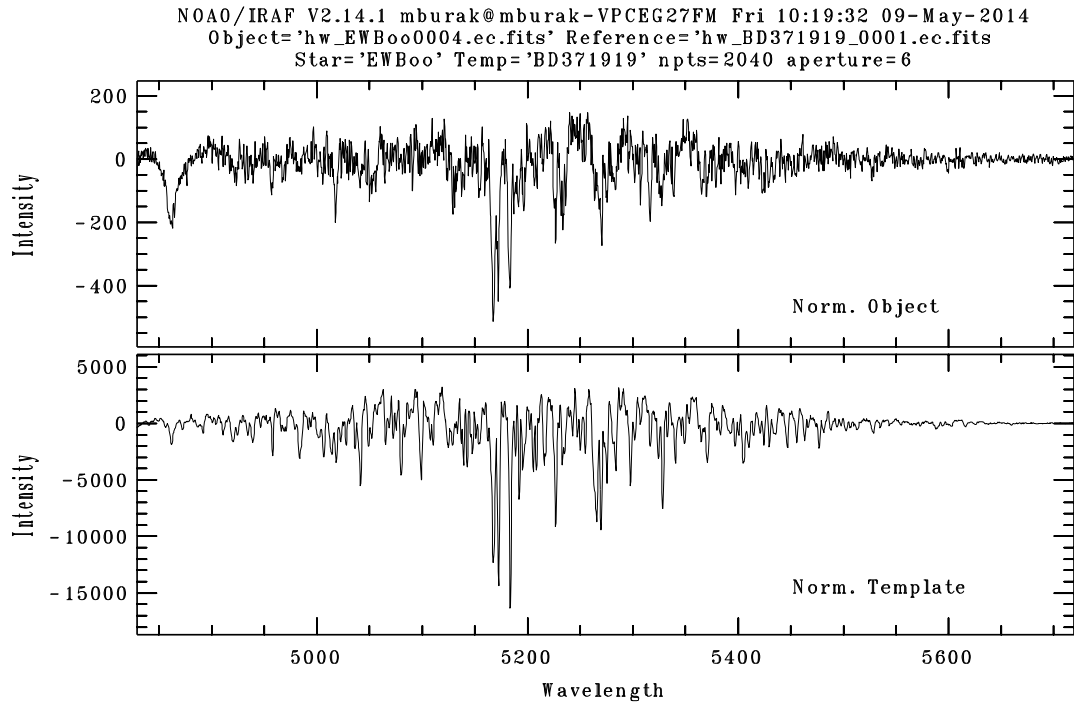
Yıldız	α (J2000)	δ (J2000)	V (kadir)	Tayf Türü	Dikine Hız (km/sn)
BD+58493	06 ^{sa} 36 ^{dk} 15 ^{sn}	58°06`24``	6.61	F5	6.1
BD+291441	07 ^{sa} 03 ^{dk} 30 ^{sn}	29°20`13``	5.93	G4V	24.53
BD+371919	08 ^{sa} 53 ^{dk} 11 ^{sn}	37°04`13``	7.09	G0	11.2
BD+091617	07 ^{sa} 19 ^{dk} 54 ^{sn}	09°13`43``	9.24	K0	10.45
HD158633	17 ^{sa} 25 ^{dk} 00 ^{sn}	67°18`24``	6.43	K0V	-38.71
HD159222	17 ^{sa} 32 ^{dk} 01 ^{sn}	34°16`16``	6.56	G1V	-51.58
HD71148	08 ^{sa} 27 ^{dk} 37 ^{sn}	45°39`11``	6.30	G5V	-32.31
HD168009	18 ^{sa} 15 ^{dk} 32 ^{sn}	45°12`33``	6.31	G2V	-64.56

IRAF’taki FXCOR altprogramı ile çapraz korelasyon fonksiyonu hesaplanırken Çizelge 3.7’de verilen tüm standart yıldızlar tek tek değerlendirilmiş ve yoldaş bileşene dair çizgilerin en net görülebilmesini sağlayan standartlardan elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Bu şekilde gözlem günlerine göre kullanılmasına karar verilen standart yıldızlar Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Gözlem tarihlerine göre FXCOR’da kullanılan standart yıldızlar

Tarih	Standart Yıldız
19 Mart 2013	HD158633
20 Mart 2013	BD +371919
24 Mart 2013	BD +091617
7 Temmuz 2013	HD168009
8 Temmuz 2013	

Echelle formatındaki tayflarda FXCOR ile dikine hız ölçümleri her iki bileşene ait çizgilerin tespit edilebildiği 6 numaralı açıklık kullanılarak yapılmıştır. Bu açıklık 4861.31Å dalgaboyundaki H β çizgisini ve 5167.321Å, 5172.684Å ve 5183.604Å dalgaboylarındaki MgI triplet çizgilerini içerir. Şekil 3.14'te incelenen EW Boo sisteminin ve karşılaştırma tayfı olarak kullanılan BD +371919 standart yıldızının 4830Å – 5720Å arasını içeren 6 numaralı açıklıktaki tayfları verilmiştir. Diğer açıklıklarda yoldaş bileşene ait çizgiler tespit edilememiştir. Yalnızca 5889.951Å ve 5895.924Å dalgaboylarındaki Na D çizgilerinin bulunduğu 4 ve 5 numaralı açıklıklarda yoldaşa ait olabilecek CCF pikleri görülmüş ancak inceleme sonucunda bu piklerin CCF'nin bir dezavantajı olarak ortaya çıkan sahte pikler olduğu anlaşılmıştır. Bu sahte pikler gözlenen cismin tayfındaki çizgilerin şablon tayftaki farklı çizgilerle yer yer çakışabilmesinden kaynaklanmaktadır (Hadrava 2009).

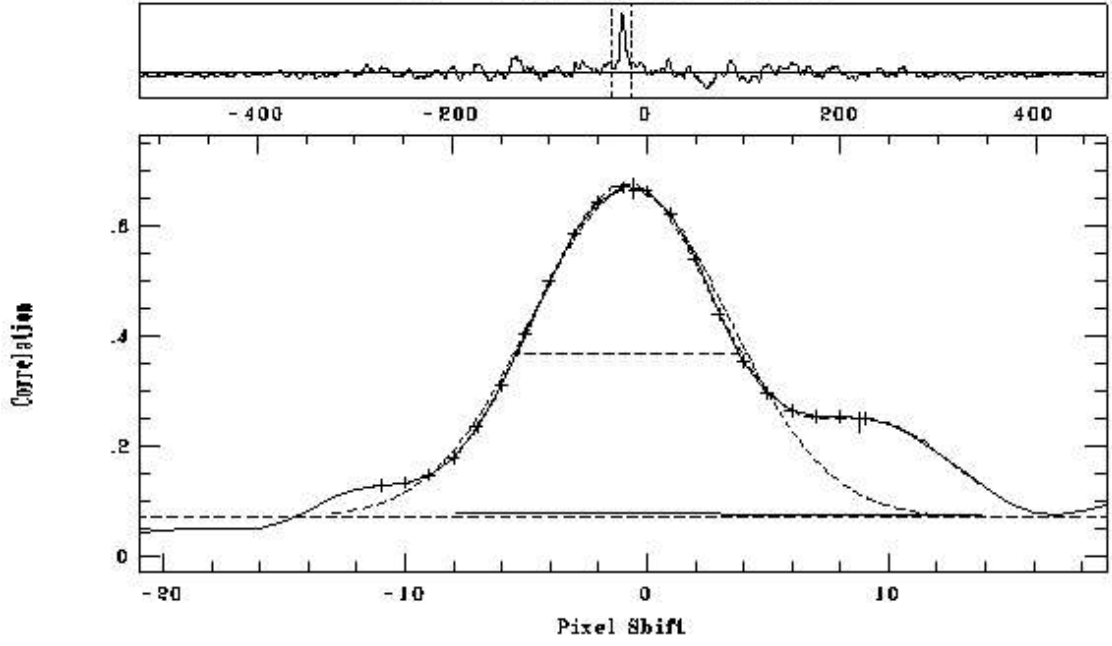


Şekil 3.14 EW Boo sisteminin (üstte) ve BD +371919 standart yıldızının (altta) 6 numaralı açıklıktaki tayfları

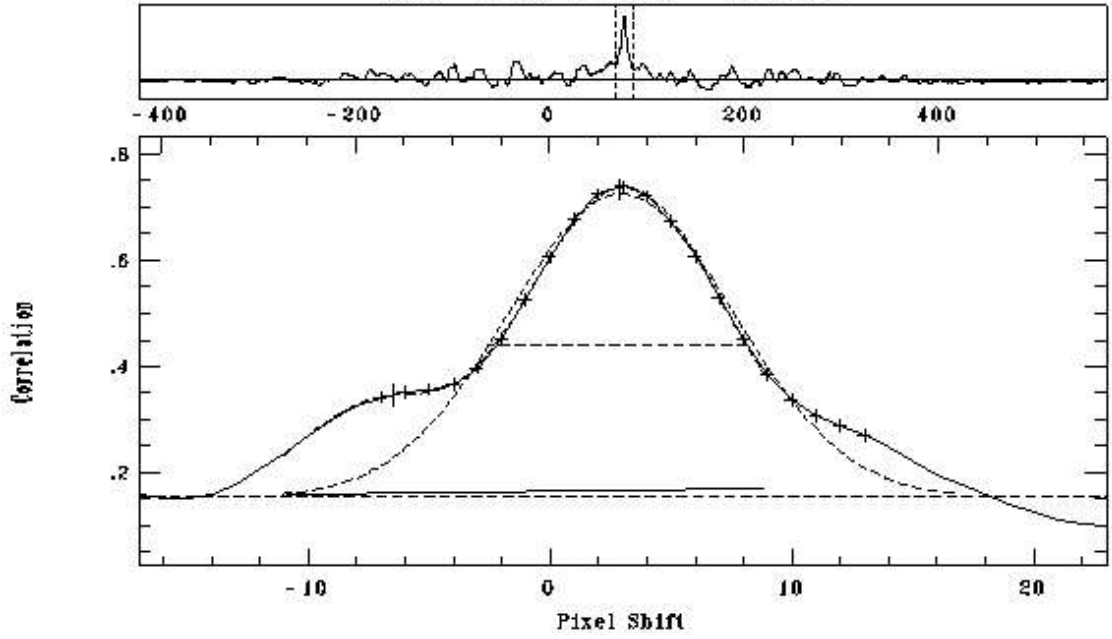
Şekil 3.15'te EW Boo için farklı evrelerdeki tayfların 6 numaralı açıklığından elde edilen CCF pikleri ve yapılan fitler verilmektedir. Buradan yoldaş bileşene ait olan

piklerin sahte olmadığı açıkça görülebilmektedir. CCF piklerine yapılan fitlerde FXCOR'un "deblending" fonksiyonu kullanılmıştır. IU Per sistemi için de benzer şekilde 6 numaralı açıklıkta yoldaş bileşene ait olabilecek bir pik bulunmuş ve deblending fonksiyonu ile fit yapılarak dikine hız değerleri elde edilmiştir (Şekil 3.16). Ayrıca baş bileşen için her bir tayfın 1, 2 ve 9 numaralı haricindeki tüm açıklıkları için CCF piki ölçülerek dikine hız belirlenmiş ve böylece bu dikine hızların ortalaması ve standart sapması hesaplanmıştır. Yoldaş bileşen için ise sadece 6 numaralı açıklıkta ölçüm yapılabildiğinden standart sapma değerleri hesaplanamamıştır. Elde edilen dikine hız eğrileri ise Şekil 3.17 – Şekil 3.18’de gösterilmektedir.

NOAO/IRAF V2.14.1 mburak@mburak-VPCEG27FW Fri 10:20:56 09-May-2014
Object='hw_EWBoo0004.ec.fits' Temp='hw_BD371919.ec.fits' npts=2048 a
Star = 'EWBoo' Template = 'BD371919'

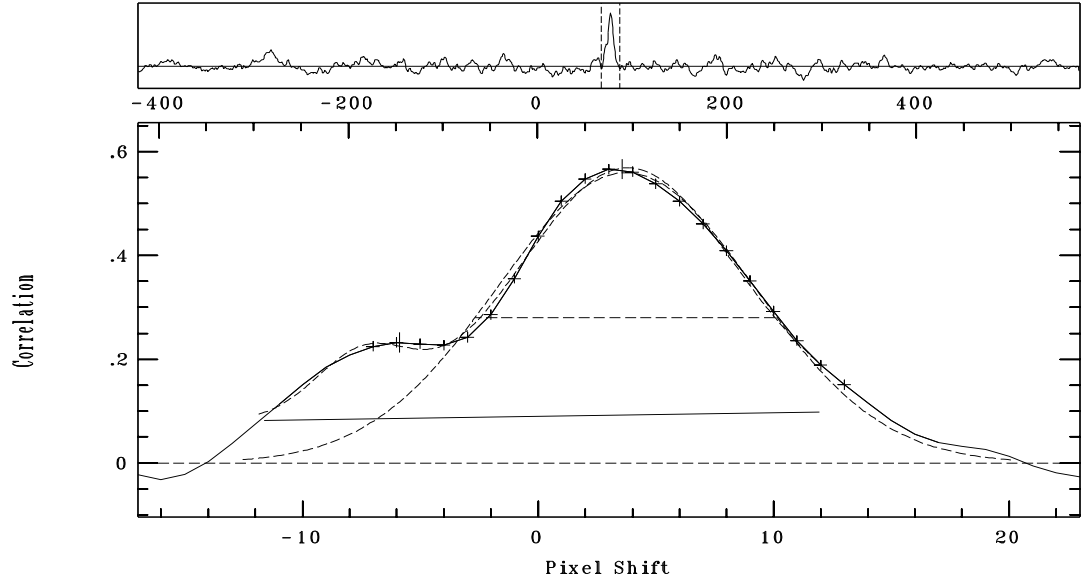


NOAO/IRAF V2.14.1 mburak@mburak-VPCEG27FW Fri 22:19:37 09-May-2014
Object='hw_EWBoo0006.ec.fits' Temp='hw_BD091617.ec.fits' npts=2048 a
Star = 'EWBoo' Template = 'BD091617'

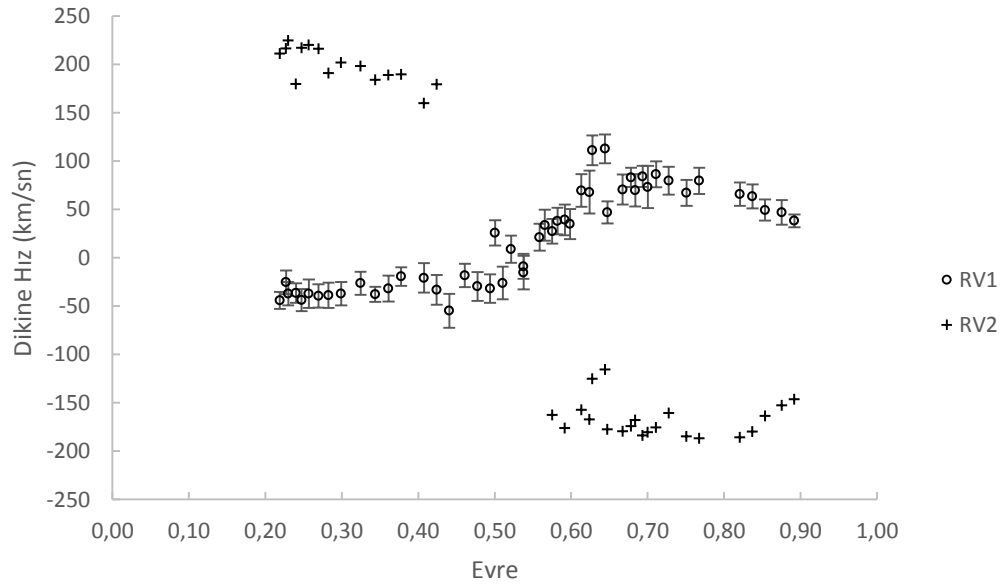


Şekil 3.15 EW Boö için 0.27 (üstte) ve 0.71 (altta) evrelerindeki CCF pikleri ve yapılan fitler

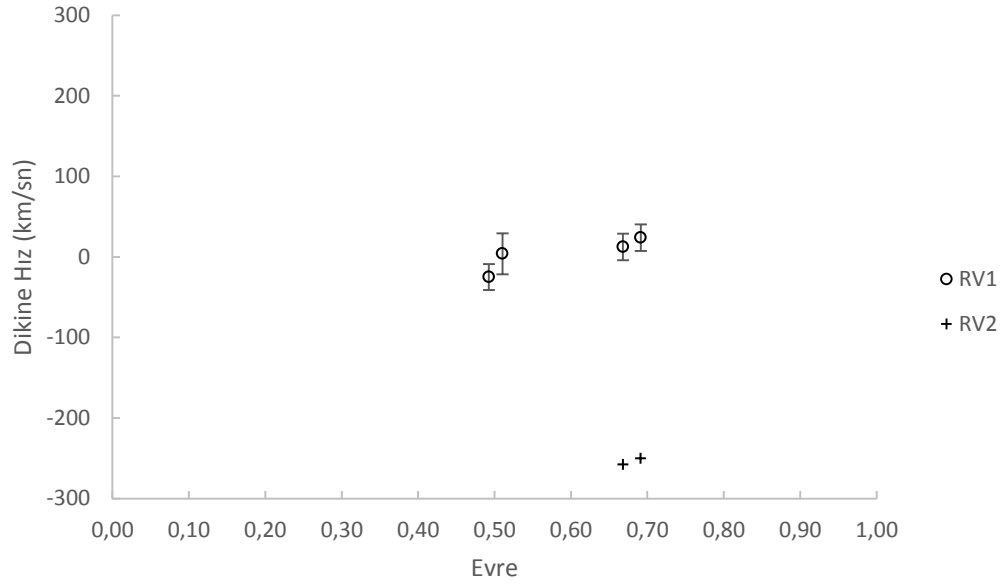
NOAO/IRAF V2.14.1 mburak@mburak-VPCEG27FM Sat 13:39:41 10-May-2014
Object='hw_IUPer0002.ec.fits' Temp='hw_HD168009.ec.fits' npts=2048 ape
Star = 'IUPer' Template = 'HD168009'



Şekil 3.16 IU Per sisteminin 0.69 evresindeki CCF pikleri ve yapılan fit



Şekil 3.17 EW Boo'nun CCF yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrisi



Şekil 3.18 IU Per'in CCF yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrisi

3.2.4.2 Genişleme fonksiyonu (BF)

Bu yöntemde keskin çizgilere sahip bir şablon tayf kullanılarak genişlemiş çizgilere sahip gözlenen cisim tayfindan genişleme fonksiyonu elde edilir ve bu fonksiyon ile dikine hız bilgisine ulaşılır.

Keskin çizgili tayf $S(\lambda)$ ve geniş çizgili tayf $P(\lambda)$ ile gösterilsin. Keskin çizgili tayf bile tamamen genişlemeden yoksun değildir ve çizgilerin ısısal genişlemesi ve/veya mikro türbülans etkilerini barındırır. Bu etkiler $T(\lambda)$ ile gösterilirse keskin çizgili tayf aşağıdaki gibi bir konvolüsyon işlemi ile ifade edilebilir.

$$S(\lambda) = \left(\sum_i a_i \delta(\lambda - \lambda_i) \right) * T(\lambda) \quad (3.5)$$

Geniş çizgili tayf ise $B(\lambda)$ ile genişlemiş olarak ifade edilebilir:

$$P(\lambda) = S(\lambda) * B(\lambda) = \left(\sum_i a_i \delta(\lambda - \lambda_i) \right) * T(\lambda) * B(\lambda) \quad (3.6)$$

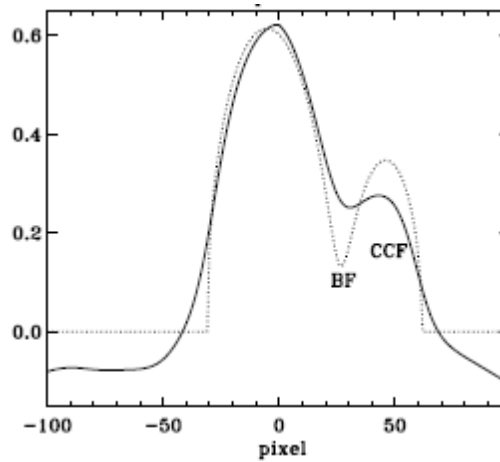
Burada $B(\lambda)$ aranan genişleme fonksiyonudur ve önemli dikine hız bilgileri içerir. Genişleme fonksiyonuna ilk yaklaşım CCF ile yapılır:

$$\begin{aligned}
CCF \mathcal{A} &= S \mathcal{A} \otimes P \mathcal{A} \\
&= S \mathcal{A} \otimes \mathcal{S} \mathcal{A} * B \mathcal{A} \\
&= T \mathcal{A} * T \mathcal{A} * B \mathcal{A} \\
&= \beta \mathcal{A}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

Burada $\beta(\lambda) \neq B(\lambda)$ olduğuna dikkat edilmelidir çünkü $\beta(\lambda)$ her iki tayftan gelen doğal genişleme bileşenlerini (ısısal, mikro türbülans) içerir. CCF ile BF arasındaki karşılaştırma Şekil 3.19’da verilmektedir. Buradan görüldüğü gibi, CCF’de piklerin iç içe geçmesinden dolayı aralarındaki uzaklık azalmakta ve bu da dikine hız ölçümünü etkilemektedir.

Genişleme fonksiyonu Fourier dönüşümü kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilebilir.

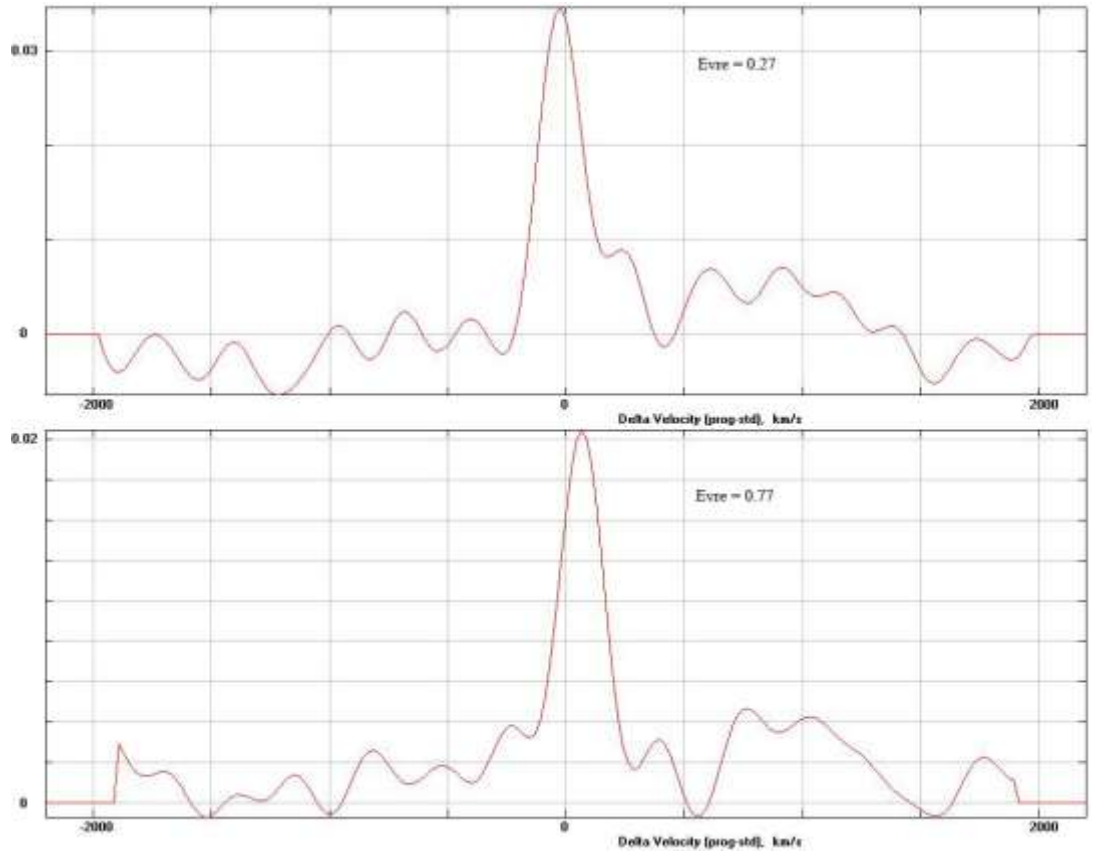
$$F P \mathcal{A} = F S \mathcal{A} \cdot F B \mathcal{A} \Rightarrow B \mathcal{A} = F^{-1} \left\{ \frac{F P \mathcal{A}}{F S \mathcal{A}} \right\} \tag{3.8}$$



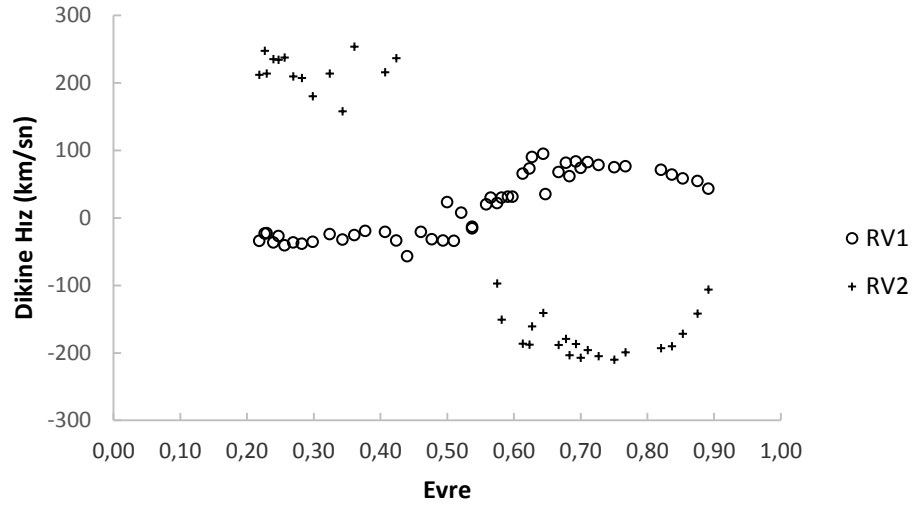
Şekil 3.19 CCF ile BF karşılaştırması

Bob Nelson tarafından geliştirilen “*Broadening Functions – Broad25f.exe*” programı kullanılarak EW Boo için farklı evrelerde elde edilen genişleme fonksiyonları Şekil 3.20’de gösterilmiştir. IU Per için dört adet tayfsal verinin ikisi yoldaş bileşenin örtüldüğü evrelerdedir. Bu evrelerin dışında kalan diğer iki veriden sadece biri için

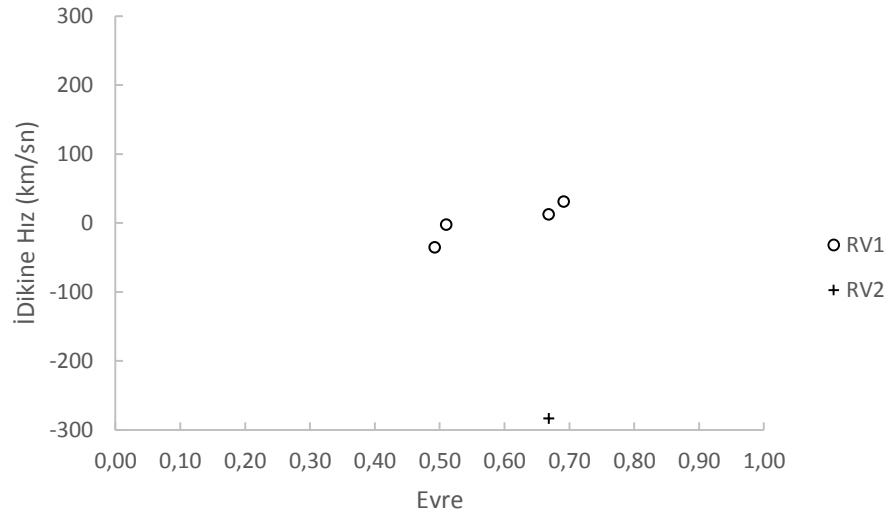
genişleme fonksiyonu ile yapılan incelemede yoldaş bileşene ait olabilecek belirgin bir pik görülmüştür. Dolayısıyla IU Per'in yoldaş bileşeni için bu yöntemle yalnızca bir adet dikine hız verisi elde edilebilmiştir. Yöntemin uygulanmasında FXCOR'da olduğu gibi  izelge 3.8'de verilen standart yıldızlar kullanılmıştır. Program yapılan ölçümlerin hatasını vermemektedir. Bu yöntem ile elde edilen dikine hız eğrileri şekil 3.21 – şekil 3.22'de verilmiştir.



şekil 3.20 EW Boo için farklı evrelerde bulunan genişleme fonksiyonları



Şekil 3.21 EW Boo'nun genişleme fonksiyonu yöntemi ile elde edilmiş dikine hız eğrisi



Şekil 3.22 IU Per'in genişleme fonksiyonu yöntemi ile elde edilmiş dikine hız eğrisi

İncelenen her iki sistem için hem çapraz korelasyon fonksiyonu hem de genişleme fonksiyonu yöntemleriyle elde edilen dikine hız değerleri EK 1'de listelenmiştir.

3.2.4.3 KOREL (Korelation Elements)

KOREL kodu ile birden fazla bileşenin üst üste binmiş tayfından bileşen yıldızların ayrı ayrı katkılarını ayırmak ve böylelikle dikine hız eğrisini elde edip yörünge

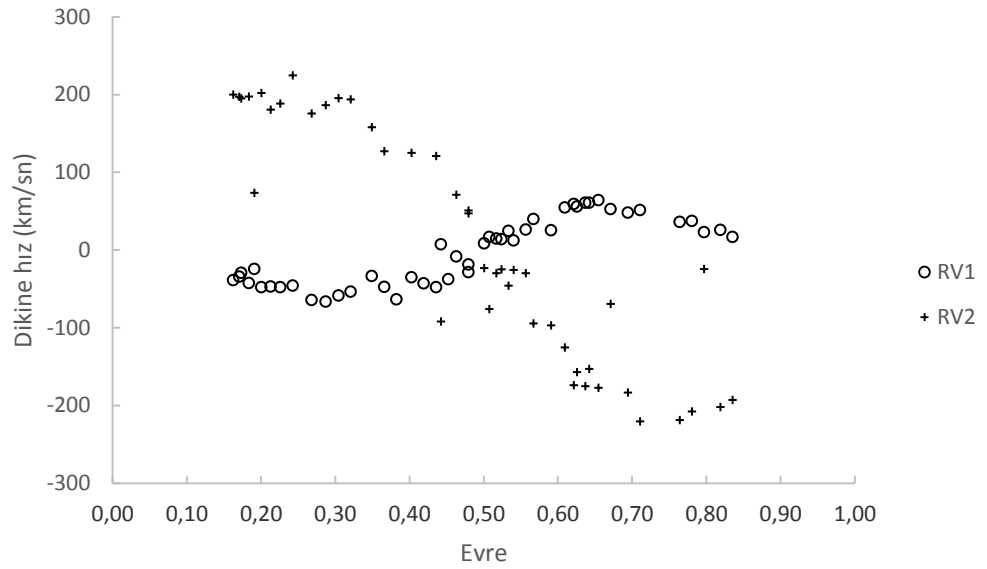
parametrelerinin çözümünü yapmak mümkündür. KOREL gözlenen tayfin Fourier dönüşümlerine en küçük kareler fiti yaparak bileşenlerin tayflarını ayırır. KOREL’de CCF ve BF yöntemlerinde olduğunun aksine şablon olarak kullanılacak herhangi bir standart yıldız gözlemine ihtiyaç duyulmaz. Bunun yerine incelenen örten değişen yıldızın farklı evrelerdeki tüm tayfları karşılıklı kıyaslanır (Hadrava 2009). Dolayısıyla bu yöntemden iyi bir sonuç alınabilmesi için oldukça büyük bir evre aralığında tayf verisi gereklidir. EW Boo sistemi için $\sim 0.2 - 0.9$ evre aralığında tayfsal veri bulunduğundan bu yöntem rahatlıkla uygulanabilmektedir. Ancak IU Per sistemi için sadece dört adet tayfsal veri olduğundan yöntem bu sisteme uygulanamamıştır.

KOREL kodu “virtual observatory” altyapısını kullanan stelweb.asu.cas.cz/vo-korel/ web sitesindeki VO-KOREL uygulaması altında kullanıldı. Programı çalıştırmadan hemen önce tayfsal verilerin KOREL’de kullanıma hazırlanması Windows işletim sisteminde çalışan PREKOR programı ile gerçekleştirildi. Bu hazırlık normalize edilmiş tayfsal verilerin her birinden istenen bölgenin alınması, bu bölgenin eşit aralıklı logaritmik dalgaboyu ölçeğine göre interpolate edilmesi ve KOREL’in gerektirdiği formatta “korel.dat” isimli metin dosyasına yazılmasını içerir. Bu hazırlık aşamasında CCF ve BF yöntemlerinde olduğu gibi tayfların 6 numaralı açıklığı kullanılmıştır. PREKOR ile “korel.dat” dosyası oluşturulduktan sonra bu dosya UNIX formatına dönüştürülerek kullanıma hazır hale getirilmiştir.

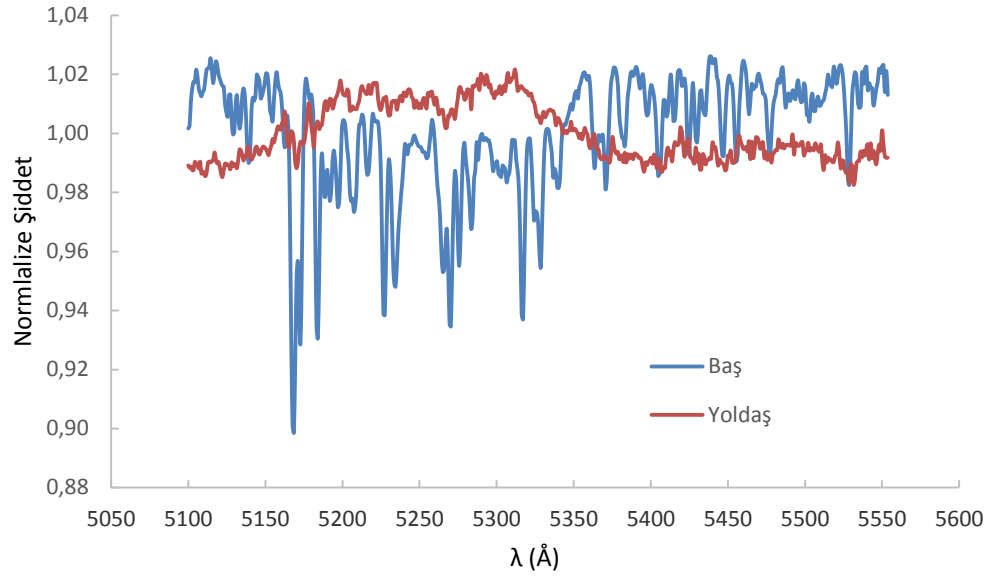
Veriler üzerinde KOREL’in çalışması çift sistemin parametrelerine ilişkin başlangıç değerleri, değişim miktarları ve hangi parametrelerin sabit tutulup hangilerinin serbest bırakılacağı bilgilerini içeren “korel.par” isimli bir metin dosyası ile kontrol edilir. Bu metin dosyasının da KOREL’in gerektirdiği formatta oluşturulmasından sonra “korel.dat” ve “korel.par” dosyaları birlikte VO-KOREL’e yüklenerek program çalıştırılmış ve bileşenlerin ayrıştırılmış tayfları, dikine hız eğrisi ve bu eğriden hesaplanabilecek yörünge parametrelerinin çözümü elde edilmiştir.

EW Boo için ışıık ve dikine hız eğrilerinden elde edilen yörünge parametreleri (dönem – P, başlangıç zamanı – T_0 , yörünge dışmerkezliği – e, enberi boylamı – ω , baş bileşenin dikine hız genliği – K_1 ve kütle oranı – q) KOREL için başlangıç değerleri olarak

kullanılmıştır. En iyi çözüm P , ω , K_1 ve q parametrelerinin serbest bırakılmasıyla elde edilmiştir. KOREL ile elde edilen dikine hız eğrisi Şekil 3.23'te gösterilmiştir. Şekil 3.24'te ise KOREL ile sistemin tayfının bileşenlerine ayrılmış hali gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tayfların süreklilik seviyelerinde bir uyumsuzluk bulunmaktadır ve bu da dikine hız eğrisinin elde edilmesinde bazı hatalar olabileceği kuşkusunu ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple analizlerde KOREL ile elde edilen dikine hız eğrilerinin kullanılmamasına ancak bu yöntemle elde edilen yörünge parametrelerinin analizlerde başlangıç değerleri olarak alınmasına karar verilmiştir. Yörünge parametreleri için bulunan sonuçlar ise Çizelge 3.9'da verilmiştir. Görüldüğü gibi bu parametrelerin içinde kütle merkezinin hızı ($V\gamma$) bulunmamaktadır. Nedeni ise KOREL'in çıktı dosyasında bu parametrenin yer almamasıdır.



Şekil 3.23 EW Boo'nun KOREL ile elde edilen dikine hız eğrisi



Şekil 3.24 EW Boo için baş ve yoldaş bileşenlerin KOREL ile elde edilen ayrılmış tayfları

Çizelge 3.9 EW Boo'nun KOREL ile elde edilen yörünge parametreleri

Parametre	Değer
P (gün)	0.906363372
T ₀ (HJD) (2400000+)	52500.22852*
e	0*
ω (°)	89.998
K ₁ (km/sn)	61.9
K ₂ (km/sn)	212.7
q	0.291

*: Sabit tutulan parametre

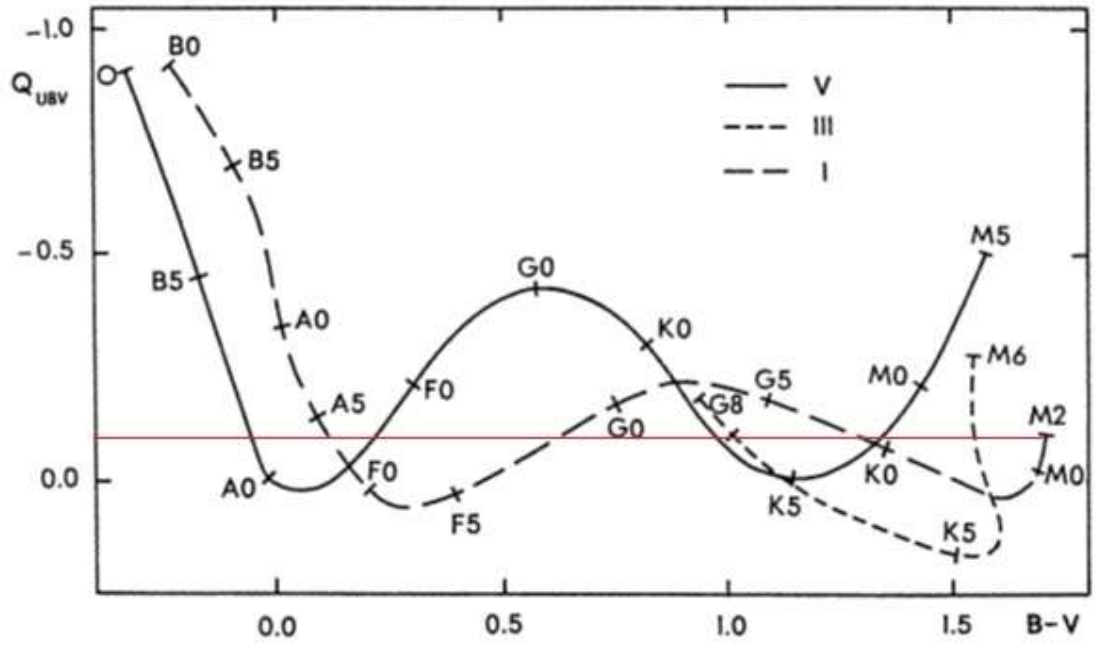
4. BULGULAR

4.1 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin PHOEBE İle Analizi

Işık eğrilerinin analizi sırasında bazı parametreler sabit, bazıları ise serbest bırakılmıştır. Öncelikle sistemlerdeki baş bileşenlerin sıcaklıklarının belirlenerek sabit tutulması amaçlanmıştır.

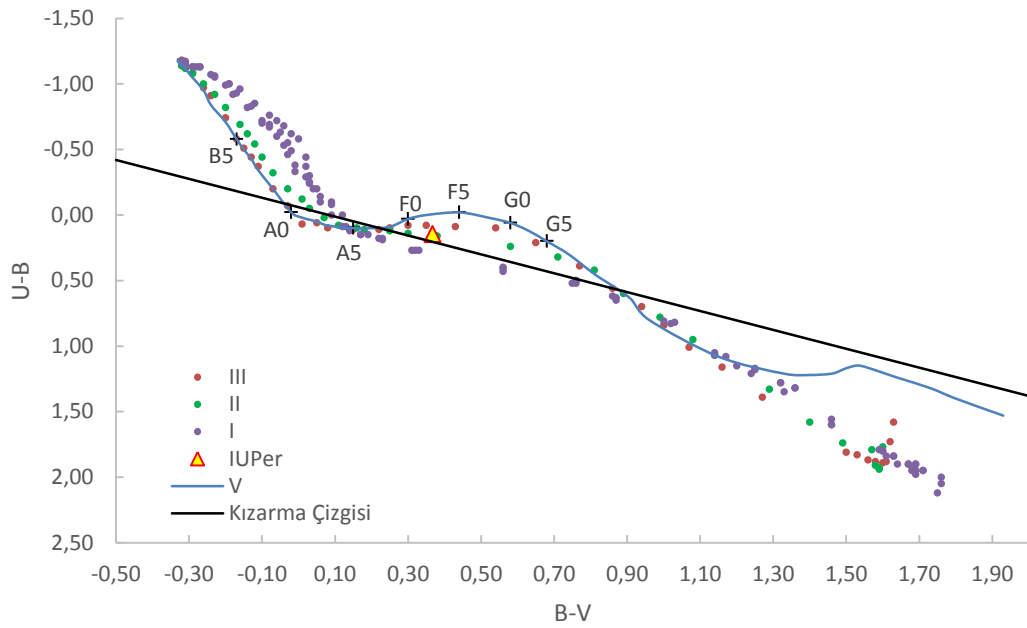
Bölüm 3.2’de belirtildiği gibi IU Per için TUG’da elde edilen UBVRİ bantlarında gözlemler bulunmaktadır. Bu gözlemler kullanılarak Morgan vd. (1953) ve Johnson (1958) tarafından geliştirilen Q-yöntemi ile sistem için öz B-V rengi – $(B-V)_0$ – ve dolayısıyla bir sıcaklık değeri belirlenmesi mümkündür. Bunun için öncelikle standart sisteme dönüştürülmüş UBVR parlaklıklarından, sistemin her iki bileşeninin yan yana olduğu 0.25 evresindeki U-B ve B-V renkleri sırasıyla 0.148 ve 0.367 şeklinde hesaplanmıştır. Elde edilen renkler kullanılarak Johnson-Morgan fotometrik sistemi için $Q=(U-B)-0.72(B-V)$ denklemi ile verilen kızarmadan bağımsız Q parametresi hesaplanmış ve değeri -0.116 olarak bulunmuştur. Bu değer Q parametresinin farklı ışıyım sınıfları için B-V öz rengine göre değişiminin verildiği Şekil 4.1’de işaretlenmiştir. Buna göre dört farklı $(B-V)_0$ elde edilebilmektedir. Ancak IU Per sisteminin A tayf türü olduğu ve anakolda bulunduğu göz önüne alındığında $(B-V)_0 \sim 0.2$ olmaktadır. Bu ise Cox (2000) tarafından verilen kalibrasyon tablolarına göre ~8200 K sıcaklığa karşılık gelmektedir.

IU Per sisteminin Renk-Renk diyagramındaki konumu Şekil 4.2’de gösterilmiştir. IU Per için bu çalışmadan elde edilen değer, diyagramda kızarma çizgisi boyunca sol üste doğru kaydırılıp anakol için verilen değerler ile IU Per’in tayf türü göz önünde bulundurularak karşılaştırıldığında $(B-V)_0 \sim 0.2$ olduğu görülmektedir. Bu ise Johnson Q-yönteminden bulunan sonuç ile oldukça uyumludur.



Şekil 4.1 $(B-V)_0$ rengine göre farklı ışınım sınıfından yıldızlar için elde edilmiş Q parametresinin değişimi (Straizys 1999)

Kırmızı çizgi yaklaşık olarak IU Per için bulunan Q değerini göstermektedir.



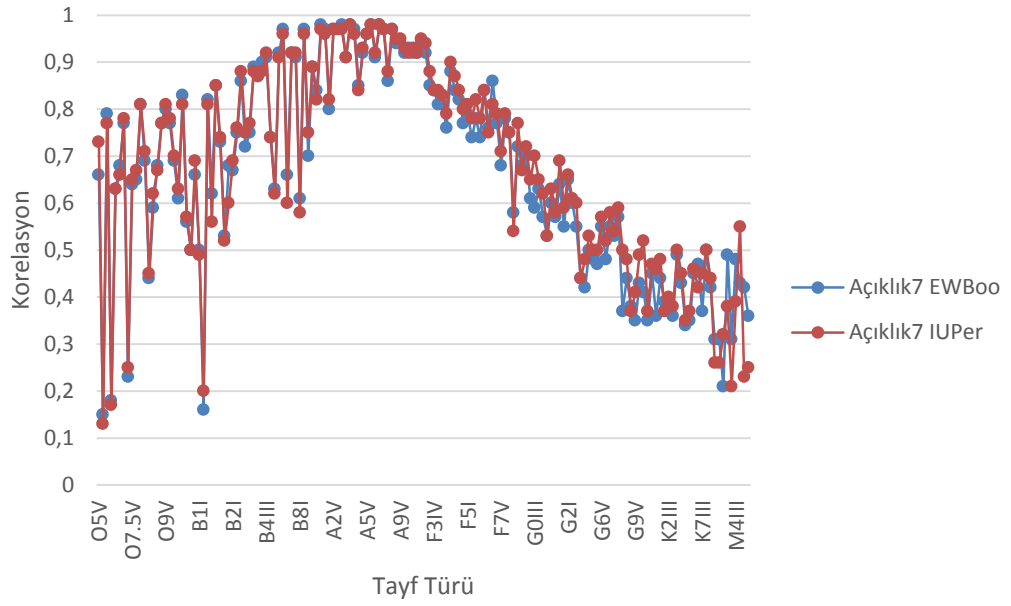
Şekil 4.2 Farklı ışınım sınıfından yıldızlar için renk-renk diyagramı ve IU Per sisteminin bu diyagramdaki konumu

SIMBAD ve GCVS’de tayf türü EW Boo için A0, IU Per için ise A4 verilmiştir. Yine de elimizdeki tayfsal verilerin özellikle de baş bileşenin öne geçerek yoldaşı örttüğü

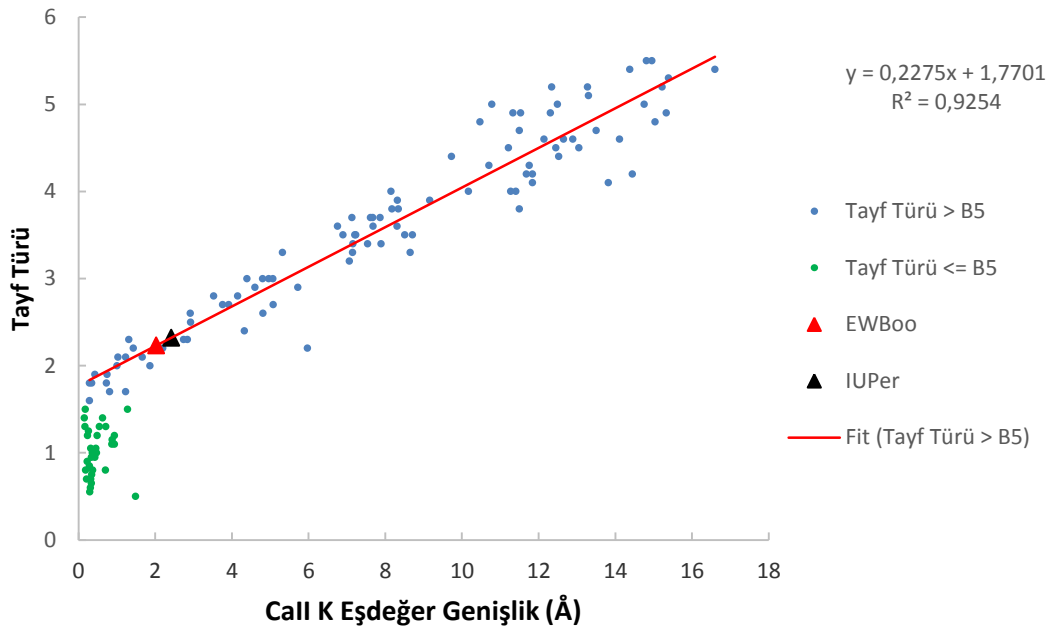
~0.5 evresinde olanları kullanarak her iki sistemin baş bileşenleri için tayf türü ve sıcaklık değerleri bu çalışmada yeniden belirlenmiştir. Bu işlemde Jacoby, Hunter ve Christian (1984) tarafından oluşturulan, O-M tayf türleri arası ve I-III-V ışınım sınıflarından 161 yıldızın 3510Å-7427Å dalgaboyları arası tayflarını içeren atlas kullanılmıştır. IRAF programındaki FXCOR programı kullanılarak EW Boo ve IU Per'in tayflarından özellikle hidrojen çizgilerini içeren açıklıklar dikkate alınarak atlasta bulunan tayflar ile karşılaştırılmış ve Şekil 4.3'te gösterilen sonuç elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre EW Boo için en yüksek korelasyonun A1V, A2V, A3V, A6V ve A7V tayf türlerinde, IU Per için ise A3V, A6V ve A7V tayf türlerinde olduğu ortaya çıkmıştır.

CCF yönteminden tek bir sonuç elde edilemediği için 3933Å dalgaboyundaki CaII K çizgisi kullanılmıştır. Bunun için atlastaki tüm tayflardan CaII K çizgisinin eşdeğer genişlikleri ölçülerek 0-6 arası sayılar ile kodlanan tayf türüne göre grafiğe aktarılmış ve B5'ten daha geç tayf türleri için bu grafiğe doğrusal bir fit yapılmıştır (Şekil 4.4). EW Boo ve IU Per için ~0.5 evresindeki ikişer adet veriden alınan CaII K eşdeğer genişlik ölçümlerinin ortalama değerleri sırasıyla 2.073Å ve 2.249Å bulunmuştur. Bu değerler doğrusal fit sonucu bulunan denklemde yerine koyularak tayf türü EW Boo için A2, IU Per için ise A3 bulunmuştur.

IU Per için Q-yöntemi ile bulunan ~8200 K değerindeki sıcaklık anakol için A5 tayf türüne karşılık gelmektedir. Bu ise tayftan elde edilen sonuca oldukça yakındır. Aradaki fark iki yöntemde kullanılan verilerin sistemin farklı evrelerine ait olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.3 CCF yöntemini kullanan FXCOR ile EW Boo ve IU Per’in tayflarındaki H β çizgisini de içeren 7 numaralı açıklığın (4523Å -5338Å arası) atlastaki tayflarla karşılaştırılması



Şekil 4.4 Tayf türünün CaII K çizgisinin eşdeğer genişliklerine göre değişimi, yapılan fit ve incelenen sistemlerin konumu
Sağ üstte yapılan doğrusal fitin denklemi ve R² değeri görülmektedir.

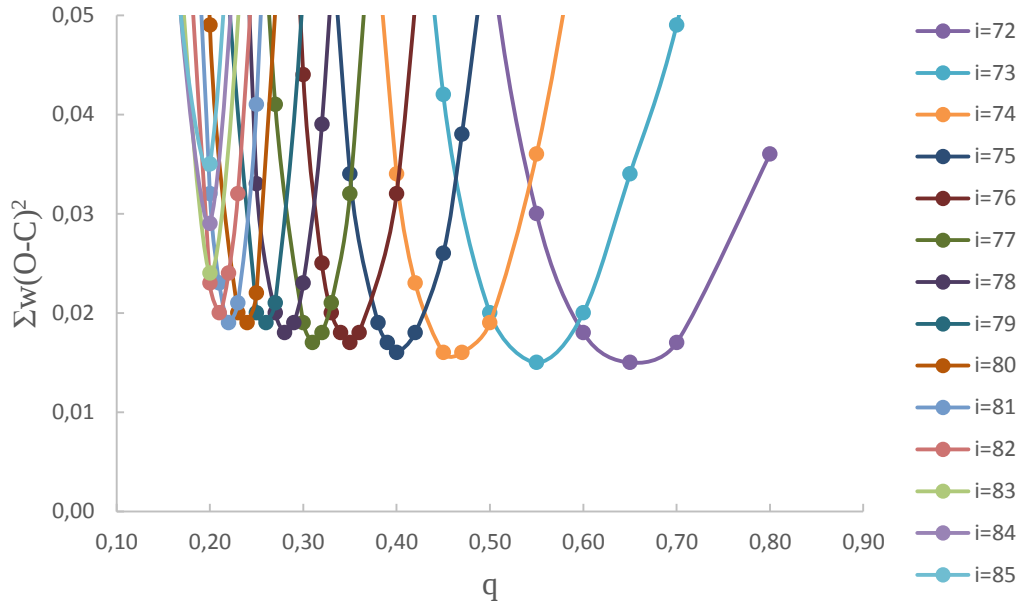
EW Boo ve IU Per sistemlerinin baş bileşenleri için bulunan tayf türlerine karşılık gelen sıcaklıklar sırasıyla 8970 K ve 8720 K (Lang 1992) alınmıştır. Her iki sistem için de bolometrik albedo değerleri ALB1 ve ALB2 (A_1 , A_2) sırasıyla radyatif¹⁰ (ışımsal) zarfa sahip sıcak baş bileşen için 1.0 ve konvektif zarfa sahip soğuk yoldaş bileşen için ise 0.5 alınmıştır (Rucinski 1969). Bolometrik çekimsel kararma sabitleri GR1 ve GR2 (g_1 , g_2) radyatif atmosfere sahip baş bileşen için 1.0 (von Zeipel 1924), konvektif atmosfere sahip yoldaş bileşen için ise 0.32 (Lucy 1967) alınmıştır. Her iki sistemin de ışık eğrisinde ikinci minimum 0.5 evresinde olduğundan ve birinci minimumun iniş ve çıkış süreleri birbirine eşit olduğundan yörüngelerin dairesel yani ECC (e)=0 olduğu kabul edilmiştir. Bu ise klasik Algollerin evrim durumlarından dolayı beklenen bir sonuçtur. Ayrıca her iki sistemde de baş ve yoldaş bileşenler için eş dönme varsayımı yapılmış ve dolayısıyla $F1=F2=1$ alınmıştır. Her iki sistem için de üçüncü ışık etkisi görülememiş ve dolayısıyla $l_3=0$ olduğu varsayılmıştır. Bu parametreler tüm iterasyonlar sırasında sabit tutulmuştur. Kenar kararması için logaritmik yasa kullanılmış ve katsayılar gözlem yapılan filtrelerin dalgaboyuna ve bileşenlerin sıcaklıklarına göre van Hamme (1993)'den alınmıştır. Yörünge eğim açısı INCL (i), yoldaş bileşenin yüzey sıcaklığı TAVC (T_2), baş bileşenin boyutsuz yüzey potansiyeli (Ω_1), baş bileşenin ışıyım gücü HLA (L_1) ve evre kayması PSHIFT (ϕ) serbest bırakılan parametrelerdir.

Bölüm 3.2.4.3'te irdelendiği üzere; KOREL yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrisinin bu tez çalışmasındaki analizler sırasında kullanılmamasına karar verilmiş ancak bu yöntemle elde edilen bazı parametreler (q ve $asini$) başlangıç değerleri olarak alınmıştır. BF yöntemi ise daha çok hızlı dönmeden dolayı çizgileri genişlemiş olan sistemler için uygundur. Şekil 3.14'te görüldüğü gibi bu çalışmada incelenen sistemlerde çizgiler fazla genişlemiş değildir. Dolayısıyla BF yöntemi bu sistemler için çok uygun değildir. Sonuç olarak analizlerde CCF yöntemi ile elde edilen dikine hız eğrilerinin kullanılması tercih edilmiştir. EW Boo sisteminde KOREL ile q (M_2/M_1) kütle oranı için bulunan 0.291 değeri ve $asini$ yarı büyük eksen uzunluğu için bulunan 4.896 $R_\odot$ başlangıç değerleri olarak girilmiştir. Daha sonra kütle oranı (RM), yarı büyük eksen uzunluğu SMA (a) ve kütle merkezinin hızı VGA (V_γ) birlikte serbest bırakılmıştır. Böylece ışık eğrisi ile

¹⁰ $T_{eff} > 8000K$ için atmosfer ağırlıklı olarak radyatif dengede, $T_{eff} < 5000K$ için ağırlıklı olarak konvektif dengededir (Claret 1999). Aradaki sıcaklık değerleri için ise her iki mekanizma da enerji transferine önemli derecede katkıda bulunur.

dikine hız eğrisinin eş zamanlı çözümü sağlanmıştır. EW Boo için öncelikle WD kodunda ayırık sisteme karşılık gelen Mod 2 seçilmiş, ancak birkaç iterasyondan sonra yoldaş bileşenin boyutsuz yüzey potansiyel değerine ve evreye göre yıldız şekillerini gösteren grafiklere bakılarak yoldaş bileşenin iç Roche lobunu doldurduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple çözüm yoldaş bileşenin Roche lobunu doldurduğu yarı ayırık sisteme karşılık gelen Mod 5 kullanılarak elde edilmiştir.

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi IU Per sisteminin TUG gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisi henüz anlaşılamayan sebeplerden ötürü $\sim 0.9-0.1$ evreleri arasında bulunan bazı bozulmalar içermektedir. Bu sebeple ışık eğrisi güvenilir olarak değerlendirilmemiş ve ışık eğrisi analizine dahil edilmemiştir. IU Per için kütle oranını belirlemeye yetecek kadar tayfsal veri olmadığından kütle oranı fotometrik olarak “*i-q taraması*” ile bulunmuştur. Bunun için $0.10 - 0.80$ arasında 0.05 ’lik adımlarla değişen bir q serisi alınarak Mod 2 ile hesaplamalara başlanmıştır. Ancak tüm hesaplamalar Mod 5’te yakınsamış, böylece bu sistemin de oEA yıldızlarının gerektirdiği şekilde yoldaş bileşenin Roche lobunu doldurduğu yarı ayırık bir sistem olduğu anlaşılmıştır. Şekil 4.5’te q değerlerine karşılık fark kare toplamalarının grafiği verilmektedir. $i < 72$ ve $q > 0.6$ için yapılan çözümlerde baş bileşen Roche lobunu doldurmaktadır. Bu sebeple taramada bu değerler dikkate alınmamıştır. Tarama sonucunda en düşük fark kare toplamına $i \sim 73$ ve $q \sim 0.55$ için ulaşılmıştır. Ardından bu değerler PHOEBE’ye girilerek serbest bırakılmış ve çözüme ulaşılmıştır.



Şekil 4.5 IU Per için yapılan i-q taraması

IU Per sisteminin analizinde kullanılmak üzere sisteme ilişkin çok az sayıda dikine hız verisi elde edildiğinden EW Boo'daki gibi ışık ve dikine hız eğrileri eş zamanlı olarak çözülememiştir. Bunun yerine fotometrik olarak kütle oranı bulunup ışık eğrisi çözümü elde edildikten sonra dikine hız eğrisi PHOEBE'de aktif hale getirilmiş, ardından SMA ve VGA parametreleri serbest bırakılıp diğer tüm parametreler sabit tutularak birkaç iterasyon ile dikine hız eğrisine bir fit yapılmıştır. Böylece bir yarı büyük eksen uzunluğu değeri elde edilerek kütle, yarıçap ve yüzey çekim ivmesi gibi mutlak parametreler için bir tahmin yürütebilmek mümkün olmuştur. Dikine hız eğrisine yapılan bu uyumlamalar sırasında fotometrik olarak belirlenen q değerini değiştirmeden uyumlama yapılabilmesi için her iki bileşene ait dikine hız verisinin bulunduğu 0.67 ve 0.69 evreleri dikkate alınmıştır. Bu sebeple dikine hız eğrisinden hesaplanan a ve $V\gamma$ parametrelerinin ve bunlara bağlı olarak kütle ve yarıçap değerlerinin hataları oldukça düşük çıkmıştır. Sistemin daha fazla dikine hız gözlemi yapılması durumunda daha büyük hata değerlerine ulaşılabacaktır. Aynı zamanda IU Per için yeterli sayıda dikine hız gözlemi olmadığından -80 km/sn değerinde bulunan sistemin uzay hızının ($V\gamma$) doğru olmama ihtimali bulunmaktadır.

Işık eğrisinden WD ile elde edilen fotometrik çözüm EW Boo için Çizelge 4.1’de, IU Per için Çizelge 4.2’de verilmiştir. Gözlemsel ışık eğrileri, çözüm sonucu elde edilen teorik ışık eğrileri (sürekli eğriler) ve artıklar EW Boo için Şekil 4.6 – Şekil 4.9’da, IU Per için Şekil 4.10 – Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Işık ve dikine hız eğrisi çözümünden elde edilen teorik dikine hız eğrileri gözlemsel noktalar ile birlikte Şekil 4.14 – Şekil 4.15’te gösterilmiştir. Sistemlerin 0.25 evresindeki geometrik konfigürasyonu ise Şekil 4.16’da gösterilmiştir.

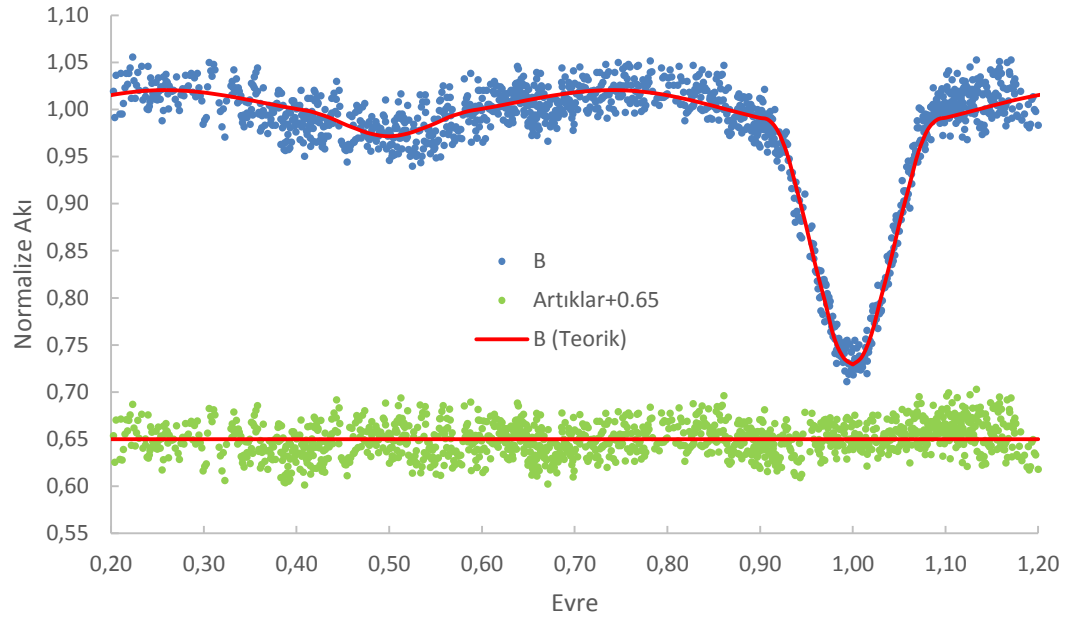
Geometrik parametrelerin bulunmasından sonra mutlak parametrelerin hesabına geçilmiştir. Bileşen yıldızların kütleleri Kepler’in üçüncü yasası ve analizlerde bulunan kütle oranı kullanılarak $M_{\odot}$ cinsinden hesaplanmıştır. Işık eğrisi analizinden bulunan kesirsel yarıçaplar (r_1, r_2) ve $R_{\odot}$ cinsinden yarı büyük eksen uzunluğu ($a[R_{\odot}]$) $R_{1,2}=a \cdot r_{1,2}$ ifadesinde kullanılarak bileşenlerin $R_{\odot}$ cinsinden yarıçapları hesaplanmıştır. Güneş’in etkin sıcaklığı $T_{\odot}=5780$ K alınarak ve elde edilen yarıçap değerleri kullanılarak, bileşenlerin ışıyım güçleri $L_{1,2}/L_{\odot}=(R_{1,2}/R_{\odot})^2(T_{1,2}/T_{\odot})^4$ ifadesinden hesaplanmıştır. Bileşenlerin bolometrik parlaklıkları $M_{bol1,2}=4.74-2.5\log(L_{1,2}/L_{\odot})$ ifadesi kullanılarak hesaplanmıştır. Işıyım güçleri ve toplam parlaklık değerleri bilindiğinden bileşenlerin ayrı ayrı V parlaklıkları hesaplanabilmiş, EW Boo için $V_{baş}=10^m.299$, $V_{yoldaş}=13^m.159$, IU Per için ise $V_{baş}=10^m.478$, $V_{yoldaş}=12^m.938$ bulunmuştur. Cox (2000) tarafından verilen tablolardan bolometrik düzeltme (BC) terimleri baş bileşenlerin sıcaklıkları için yapılan interpolasyon ile EW Boo için -0.198, IU Per için ise -0.183 bulunmuştur. Baş bileşenler için bolometrik parlaklıklar ve bolometrik düzeltme terimleri kullanılarak $M_V=M_{bol}-BC$ ifadesinden mutlak parlaklıklar hesaplanmıştır. Cox (2000) tarafından verilen tablolardan $(B-V)_0$ değerleri EW Boo için 0.05, IU Per için ise 0.15 bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak $E(B-V)=(B-V)_{gözlenen}-(B-V)_0$ şeklinde tanımlanan renk artığı EW Boo için 0.089, IU Per için 0.19 olarak hesaplanmıştır. V bandında yıldızlararası sönmüleme $A_V=3.2 \times E(B-V)$ ile EW Boo için 0.285, IU Per için 0.609 bulunmuştur. Son olarak, hesaplanan bu değerler ile $V - M_V = 5 \log d(pc) - 5 + A_V$ denklemi kullanılarak sistemlerin parsek biriminde uzaklıkları hesaplanmıştır. Her iki sistem için elde edilen mutlak parametreler Çizelge 4.3’te yer almaktadır.

Çizelge 4.1 EW Boo için ışık ve dikine eğrisi çözümü

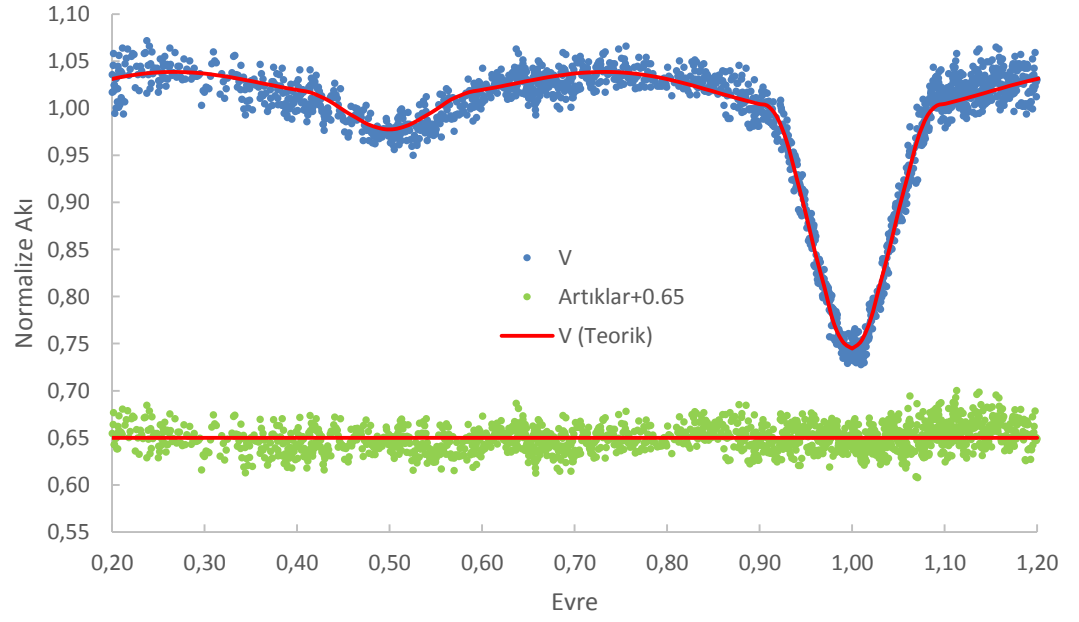
Parametre	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
i (°)	71.076±0.021	
q (=M ₂ /M ₁)	0.291±0.002	
e	0	
Evre Kayması	-0.0004±0.0001	
T _e (K)	8970	5003±19
Ω	3.43717±0.00788	2.456
A	1.0	0.5
g	1.0	0.32
x _{bol} , y _{bol}	0.670, 0.070	0.655, 0.097
x _B , y _B	0.757, 0.320	0.756, 0.320
x _V , y _V	0.652, 0.273	0.647, 0.284
x _R , y _R	0.524, 0.288	0.524, 0.241
x _I , y _I	0.410, 0.198	0.413, 0.211
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (B)	0.96628±0.00003	0.03372
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (V)	0.93709±0.00008	0.06291
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (R)	0.90066±0.00015	0.09934
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (I)	0.85948±0.00024	0.14052
r (kutup)	0.31603±0.00078	0.25911±0.00746
r (uç)	0.32968±0.00094	0.37642±0.00576
r (kenar)	0.32284±0.00085	0.26977±0.00078
r (arka)	0.32700±0.00090	0.30246±0.00081
r (ortalama)	0.32192±0.00049	0.27652±0.00268
Σw(O-C) ² (B)	0.426	
Σw(O-C) ² (V)	0.345	
Σw(O-C) ² (R)	0.277	
Σw(O-C) ² (I)	0.294	

Çizelge 4.2 IU Per için ışıık ve dikine hız eğrisi çözümü

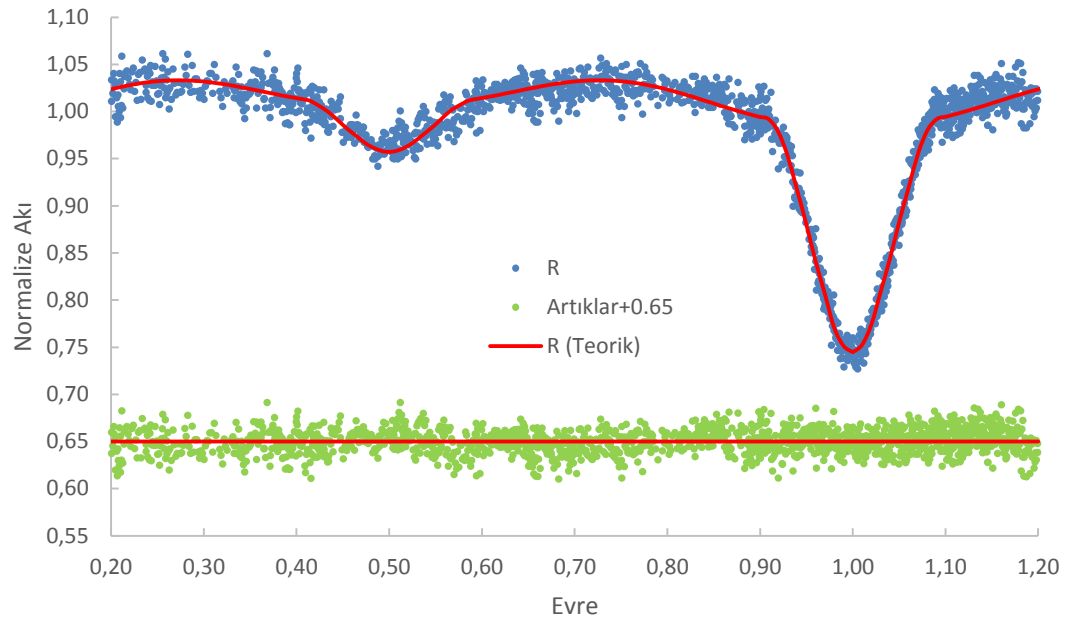
Parametre	Baş Bileşen	Yoldaş Bileşen
i (°)	73.274±0.030	
q (=M ₂ /M ₁)	0.532±0.003	
e	0	
Evre Kayması	-0.00402±0.00008	
T _e (K)	8720	4949±12
Ω	3.66955±0.00788	2.93733
A	1.0	0.5
g	1.0	0.32
x _{bol} , y _{bol}	0.655, 0.124	0.654, 0.121
x _B , y _B	0.769, 0.311	0.772, 0.310
x _V , y _V	0.663, 0.281	0.662, 0.281
x _R , y _R	0.537, 0.244	0.536, 0.243
x _I , y _I	0.424, 0.215	0.424, 0.216
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (B)	0.95859±0.00001	0.04141
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (V)	0.91501±0.00003	0.08499
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (R)	0.86508±0.00007	0.13492
L _{1,2} /(L ₁ +L ₂) (I)	0.81412±0.00012	0.18588
r (kutup)	0.31625±0.00081	0.30469±0.00039
r (uç)	0.33809±0.00113	0.43554±0.00039
r (kenar)	0.32440±0.00091	0.31815±0.00041
r (arka)	0.33239±0.00101	0.35056±0.00041
r (ortalama)	0.32428±0.00017	0.32390±0.00008
Σw(O-C) ² (B)	0.303	
Σw(O-C) ² (V)	0.126	
Σw(O-C) ² (R)	0.117	
Σw(O-C) ² (I)	0.133	



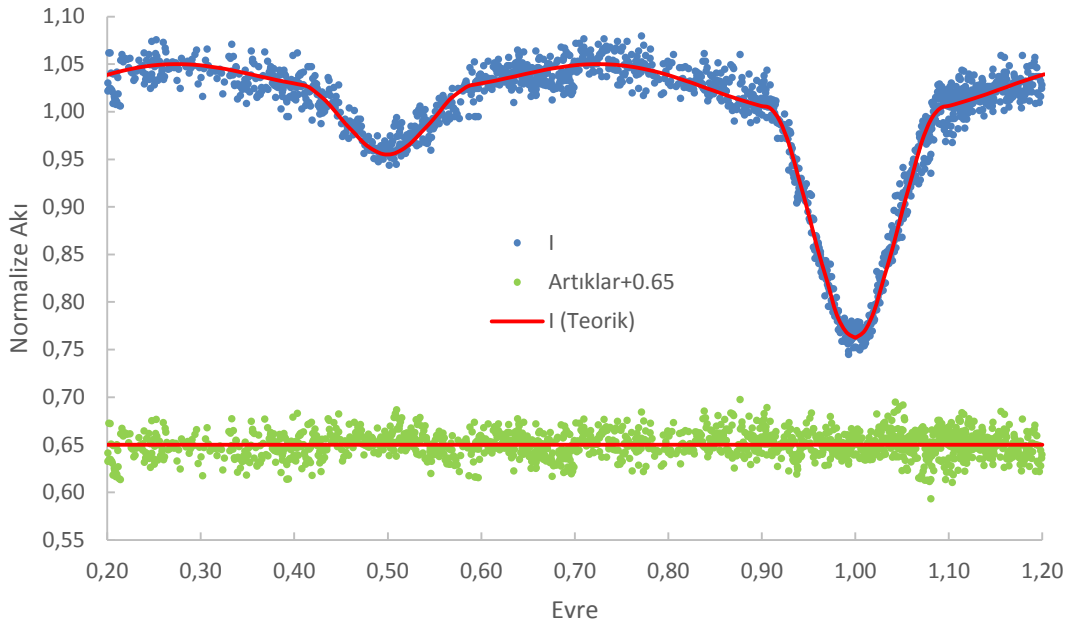
Şekil 4.6 EW Boo B bandı çözümü



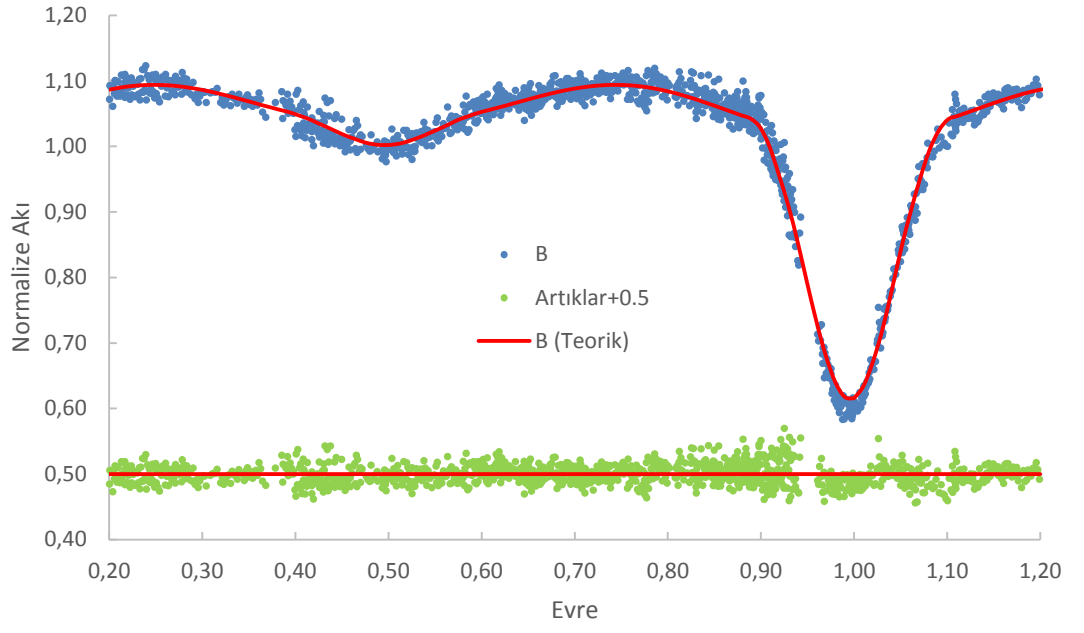
Şekil 4.7 EW Boo V bandı çözümü



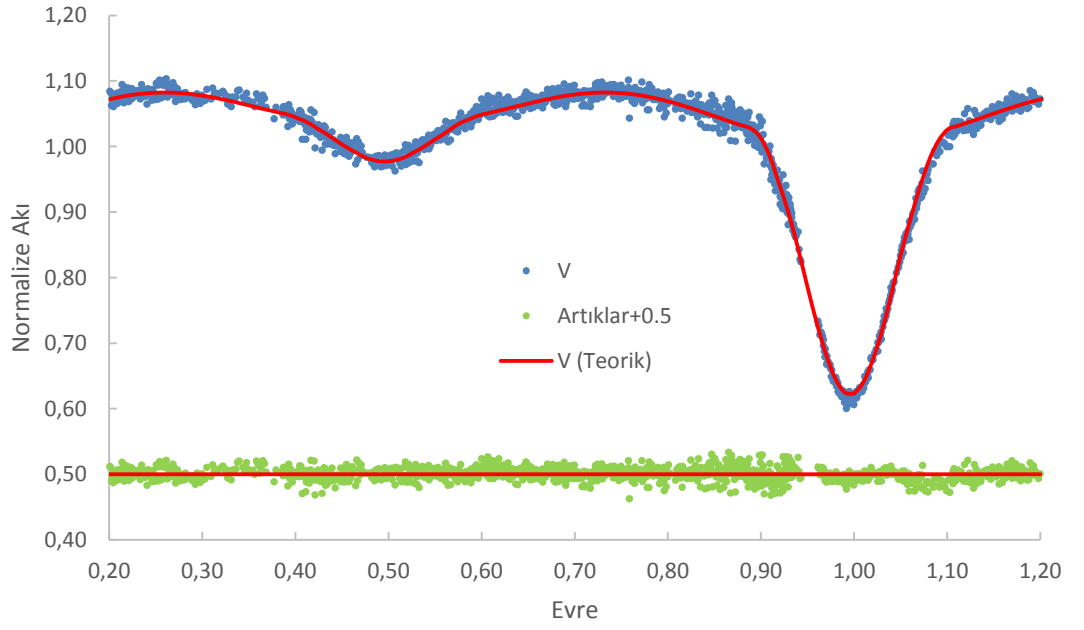
Şekil 4.8 EW Boo R bandı çözümü



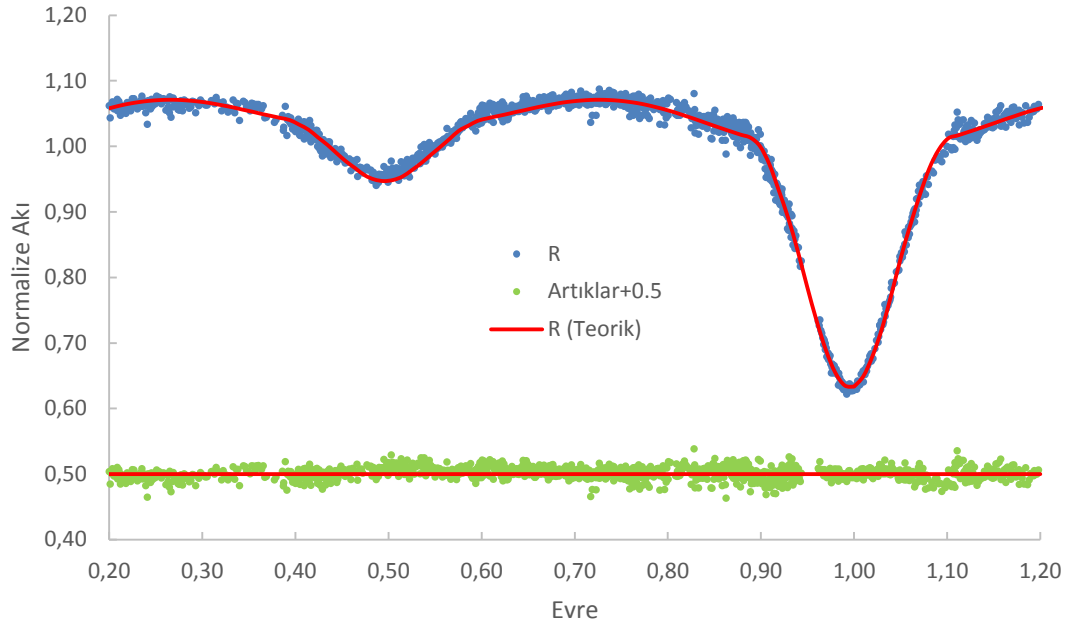
Şekil 4.9 EW Boo I bandı çözümü



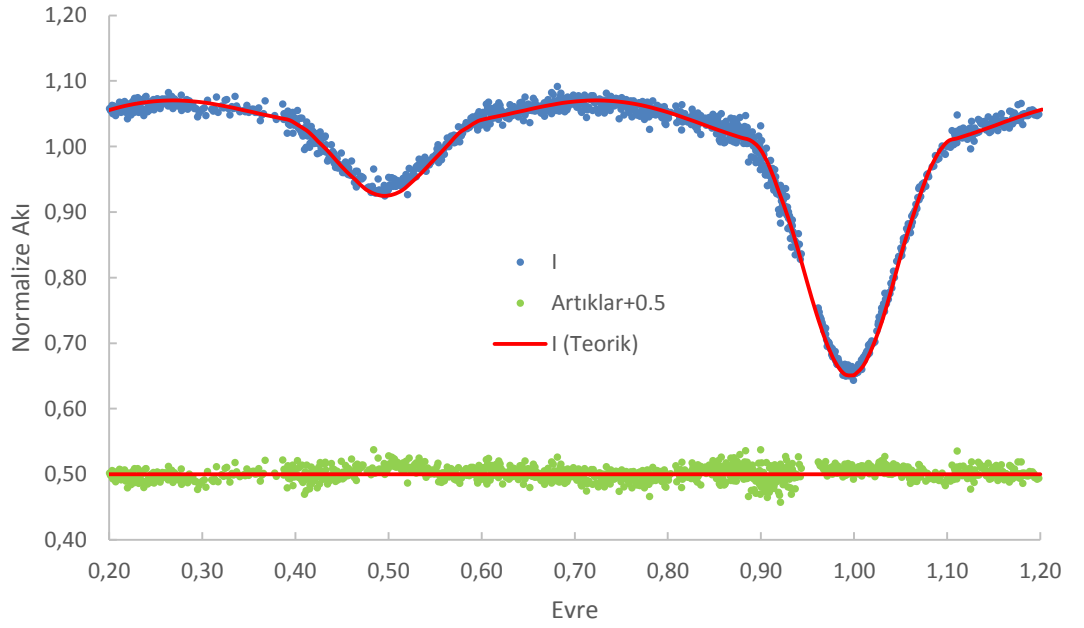
Şekil 4.10 IU Per B bandı çözümü



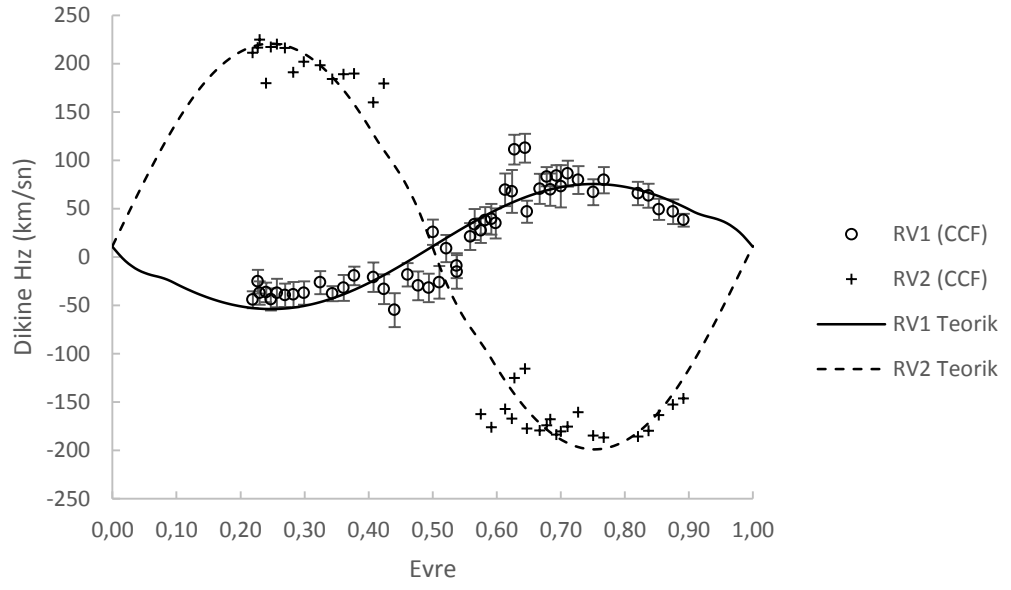
Şekil 4.11 IU Per V bandı çözümü



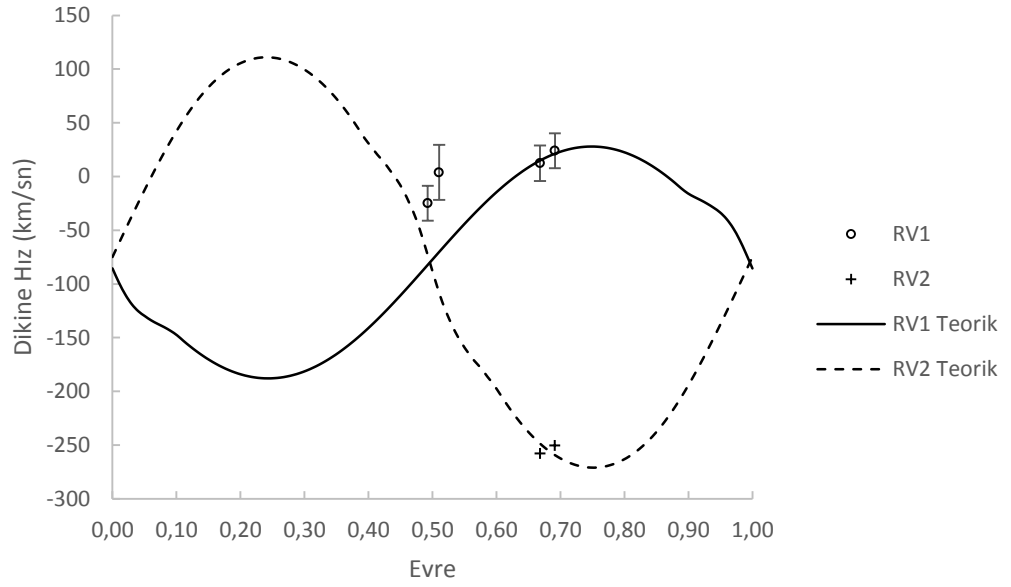
Şekil 4.12 IU Per R bandı çözümü



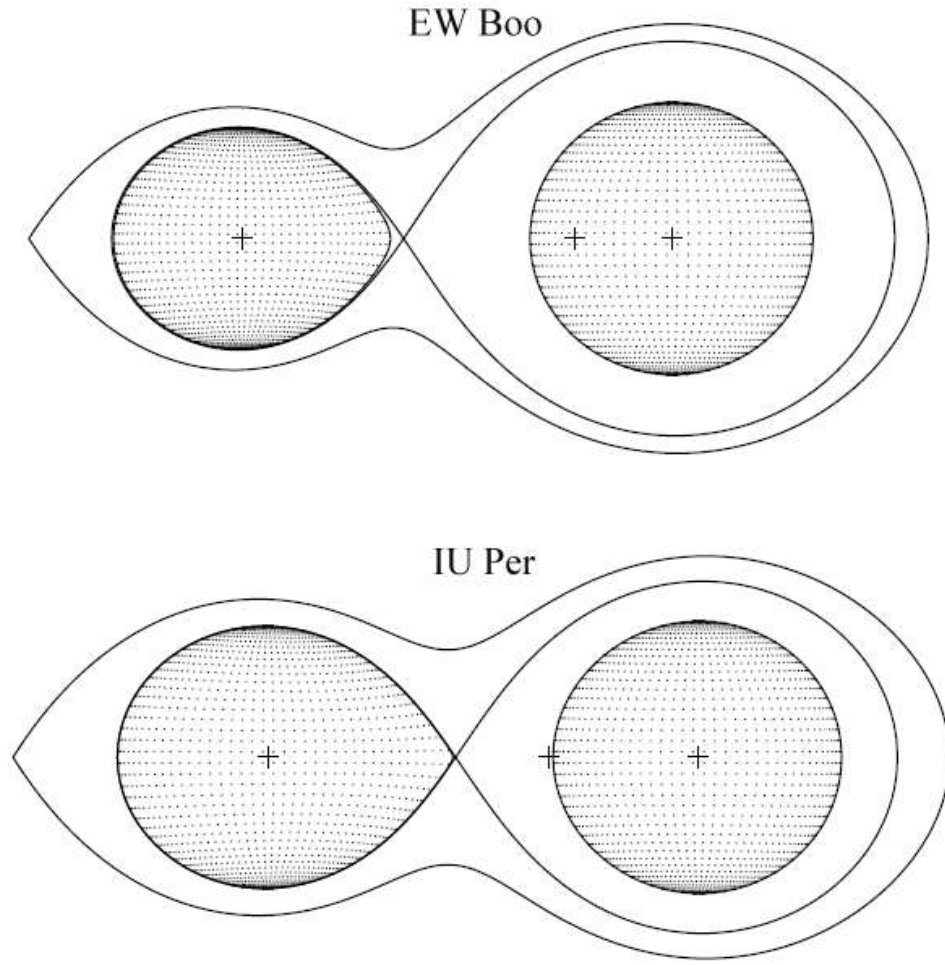
Şekil 4.13 IU Per I bandı çözümü



Şekil 4.14 EW Boo için dikine hız eğrisi çözümü



Şekil 4.15 IU Per için dikine hız eğrisi çözümü



Şekil 4.16 EW Boo ve IU Per sistemlerinin 0.25 evresindeki Roche geometrisi

Çizelge 4.3 EW Boo ve IU Per sistemleri için hesaplanan mutlak parametreler

Parametre	EW Boo	IU Per
a ($R_{\odot}$)	5.357 $\pm$ 0.014	5.425 $\pm$ 0.004
V_{γ} (km/sn)	12.708 $\pm$ 0.003	-80.014 $\pm$ 0.001
M_1 ($M_{\odot}$)	1.947 $\pm$ 0.016	1.906 $\pm$ 0.006
M_2 ($M_{\odot}$)	0.579 $\pm$ 0.004	1.036 $\pm$ 0.001
R_1 ($R_{\odot}$)	1.730 $\pm$ 0.005	1.759 $\pm$ 0.003
R_2 ($R_{\odot}$)	1.490 $\pm$ 0.015	1.757 $\pm$ 0.002
L_1 ($L_{\odot}$)	17.360 $\pm$ 0.399	16.032 $\pm$ 0.372
L_2 ($L_{\odot}$)	1.246 $\pm$ 0.031	1.659 $\pm$ 0.016
log g_1 (cgs)	4.252 $\pm$ 0.004	4.228 $\pm$ 0.002
log g_2 (cgs)	3.847 $\pm$ 0.009	3.955 $\pm$ 0.001
M_{bol1}	1.641 $\pm$ 0.025	1.728 $\pm$ 0.025
M_{bol2}	4.501 $\pm$ 0.027	4.190 $\pm$ 0.011
d (pc)	431 $\pm$ 11	390 $\pm$ 8

4.2 Frekans Analizi

İncelenen her iki yıldız sisteminin ışık eğrilerinde birinci minimumda zonklamalar çok zayıflamakta hatta özellikle IU Per için hiç görülmemekte, buna karşın ikinci minimumda ise zonklamalar net bir şekilde görülebilmektedir. İkinci minimumda sıcak bileşen önde olduğundan, ışık eğrilerinde görülen kısa dönemli ve küçük genlikli değişimlerin sıcak bileşenlerin zonklamasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Bu zonklamalar için frekans analizi, gözlenen ışık eğrilerinden teorik ışık eğrilerinin çıkarılması sonucu elde edilen artıkların birinci minimum dışında kalan kısımları üzerinde PERIOD04 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çok küçük genlikli olan bu zonklamaların incelenmesinde olabildiğince doğru sonuçlara ulaşılabilmesi için değişimlerin en belirgin olduğu bantlar ve günler seçilmiştir. Buna göre EW Boo için V bandı, IU Per için ise B bandı kullanılarak frekans analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sırasında δ -Scuti türü yıldızların Breger (2000) tarafından verilen tipik frekans aralığı 3-80 çevrim/gün (c/d) dikkate alınmıştır.

Gecelik değişimleri dikkate alabilmek için öncelikli olarak her gözlem gecesinin ayrı ayrı frekans analizi gerçekleştirilmiş, frekans ve genlik değişimleri elde edilmiştir. Bu işlemin ardından aynı sisteme ilişkin bütün gözlemler dikkate alınarak çoklu dönem (veya frekans) araması gerçekleştirilmiştir. Breger vd. (1993) frekans analizinde ortaya çıkan frekansların güvenilirliği için sinyal/gürültü oranının (SNR) ≥ 4 olması gerektiğini belirtmektedir. İlk frekans bulunup çıkarıldıktan sonra artıklar üzerinde yeniden frekans analizi yapılmış ve koşulda belirtilen sınırın altına inilene kadar bu şekilde hesaplamalara devam edilmiştir. Her iki sistem için gerçekleştirilen frekans analizinde hem genlik değerlerinde hem de frekans değerlerinde değişimler bulunduğu görülmüş ve bu durum hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Hatalar ise programdaki analitik simülasyonlar kullanılarak hesaplanmıştır.

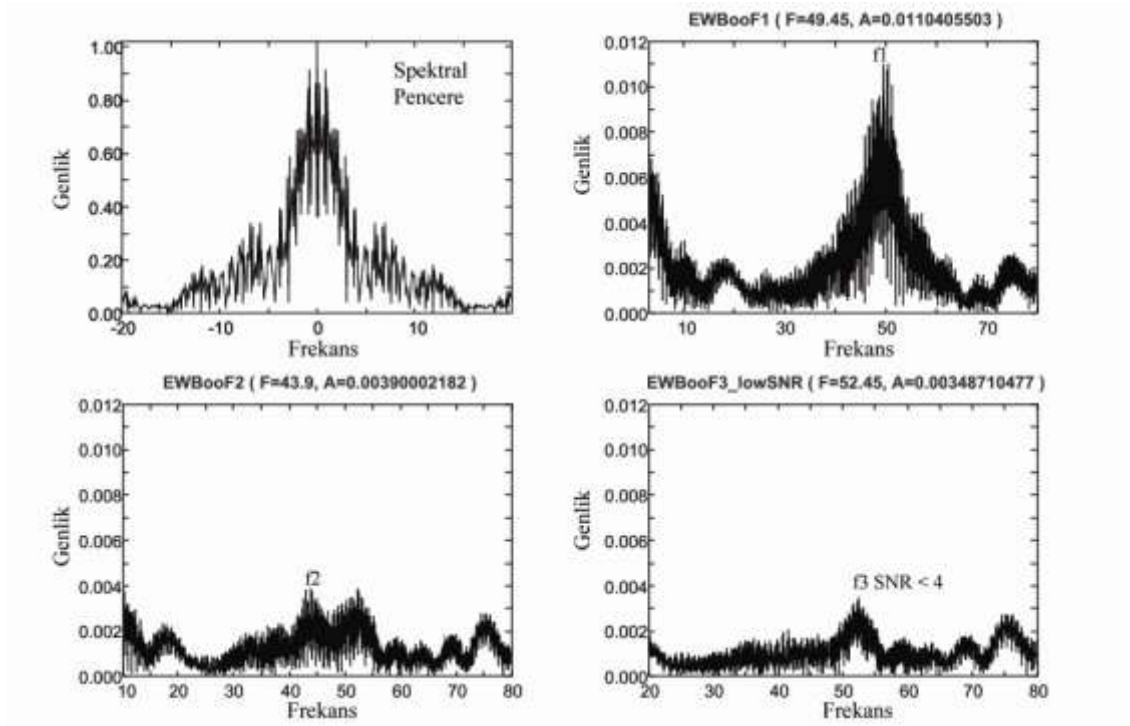
EW Boo sisteminin seçilen beş gözlem gecesini için yukarıda anlatılan şekilde yapılan hesaplamalar sonucu iki frekans bulunmuş, bu iki frekansın çıkarılmasından sonra kalan artıklardan bulunan üçüncü frekans ise $SNR < 4$ olduğundan kullanılmamıştır. Sistemin baskın zonklama frekansı (f_1) 49.4496 c/d olarak hesaplanmıştır. Bu ise yaklaşık 29 dakikalık bir zonklama dönemine karşılık gelmektedir. EW Boo için çoklu frekans modelinde bulunan frekanslar ve spektral pencere Şekil 4.17’de verilmiştir. Gözlem gecelerinin ayrı ayrı değerlendirilmesiyle bulunan frekanslar ile tüm gözlem gecelerinin birlikte değerlendirilmesiyle bulunan frekansların karşılaştırılması Şekil 4.18’de verilmiştir. Buna göre 10 Haziran 2012 ve 10 Haziran 2013 tarihleri için belirlenen frekanslar, çoklu frekans modelinde belirlenen baskın frekansa daha yakındır ve hataları da diğer günlere göre çok daha düşüktür. Gecelik frekans değerlerinin bu şekilde zamana göre incelenmesi ile zonklama frekanslarında bir değişimin olup olmadığını ortaya çıkarmak mümkündür. Yeterince uzun zaman aralığına dağılmış bu türden sonuçların karşılaştırılması ile frekans değişiminin nedenleri konusunda bilgiye ulaşılabilceği düşünülmektedir. Örneğin dönem değişimi ile frekans değişimi arasında bir ilişkinin ortaya konulabilmesi halinde, bu değişimin zonklamakta olan bileşenin kütle kazanma miktarı ile ilişkilendirilebilmesi mümkün olabilir. Son olarak V bandı ışık eğrisi artıklarına çoklu frekans ile yapılan fit Şekil 4.19’da gösterilmiştir.

IU Per için Şekil 4.10 - Şekil 4.13'te görüldüğü gibi zonklamalar EW Boo'da olduğu kadar belirgin değildir. Bu sistem için frekans analizine uygun olabilecek sadece üç gözlem gecesi tespit edilmiştir. Analiz sonucu baskın zonklama frekansı 42.0026 c/d olarak bulunmuştur. Bu değer ise yaklaşık 34 dakikalık bir zonklama dönemine karşılık gelmektedir. Bulunan ilk frekansın çıkarılmasından sonra artıkların tekrar analizi sonucunda $SNR \geq 4$ olacak şekilde bir pik bulunamamış olup bu sebeple gözlem verilerine çoklu frekans ile değil, anlamlılık limitinin üstünde bulunabilen tek frekans ile fit yapılabilmektedir. Sistem için bulunan frekanslar ve gözlemsel boşluklar tarafından oluşturulan spektral pencere Şekil 4.20'de, en uzun veri setlerinin olduğu gözlemler için yapılan tek frekanslı Fourier fiti ise Şekil 4.21'de gösterilmektedir.

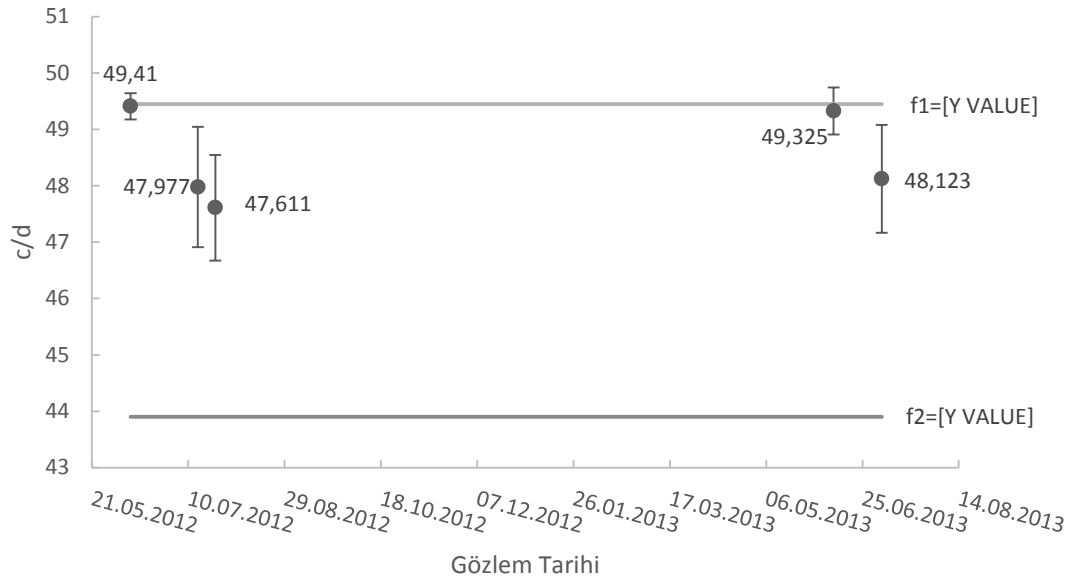
Çizelge 4.4'te her gözlem gecesi için ayrı ayrı belirlenen frekans, söz konusu frekansa karşılık gelen dönemler, genlik, faz ve SNR değeri hata miktarı ile birlikte listelenmiş, ayrıca tüm gözlemlerin birlikte analiz edilmesiyle elde edilen çoklu frekans modeli verilmiştir.

Çizelge 4.4 Baş bileşendeki zonklama için frekans analizi sonuçları

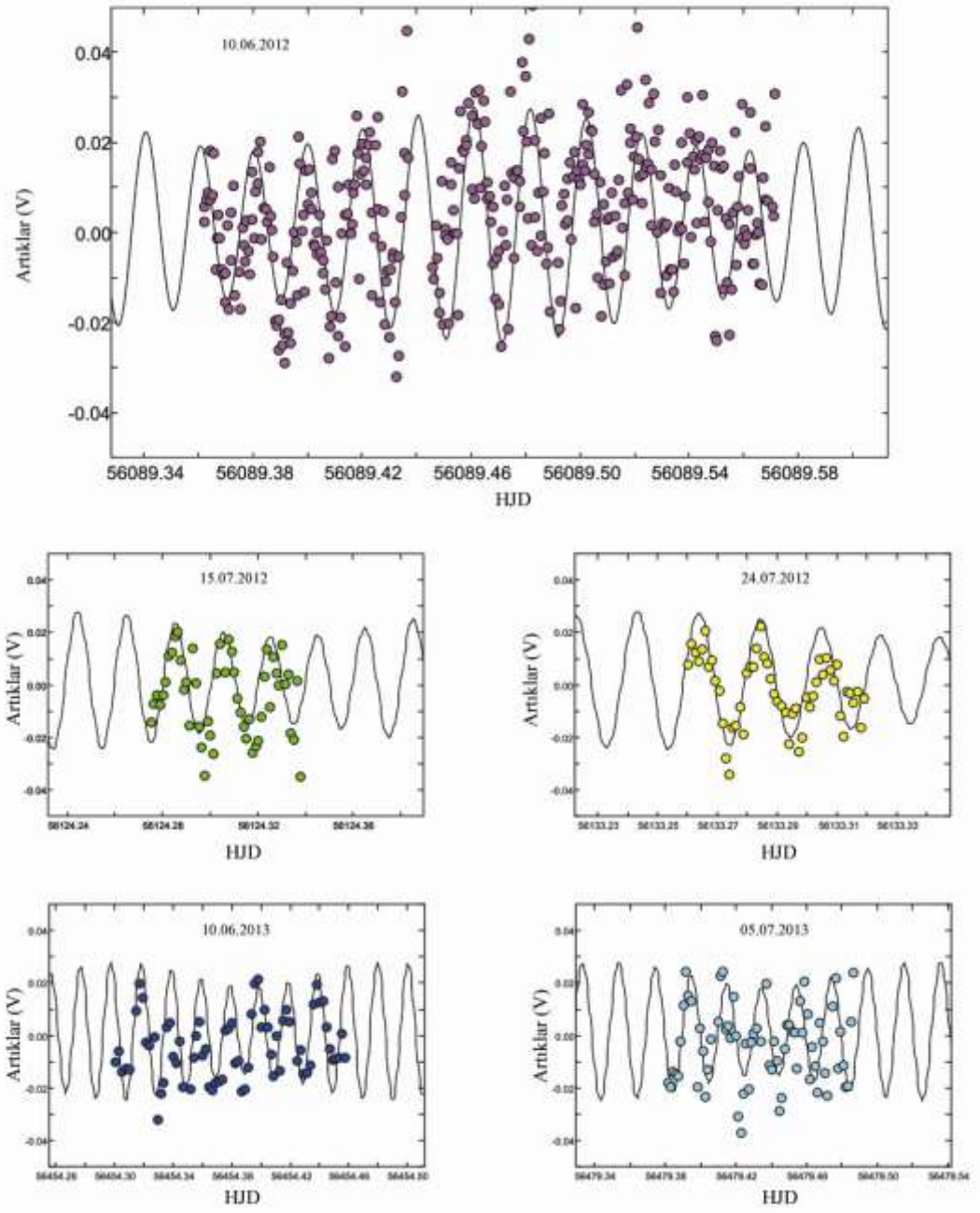
	Tarih	Frekans (c/d)	Dönem (gün)	Genlik (kadir)	ϕ (radyan)	SNR
EW Boo	10.06.2012	49.410±0.233	0.0202	0.020±0.001	0.606±0.014	5.57
	15.07.2012	47.977±1.066	0.0208	0.016±0.002	0.998±0.019	105.97
	24.07.2012	47.611±0.936	0.0210	0.014±0.001	0.196±0.016	29.64
	10.06.2013	49.325±0.418	0.0203	0.014±0.001	0.901±0.019	227.16
	05.07.2013	48.123±0.957	0.0208	0.012±0.002	0.300±0.028	14.45
IU Per	10.09.2013	43.565±0.878	0.0230	0.012±0.001	0.772±0.070	4.49
	25.09.2013	42.941±0.503	0.0233	0.015±0.001	0.722±0.045	4.03
	06.10.2013	41.514±0.401	0.0241	0.015±0.001	0.484±0.040	5.14
Tüm gözlemler						
EW	f_1	49.4496±0.0001	0.0202	0.0213±0.0005	0.7110±0.0077	8.47
Boo	f_2	43.8991±0.0002	0.0228	0.0049±0.0005	0.4635±0.0209	4.46
IU Per	f_1	42.0026±0.0027	0.0238	0.0158±0.0007	0.1803±0.0295	7.70



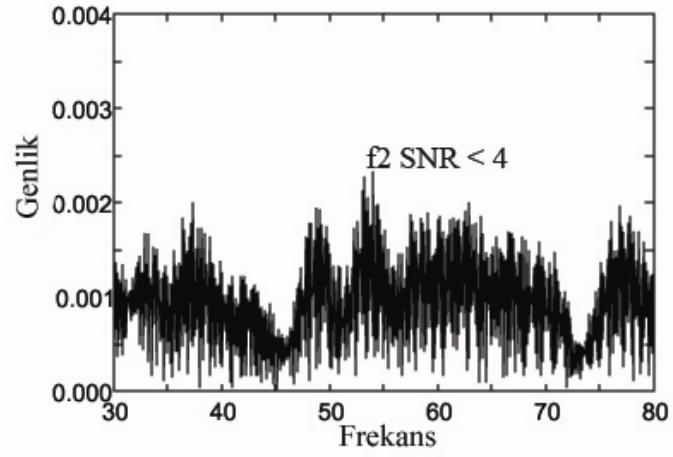
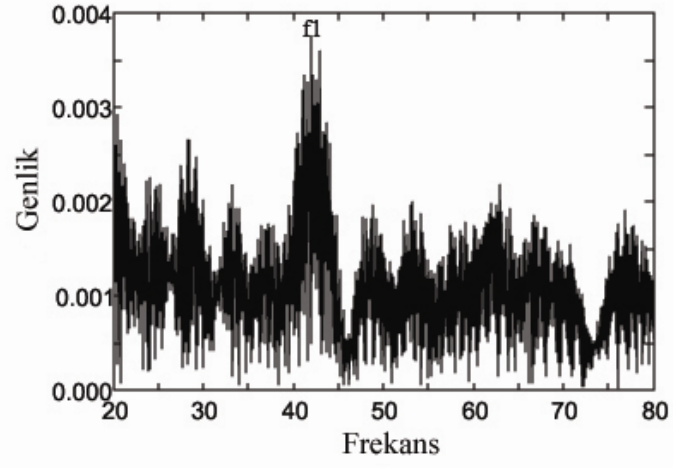
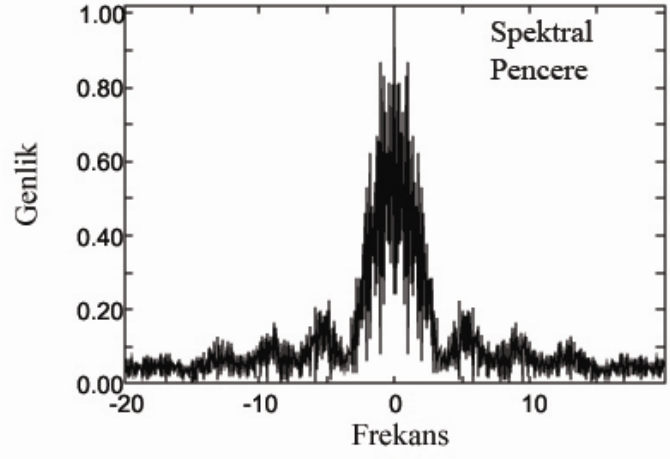
Şekil 4.17 EW Boo için spektral pencere ve bulunan frekanslar



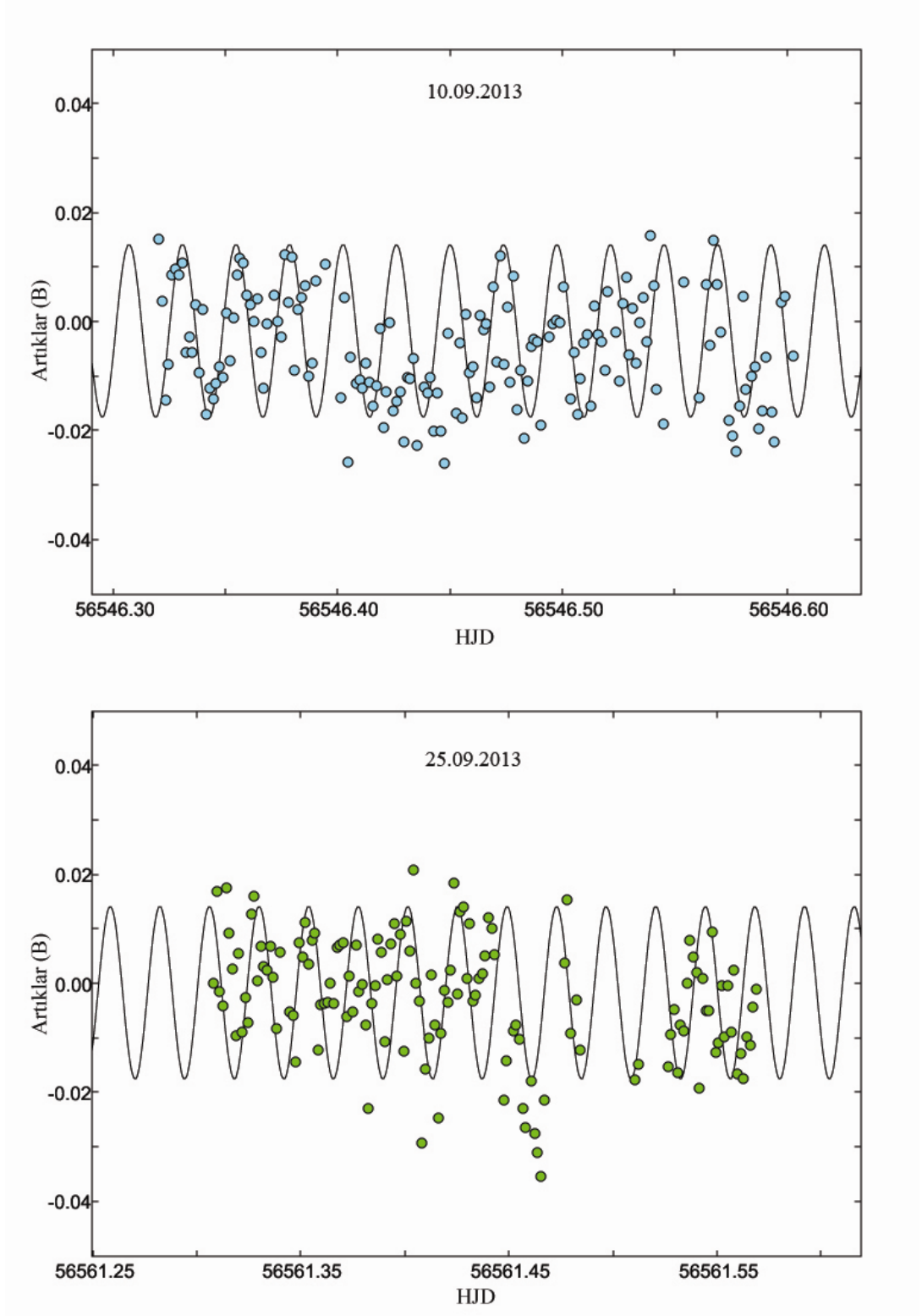
Şekil 4.18 EW Boo için bulunan gecelik frekansların zamana göre değişimi



Şekil 4.19 EW Boo için V bandı ışık eğrisi artıklarına yapılan çoklu frekans Fourier fiti

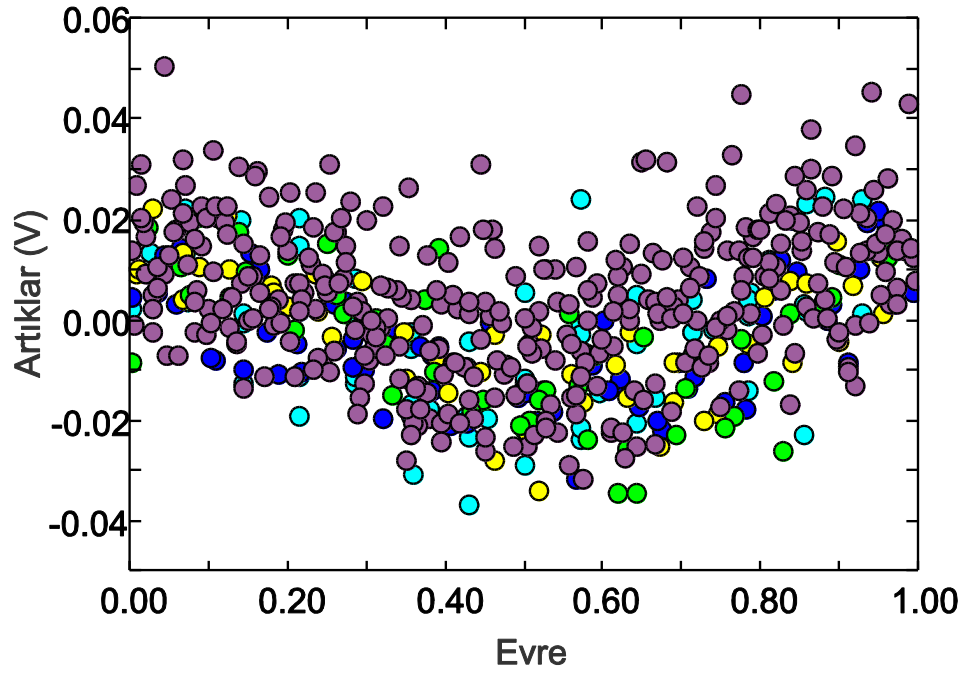


Şekil 4.20 IU Per için bulunan frekanslar ve spektral pencere

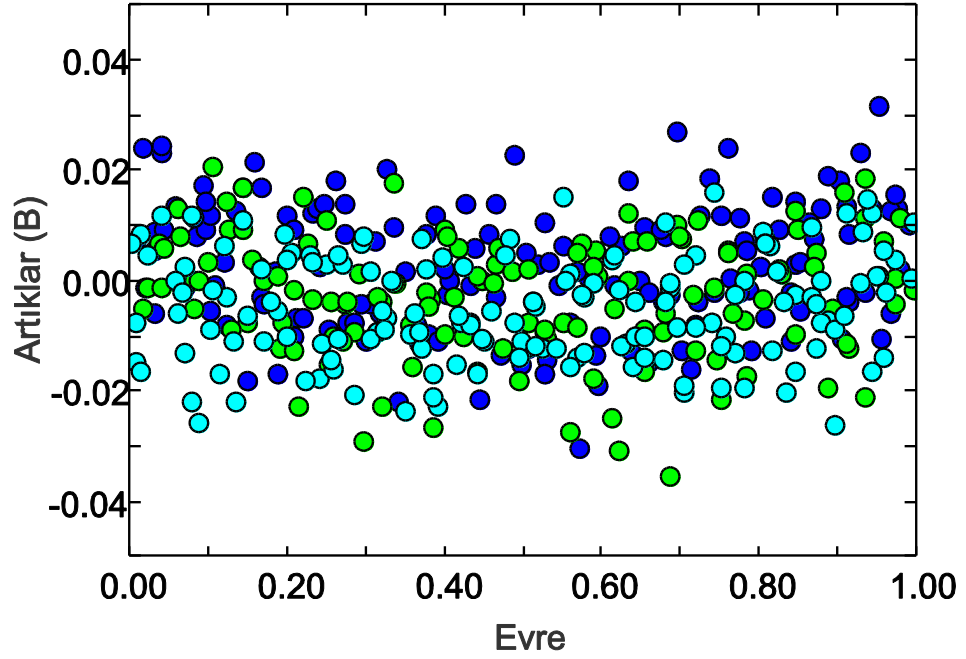


Şekil 4.21 IU Per sisteminin en uzun veri setine sahip gözlemleri için B bandı ışık eğrisi artıklarına tek frekans ile yapılan Fourier fiti

EW Boo sistemi için elde edilen baskın zonklama frekansı dikkate alınarak hesaplanan zonklamaya ilişkin ışık elemanları $HJD(Max)=2456089.38047+0^g.02022 \times E$ şeklindedir. Bu ışık elemanları ile evrelendirilen V bandı artıkları Şekil 4.22’de gösterilmektedir. IU Per sistemi için ise aynı şekilde hesaplanan ışık elemanları $HJD(Max)=2456546.35467+0^g.02381 \times E$ şeklindedir ve bu elemanlar ile evrelendirilen B bandı artıkları Şekil 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.22 EW Boo sisteminin zonklamaya göre evrelendirilmiş V bandı artıkları



Şekil 4.23 IU Per sisteminin zonklamaya göre evrelendirilmiş B bandı artıkları

IU Per için frekans analizi ilk olarak keşif yayınında Kim vd. (2005) tarafından ve daha sonra ise Zhang vd. (2009) tarafından yapılmıştır. Her iki yayında da ışık eğrisinde zonklamalar bu tez çalışmasında elde edilenlere göre çok daha belirgindir. Bu sebeple her iki yayında da çalışmamızda olduğundan farklı olarak birden fazla frekans bulunabilmiştir. Çizelge 4.5'te frekans analizi sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir. Görüldüğü gibi baskın zonklama frekansı üç çalışma için de birbiriyle uyumludur.

Çizelge 4.5 IU Per için frekans analizi sonuçlarının karşılaştırılması

	Kim vd. (2005)		Zhang vd. (2009)		Bu çalışma	
	Frekans (c/d)	Genlik (kadir)	Frekans (c/d)	Genlik (kadir)	Frekans (c/d)	Genlik (kadir)
f1	42.103	-	43.131	0.00308	42.003	0.0158
f2	45.806	-	47.796	0.00194	-	-
f3	-	-	15.903*	0.00106	-	-
f4	-	-	40.985*	0.00098	-	-

*: SNR<4

Frekans analizi sonucu bulunan frekanslara karşılık gelen zonklama sabitleri $Q=P_{puls}(\rho/\rho_{\odot})^{1/2}$ ile veya Breger (2000) tarafından verilen,

$$\log Q = -\log f + 0.5 \log g + 0.1 M_{bol} + \log T_{eff} - 6.456 \quad (4.1)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Sistemlerin elde edilen mutlak parametreleri bu ifadede kullanılarak Q değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.6’da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar Zhang vd. (2013) tarafından oEA türü sistemlerdeki baş bileşenler için hesaplanan $Q \sim 0.014$ gün değeriyle uyumludur. $\sim 2 M_{\odot}$ kütleli bir yıldız için bu kadar kısa dönemli zonklama ya yüksek overtone modlarında radyal ya da yüksek dereceden p-modlarında radyal olmayan zonklamadır (Fitch 1981, Lampens vd. 2011). Buna göre her iki sistem için baş bileşenin mutlak parametreleri ve zonklama sabiti değerleri dikkate alındığında, baskın frekansların temel modda radyal zonklamaya karşılık gelemeyeceği sonucuna ulaşılmaktadır. Fitch (1981) tarafından verilen tablolara göre EW Boo için ($Q=0.0124$ gün, $M=1.947 M_{\odot}$) baskın zonklama ya beşinci “overtone” modda (5H) radyal ya da beşinci derece p-modunda (p_5) radyal olmayan zonklamadır. IU Per için ise ($Q=0.0141$ gün, $M=1.906 M_{\odot}$) baskın zonklama ya dördüncü “overtone” modda (4H) radyal ya da dördüncü derece p-modunda (p_4) radyal olmayan zonklamadır. Zhang vd. (2009) tarafından yapılan frekans analizinde ise IU Per sisteminin baskın zonklama frekansı için, sistemin mutlak parametreleri belirlenmeden denklem (4.2) kullanılarak $Q = 0.0194$ gün hesaplanmış ve yaklaşık zonklama modu Fitch (1981) tarafından verilen tablolar ile kıyaslama yapılarak altıncı derece “overtone” radyal (6H) olarak belirtilmiştir.

$$Q = P_{puls} \sqrt{\frac{4\pi^2 R_{\odot}^3}{M_{\odot} G(1+q) r_1^3 P_{orb}^2}} \quad (4.2)$$

Çizelge 4.6 Elde edilen frekanslara karşılık gelen zonklama sabitleri ve yaklaşık zonklama modları

		Q (gün)	Hata	Mod
EW Boo	f_1	0.0124	0.0036	5H veya p_5
	f_2	0.0139	0.0036	4H veya p_4
IU Per	f_1	0.0141	0.0017	4H veya p_4

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

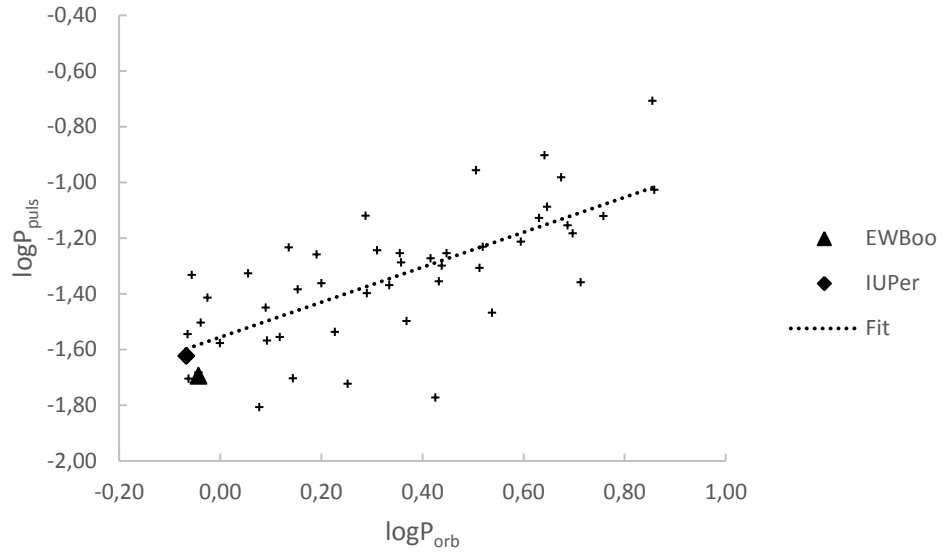
EW Boo sisteminin $\sim 0.2 - 0.9$ evreleri arasını kesintisiz bir şekilde kapsayan dikine hız eğrisi bu tez çalışması kapsamında elde edilmiştir. Bu sayede kütle oranı oldukça düşük bir hata değeri ile $q=0.291 \pm 0.002$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer ise Soyduğan vd. (2008) tarafından az sayıdaki tayftan belirlenerek verilen 0.217 değerinden bir miktar farklıdır. V bandı ışık eğrisi çözümünden kalan artıklara yapılan frekans analizi sonucunda Soyduğan vd. (2008) tarafından baskın zonklama dönemi ~ 30 dakika ve zonklama genliği ~ 0.02 kadir bulunmuştur. Bu sonuçlar ise Çizelge 4.4'te EW Boo için verilen baskın zonklama frekansına ilişkin ~ 29 dakikalık dönem ve 0.023 kadirlik genlik değerleriyle uyumludur. Bölüm 2.4.1, Çizelge 2.3'te gösterildiği gibi, Soyduğan ve Kaçar (2013) tarafından EW Boo için baş bileşenin kütlesi $1.4 M_{\odot}$ olarak verilmiş, bu çalışmada ise $1.947 M_{\odot}$ hesaplanmıştır. Bu değer Güneş benzeri metalisiteye sahip δ -Scuti yıldızları için McNamara (2011) tarafından verilen $\sim 1.64 M_{\odot}$ (daha kısa dönemliler) ile $\sim 2.4 M_{\odot}$ (daha uzun dönemliler) kütle aralığındadır. Baş bileşenin yarıçapı Soyduğan ve Kaçar (2013) tarafından $1.71 R_{\odot}$ verilmiş, bu çalışmada ise $1.73 R_{\odot}$ hesaplanmıştır.

IU Per sistemi için Zhang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada ışık eğrisi analizi sadece V bandı için gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma yapıldığında özellikle kütle oranı, yörünge eğim açısı ve baş bileşenin sıcaklığı gibi parametreler oldukça farklıdır. Zhang vd. (2009) IU Per için SIMBAD ve GCVS'de A4 olarak verilen tayf türünü kullanarak, Cox (2000) tarafından verilen kalibrasyon tablolarında bu tayf türüne karşılık gelen sıcaklığı baş bileşenin sıcaklığı olarak almışlardır. Bu değer Zhang vd. (2009) tarafından 6450 K olarak verilmiş, ancak kullanılan kalibrasyon tablolarına bakıldığında A4 tayf türünden bir yıldızın sıcaklığının 8180 K'den büyük olması gerektiği görülmüştür. Bu çalışmada ise baş bileşenin sıcaklığı hem Johnson Q-yöntemi ile hem de sistemin 0.51 evresinde alınmış bir tayfi kullanılarak bulunmuştur. Yoldaş bileşenin sıcaklığı Zhang vd. (2009) tarafından 4790 ± 15 K, bu çalışmada ise 4949 ± 12 K bulunmuştur. Bu parametre için sonuçların birbirine oldukça yakın olmasından dolayı Zhang vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada baş bileşenin sıcaklığı >8200 K alınarak çözüme ulaşıldığı ancak makalede

yanlış yazılmış olabileceği sonucuna varılmıştır. Sistemin tam bir dikine hız eğrisi elde edilemediğinden kütle oranı, farklı bantlarda alınmış bütün gözlemler kullanılarak i-q taraması sonucu elde edilmiştir. Zhang vd. (2009) ise bu tür bir taramayı sadece V bandına ilişkin gözlemleri kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Tam tutulma gösteren sistemler için bu tür tarama sonuçlarının son derece güvenilir kütle oranı değerleri verdiği bilinmektedir (Terrell ve Wilson 2005). Tam tutulma göstermeyen sistemlerde ise belirlenen kütle oranı değerlerinde çeşitli belirsizlikler bulunabilir. Zhang vd. (2009) tarafından belirlenen kütle oranı 0.274 ± 0.002 iken bu çalışmada 0.532 ± 0.003 bulunmuştur. Yörünge eğim açısı ise Zhang vd. (2009) tarafından $78^\circ.42 \pm 0^\circ.03$ hesaplanmış, bu çalışmada ise $73^\circ.274 \pm 0^\circ.03$ hesaplanmıştır. Sistemin dikine hız eğrisi tamamlandığında daha güvenilir sonuçlara ulaşılabacaktır.

Frekans analizinin ardından her iki sistem için bulunan baskın zonklama frekanslarına karşılık gelen dönemler kullanılarak EW Boo ve IU Per, Liakos vd. (2012) tarafından Çizelge 2.1’de verilen sistemler için oluşturulup Şekil 2.4’te verilen $\log P_{orb} - \log P_{puls}$ grafiğinde yerleştirilmiştir. Bu işlemin sonucu Şekil 5.1’de verilmektedir. Görüldüğü gibi frekans analizi ile bulunan sonuçlar oEA türü sistemler için bulunan sonuçlarla son derece uyumludur. Daha önceden belirtildiği gibi, EW Boo ve IU Per oEA türü sistemler içerisinde neredeyse en kısa yörünge dönemine sahip sistemlerdir. Dolayısıyla bu sistemler, beklendiği gibi $\log P_{orb} - \log P_{puls}$ grafiğinde kısa yörünge ve kısa zonklama dönemlerinin bulunduğu sol alt kısımda bulunmaktadır.

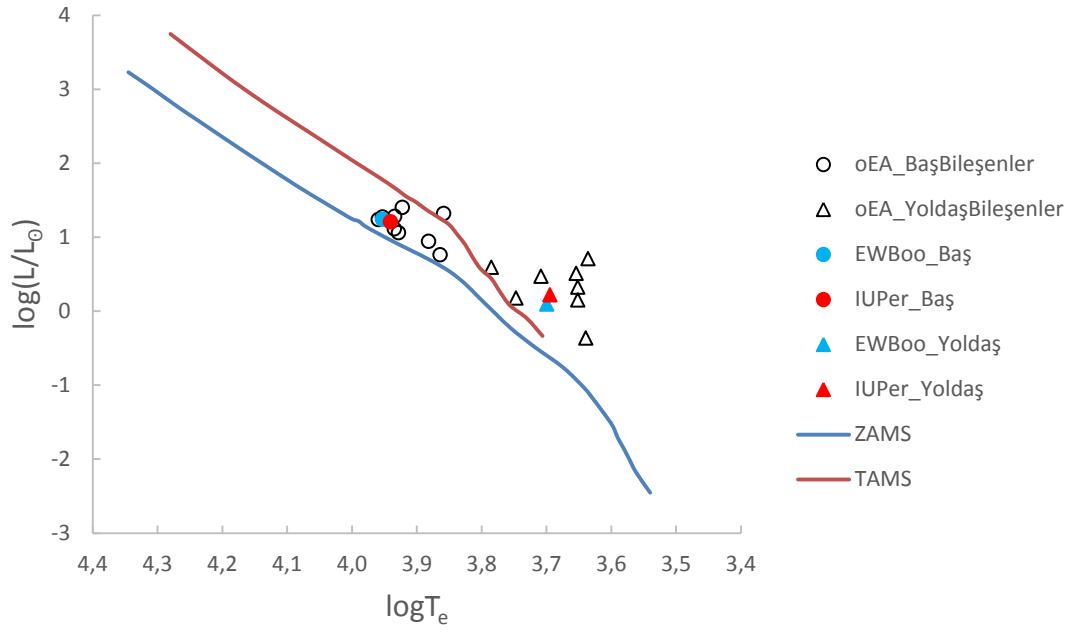
Bu tez çalışmasında her iki sistemin elde edilen kütle ve yarıçap değerleri $\log M - \log R$ diyagramına göre ZAMS-TAMS limitleri içerisinde kalmaktadır (bkz. Şekil 2.8). Ayrıca baskın zonklama frekansları ZAMS-TAMS limitleri içinde kalan oEA yıldızlarının baskın zonklama frekansları ile de uyumludur (bkz. Şekil 2.7).



Şekil 5.1 EW Boo ve IU Per sistemlerinin $\log P_{orb}-\log P_{puls}$ diyagramındaki konumları

Analizler sonucu bulunan mutlak parametreler kullanılarak EW Boo ve IU Per sistemlerinin baş ve yoldaş bileşenleri, Soyduğan vd. (2006a) tarafından verilen ve Şekil 1.6'da gösterilen oEA türü sistemlerin bileşenleri ile birlikte HR diyagramında yerine konulmuş ve Şekil 5.2 elde edilmiştir. Buna göre her iki sistemde de baş bileşenler anakolda bulunurken yoldaş bileşenlerin anakoldan ayrılarak devler koluna doğru hareket ettiği görülebilmektedir. Bu da yoldaş bileşenlerin hem yarı ayrık Algol hem de oEA türü sistemlerde beklendiği gibi evrimleşmiş veya evrimleşmekte olan yıldızlar olduğunu doğrulamaktadır.

Bu tür sistemlerde yoldaş bileşen tarafından aktarılan veya atılan kütle nedeniyle dönem değişimi yanında zonklayan bileşenin zonklama frekanslarında değişimler olması beklenmektedir. Ele alınan sistemlerin gelecekte gerçekleştirilecek yeni gözlemleri ile dönem değişimi yanında frekans değişimlerinin elde edilmesi ve bu değişimlerin kütle aktarım miktarları ile ilişkilendirilmesi mümkün olabilir.



Şekil 5.2 EW Boo ve IU Per sistemlerindeki bileşenlerin diğer oEA türü sistemlerin bileşenleri ile birlikte HR diyagramındaki konumları. ZAMS ve TAMS çizgileri Girardi vd. (2000)'den alınmıştır.

KAYNAKLAR

- Antonello, E. and Pastori, L. 1981. The distribution of pulsation constants Q of Delta Scuti stars. *PASP*, 93, 237-238.
- Breger, M. 1979. Delta Scuti and Related Stars. *PASP*, 91, 5-26.
- Breger, M., Stich, J., Garrido, R., Martin, B., Jiang, S. Y., Li, Z. P., Hube, D. P., Ostermann, W., Paparo, M., Scheck, M. 1993.. Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Bu-Candri in the Praesepe Cluster. *A&A* 271, 482
- Breger, M. 2000. δ Scuti Stars (Review). *ASPC*, 210, 3.
- Brogia, P. and Marin, F. 1974. Y Cam: an eclipsing system with a Delta Scuti primary. *A&A*, 34, 89-97.
- Budding, E. 1986. Classical Algol Systems (Invited Review). *Ap&SS*, 118, 241-255.
- Christensen-Dalsgaard J. 2003, Lecture Notes on Stellar Oscillations, Fifth Edition, <http://users-phys.au.dk/jcd/oscilnotes/> Erişim Tarihi: 10.03.2014.
- Claret, A. 1999. A New Method for Calculating Gravity-Darkening Using Interior Models: Convective and Radiative Envelopes. *ASPC*, 173, 277.
- Cox, A. N. 2000. Allen's Astrophysical Quantities. The Athlone Press, 721, London.
- Eggleton, P. P. 2013. Approximations to the radii of Roche lobes. *ApJ*, 268, 368-369.
- Fernie, J. D. 1995. The Period-Gravity Relation for Radially Pulsating Variable Stars. *AJ*, 110, 2361.
- Fitch, W. S. 1981. $l=0, 1, 2$ and 3 Pulsation Constants for Evolutionary Models of Delta-Scuti Stars. *ApJ*, 249, 218.
- Frolov, M. S., Pastukhova, E. N., Mironov, A. V., Moshkalev, V. G. 1980. On the Interconnection of the Pulsational and Orbital Period Values for Binary Systems. *IBVS*, 1894, 1.
- Gamarova, A. Y., Mkrtichian, D. E., Rodriguez, E., Costa, V., Lopez-Gonzalez, M. J. 2003. Application of the Spatial Filtration Method to RZ Cas. *ASPC*, 292, 369.
- Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C. 2000. *A&AS*, Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 M_{sun} , and from $Z=0.0004$ to 0.03, 141, 371-383.
- Gürol, B., Derman, E., Çağlar, H., Cuhacı, L., Demircan, Y., Gökay, G. 2008. IRAF ve Tayfsal İndirgeme, IV. Temel Bilimler Lisansüstü Yazokulu. ISBN 978-605-4233-08-3. İstanbul.
- Hadrava, P. 1995. Orbital elements of multiple spectroscopic stars. *A&AS*, 114, 393.
- Hadrava, P. 2009. Disentangling of spectra - theory and practice. *arXiv*, 909, 172.

- Handler, G. 2006. CoAst. Observational aspects of asteroseismology, 147, 31.
- Hoffman, D. I., 2009. Automated variable star classification and the pulsation properties of eclipsing delta Scuti stars. PhD Thesis, (Proquest Dissertations And Theses 2009, Section 0143, Part 0606) New Mexico State University, Department of Astronomy, 172, New Mexico-USA.
- Jacoby, G. H., Hunter, D. A., Christian, C. A. 1984. A library of stellar spectra. ApJS, 56, 257-281.
- Johnson, H. L., 1958. The intrinsic colors of early-type stars. LowOB, 4, 37.
- Kim, S.L., Lee, J. W., Koo, J.R., Kang, Y. B., Mkrtichian, D. E. 2005. Discovery of a Short-Periodic Pulsating Component in the Algol-Type Eclipsing Binary System IU Per. IBVS, 5629, 1.
- Lampens, P., Strigachev, A., Kim, S.L., Rodríguez, E., López-González, M. J., Vidal-Saínz, J., Mkrtichian, D., Koo, J.R., Kang, Y. B., van Cauteren, P., Wils, P., Kraicheva, Z., Dimitrov, D., Southworth, J., García Melendo, E., Gómez Forellad, J. M. 2011. Multi-site, multi-year monitoring of the oscillating Algol-type eclipsing binary CT Herculis. A&A, 534, 111.
- Lang, K. R. 1992. Astrophysical data: planets and stars. Springer-Verlag, 937, New York.
- Lehmann, H. and Mkrtichian, D. E. 2004. The eclipsing binary star RZ Cas. I. First spectroscopic detection of rapid pulsations in an Algol system. A&A, 413, 293-299.
- Lenz P. and Breger M. 2005. Period04 User Guide. CoAst, 146, 53
- Liakos, A., Niarchos, P., Soyduğan, E., Zasche, P. 2012. Survey for δ Sct components in eclipsing binaries and new correlations between pulsation frequency and fundamental stellar characteristics. MNRAS, 422, 1250-1262.
- Liakos, A. and Niarchos, P. 2013. The oEA stars QY Aql, BW Del, TZ Dra, BO Her and RR Lep: photometric analysis, frequency search and evolutionary status. Ap&SS, 343, 123-133.
- Lucy, L. B. 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. ZA 65, 89.
- McInally, C. J. and Austin, R. D. 1977. RS Cha: a delta Scuti Variable. IBVS, 1334, 1.
- McNamara, D. H. 2011. Delta Scuti, SX Phoenicis, and RR Lyrae Stars in Galaxies and Globular Clusters. AJ, 142, 110.
- Mkrtichian, D. E., Kusakin, A. V., Gamarova, A. Y., Nazarenko, V. 2002a. Pulsating Components of Eclipsing Binaries: New Asteroseismic Methods of Studies and Prospects. ASPC, 259, 96.
- Mkrtichian, D. E., Kusakin, A. V., Gamarova, A. Y., Rodriguez, E., Kim, S. L., Kim, C., Janiashvili, E. B., Kuratov, K. S., Mukhamednazarov, S. 2002b. The Central

- Asian Network collaboration: first results on studies of pulsating components of eclipsing binaries. ASPC, 256, 259.
- Mkrtychian, D. E., Rodriguez, E., Olson, E. C., Kusakin, A. V., Kim, S. L., Lehmann, H., Gamarova, A. Y., Rovithis-Livaniou, H. 2003. Pulsations in Algols. ASPC, 292, 113.
- Mkrtychian, D. E., Rodriguez, E., Olson, E. C., Kusakin, A. V., Kim, S. L., Lehmann, H., Gamarova, A. Y., & Kang, Y. W. 2005. Pulsations in eclipsing binaries. ASPC, 333, 197.
- Mkrtychian, D. E., Kim, S.-L., Kusakin, A. V., Rovithis-Livaniou, E., Rovithis, P., Lampens, P., van Cauteren, P., Shobbrook, R. R., Rodriguez, E., Gamarova, A. Y., Olson, E. C., & Kang, Y. W. 2006. A Search for Pulsating, Mass-Accreting Components in Algol-Type Eclipsing Binaries. *Ap&SS*, 304, 169-171.
- Mkrtychian, D. E., Rodriguez, E., Olson, E. C., Kusakin, A. V., Kim, S. L., Lehmann, H., Gamarova, A. Yu., & Kang, Y. W. 2007. The oEA Stars. ASPC, 370, 194.
- Morgan, W. W., Harris, D. L., Johnson, H. L. 1953. Some Characteristics of Color Systems. *ApJ*, 118, 92.
- Percy, J. R. 2007. *Understanding Variable Stars*. Cambridge University Press, 121-122, New York.
- Petersen, J. O. and Christensen-Dalsgaard, J. 1999. Pulsation models of delta Scuti variables. II. delta Scuti stars as precise distance indicators. *Astronomy & Astrophysics*, 352, 547-554.
- Pickles, A. and Depagne, E. 2010. All-Sky Spectrally Matched UBVRI-ZY and u'g'r'i'z' Magnitudes for Stars in the Tycho2 Catalog. *PASP*, 122, 1437-1464.
- Pigulski, A. and Michalska, G. 2007. Pulsating Components of Eclipsing Binaries in the ASAS-3 Catalog. *Acta Astronomica*, 57, 61-72.
- Prša, A. and Zwitter, T. 2005. A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives. *ApJ*, 628, 426-438.
- Qian, S. 2001. Possible Mass and Angular Momentum Loss in Algol-Type Binaries. III. TU Cancri, FZ Delphini, AY Geminorum, VZ Leonis, FH Orionis, IU Persei, XZ Persei, and BE Vulpeculae. *AJ*, 121, 1614-1622.
- Rodriguez, E., López-González, M. J., Lopez de Coca, P. 2000. Delta Sct variables: a new updated list. *DSSN*, 14, 12.
- Rodríguez, E., García, J. M., Mkrtychian, D. E., Costa, V., Kim, S. L., López-González, M. J., Hintz, E., Kusakin, A. V., Gamarova, A. Y., Lee, J. W., Youn, J. H., Janiashvili, E. B., Garrido, R., Moya, A., Kang, Y. W. 2004a. δ Sct-type pulsations in eclipsing binary systems: RZ Cas. *MNRAS*, 347, 1317-1326.

- Rodríguez, E., García, J. M., Gamarova, A. Y., Costa, V., Daszyńska-Daszkiewicz, J., López-González, M. J., Mkrtichian, D. E., Rolland, A. 2004b. δ Sct-type pulsations in eclipsing binary systems: AB Cas. *MNRAS*, 353, 310-318
- Rodríguez, E., García, J. M., Costa, V., Lampens, P., van Cauteren, P., Mkrtichian, D. E., Olson, E. C., Amado, P. J., Daszyńska-Daszkiewicz, J., Turcu, V., Kim, S. L., Zhou, A. Y., López-González, M. J., Rolland, A., Díaz-Fraile, D., Wood, M. A., Hintz, E., Pop, A., Moldovan, D., Etzel, P. B., Casanova, V., Sota, A., Aceituno, F. J., Lee, D. J. 2010. δ Sct-type pulsations in eclipsing binary systems: Y Cam. *MNRAS*, 408, 2149-2162.
- Rucinski, S. M. 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. *AcA* 19, 245.
- Rucinski, S. M. 1999. Determination of Broadening Functions Using the Singular-Value Decomposition (SVD) Technique. *ASPC*, 185, 82.
- Soydugan, E., İbanoğlu, C., Soydugan, F., Akan, M. C., Demircan, O. 2006a. The connection between the pulsational and orbital periods for eclipsing binary systems. *MNRAS*, 366, 1289-1294.
- Soydugan, E., Soydugan, F., Demircan, O., İbanoğlu, C. 2006b. A catalogue of close binaries located in the δ Scuti region of the Cepheid instability strip. *MNRAS*, 370, 2013-2024.
- Soydugan, E., Tuysuz, M., Bakış, V., Soydugan, F., Senyuz, T., Bilir, S., Frasca, A., Donmez, A., Kacar, Y., Demircan, O. 2008. The preliminary results of the eclipsing binary system EW Boo with a δ Scuti component. *CoAst*, 157, 379-380.
- Soydugan, E. and Kaçar, Y. 2013. Binarity and Pulsation in Algol-type Binary System SX Draconis. *AJ*, 145, 87.
- Straizys, V. 1999. Photometric Systems and Stellar Parameters. *Baltic Astronomy*, 8, 505-534.
- Tempesti, P. 1971. The Eclipsing Binary AB Cassiopeiae as a delta Scuti Star. *IBVS*, 596, 1.
- Terrell, Dirk and Wilson, R. E. 2005. Photometric Mass Ratios of Eclipsing Binary Stars. *Ap&SS*, 296, 221.
- Tsvetkov, T. G. and Petrova, T. C. 1993. Masses and ages of Delta Scuti stars in eclipsing binary systems. *Ap&SS*, 203, 257-266.
- van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. *AJ*, 106, 2096.
- van Hamme, W. and Wilson, R.E. 2003. Stellar atmospheres in eclipsing binary models. *GAIA Spectroscopy: Science and Technology*, ASP Conf. Ser., vol. 298, p. 323.

- von Zeipel, H. 1924. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses. MNRAS 84, 665
- Wilson, R.E. and Devinney, R.J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. ApJ 166, 605.
- Zhang, X. B., Zhang, R. X, Li, Q. S. 2009. The semi-detached binary system IU Per and its intrinsic oscillation. Research in Astronomy and Astrophysics, 9, 422-430.
- Zhang, X. B., Luo, C. Q., Fu, J. N. 2013. On The Pulsational-Orbital-Period Relation Of Eclipsing Binaries With δ -Sct Components. ApJ, 777, 77.
- Zhou, A. Y. 2010. Pulsating Components in Binary and Multiple Stellar Systems -- A Catalog of Oscillating Binaries. arXiv, 1002, 2729.

EK 1 Çapraz korelasyon ve genişleme fonksiyonu yöntemleri ile bulunan dikine hız değerleri

		Çapraz Korelasyon			Genişleme Fonksiyonu	
HJD (2400000+)	Evre	RV1 (km/sn)	σ RV1 (km/sn)	RV2 (km/sn)	RV1 (km/sn)	RV2 (km/sn)
EW Boo						
56371.45386	0.219	-44.2	8.7	211.2	-34.4	211.5
56371.46377	0.230	-37.4	12.1	224.6	-23.0	213.3
56371.47961	0.247	-43.8	11.5	216.9	-27.7	233.8
56372.36761	0.227	-25.4	12.2	216.3	-23.9	247.1
56372.37930	0.240	-36.4	10.0	179.4	-37.0	234.8
56372.39452	0.257	-37.2	14.7	220.0	-41.4	237.1
56372.40602	0.270	-39.6	12.1	215.8	-36.7	208.9
56372.41788	0.283	-38.8	13.1	190.7	-38.9	206.8
56372.43284	0.299	-37.1	12.1	201.6	-35.9	179.7
56372.45589	0.325	-26.4	11.8	198.0	-24.7	213.2
56372.47323	0.344	-37.9	7.7	183.9	-32.8	157.2
56372.48900	0.361	-31.9	13.5	189.0	-26.3	253.4
56372.50394	0.378	-19.4	9.7	189.3	-19.7	-
56376.34307	0.613	69.4	16.9	-157.3	65.2	-186.8
56376.35261	0.624	67.8	22.2	-167.2	72.6	-188.2
56376.37398	0.648	46.9	11.5	-177.4	34.4	-
56376.40184	0.678	83.0	10.0	-174.1	81.1	-179.6
56376.41567	0.693	84.0	10.9	-183.8	83.0	-187.2
56376.43160	0.711	86.2	13.4	-175.4	82.1	-196.4
56376.44654	0.728	79.7	14.4	-160.5	77.5	-205.4
56376.46774	0.751	67.1	13.3	-184.9	74.5	-210.6
56376.48266	0.767	79.5	13.6	-186.8	76.0	-199.7
56376.53094	0.821	65.7	12.0	-186.0	70.7	-193.5
56376.54588	0.837	63.5	12.5	-179.7	63.6	-190.5
56376.56076	0.854	49.2	10.9	-163.5	58.0	-171.9
56376.58061	0.875	46.9	12.7	-152.8	54.1	-142.1
56376.59555	0.892	38.1	6.6	-146.5	42.9	-106.7
56481.29323	0.408	-20.8	15.3	159.8	-21.5	215.0
56481.30830	0.424	-33.2	15.4	179.2	-34.2	235.9
56481.32322	0.441	-54.9	17.6	-	-57.3	-
56481.34171	0.461	-18.3	12.2	-	-21.4	-
56481.35665	0.477	-29.7	15.0	-	-32.1	-
56481.37159	0.494	-31.9	14.7	-	-34.3	-

EK 1 Çapraz korelasyon ve genişleme fonksiyonu yöntemleri ile bulunan dikine hız değerleri (devam)

		Çapraz Korelasyon			Genişleme Fonksiyonu	
HJD (2400000+)	Evre	RV1 (km/sn)	σ RV1 (km/sn)	RV2 (km/sn)	RV1 (km/sn)	RV2 (km/sn)
EW Boo						
56481.38654	0.510	-26.2	16.9	-	-34.4	-
56481.41117	0.538	-9.0	13.0	-	-13.7	-
56481.43033	0.559	21.2	13.8	-	19.5	-
56481.44526	0.575	27.3	12.8	-162.7	21.6	-97.8
56481.46016	0.592	39.2	15.9	-176.1	31.1	-
56482.28390	0.501	25.6	13.0	-	22.8	-
56482.30276	0.521	8.7	14.2	-	7.3	-
56482.31769	0.538	-15.4	17.3	-	-16.1	-
56482.34282	0.566	33.5	16.1	-	29.4	-
56482.35775	0.582	38.0	13.6	-	29.3	-151.3
56482.37264	0.598	34.8	15.6	-	31.0	-
56482.39917	0.628	111.1	15.5	-125.2	89.6	-161.3
56482.41410	0.644	112.6	14.9	-115.8	94.3	-141.1
56482.43508	0.667	70.5	15.6	-179.5	67.3	-188.7
56482.45001	0.684	69.7	16.8	-168.0	61.2	-204.0
56482.46489	0.700	73.1	21.9	-180.5	73.4	-207.4
IU Per						
56481.51789	0.493	-24.9	16.2	-	-36.0	-
56481.53307	0.510	3.9	25.5	-	-3.0	-
56482.52533	0.668	12.5	16.6	-257.9	11.8	-283.9
56482.54524	0.691	24.0	16.4	-250.4	30.7	-

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Burak DOĞRUEL
Doğum Yeri : Ankara
Doğum Tarihi : 25.03.1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce

Öğrenim Durumu

Lise : Ankara Gölbaşı Anadolu Lisesi (1999-2002)
Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü (2004-2008) Anadal, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Matematik Bölümü (2007-2009) Çift Anadal
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı (Şubat 2011-Temmuz 2014)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Araştırma Görevlisi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ağustos 2011-

Yayınlar

Gokay, G., Demircan, Y., Gursoytrak, H., Terzioğlu, Z., Okan, A., **Dogruel, M. B.**; Saral, G., Cerit, S., Semuni, M., Kilic, Y., Coker, D., Derman, E., Gurol, B., 2012. Minima Times of Some Eclipsing Binary Stars, IBVS, 6039, 1.

Ulusal Kongre Sunum

Doğruel, M. B., 2012. SN2012 AW Süpernovasının Fotometrik İncelemesi. XVIII. Ulusal Astronomi ve Uzay Bilimleri Kongresi (27 Ağustos – 1 Eylül 2012) Bildiri Kitabı, s.499-502, Malatya.