

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BAZI W UMa TÜRÜ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN IŞIK EĞRİSİ VE (O – C) ANALİZİ

Nalan ÖZBEK

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Birol GÜROL

Bu çalışmada TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) T40 teleskopu ve ona bağlı AP7p CCD'si ile gözlenen GSC 2751-1007 ve FI Boo sistemlerinin B, V ve R bandlarındaki ışık eğrilerinin analizi yapılmıştır. Bu analizler sonucunda sistemlere ilişkin geometrik ve fiziksel parametreler hesaplanmış ve literatüre yeni minimum zamanları kazandırılmıştır. Literatürden toplanan minimum zamanları yeni elde edilenlerle beraber (O-C) analizlerinden geçirilmiş ve gözlenen sistemler için yeni ışık elemanları hesaplanmıştır. Işık eğrisi analizleri Wilson-Devinney programının 2003 sürümü ile gerçekleştirilmiştir. GSC 2751-1007 sisteminin W-türü ve FI Boo sisteminin ise A-türü W UMa sistemi olduğu ortaya çıkmıştır.

**2006, 100 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Örtün çift yıldız sistemleri, Işık eğrisi analizi, Dönem analizi, GSC 2751-1007, FI Bootis.

## ABSTRACT

Master Thesis

### THE PHOTOMETRIC ANALYSIS OF SOME ECLIPSING BINARY STARS

Nalan ÖZBEK

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Asist. Prof. Dr. Birol GÜROL

In this study, the light curves of GSC 2751-1007 and FI Boo in B, V and R bands which are obtained at TUBITAK National Observatory (TUG) using the T40 telescope and AP7p CCD Camera were analyzed. Geometric and physical parameters of systems were derived and new minima times were calculated. These minima times and minima times of these systems in the literature used for deriving new light elements. The light curves were analysed with the 2003 version of Wilson-Devinney code. The analysis results showed that, GSC 2751-1007 system is a W-subtype and FI Boo system is an A-subtype W-UMa systems.

**2006, 100 pages**

**Key Words:** eclipsing binary stars, light curve analysis, period analysis, GSC 2751-1007, FI Bootis.

## TEŞEKKÜR

Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri bölümüne başladığım yıllardan bugüne kadar tüm bilgi birikimini esirgemeyip benimle paylaşarak beni bir hamur gibi işleyip iyi bir araştırmacı olmam için yoğun emek ve zaman harcayan, sorduğum tüm sorulara bıkmadan yanıt veren, yüksek lisans öğrenimim boyunca yaşadığım sağlık sorunlarımda hep yanımda olan değerli hocam Yrd. Doç. DR. Birol GÜROL'a, yüksek lisans tezimin temelini oluşturan gözlemleri yapmam için bana olanak sağlayan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi yöneticileri ve tüm ekibine, gözlemlere kar kış demeden benimle birlikte gelen arkadaşlarım Gonca SALMAN'a, Rahşan KALCI'ya, Uğurcan SAĞIR'a, akademik öğrenimim süresince başta Yrd.Doç.Dr.Zekeriya MÜYESSEROĞLU olmak üzere emeği geçen tüm hocalarıma, tez hazırlama sürecinde yardımlarını esirgemeyen Zahide TERZİOĞLU ve Gökhan GÖKAY'a, burada adlarını yazamadığım tüm arkadaşlarıma, en çok da doğduğum günden beri sevgilerini, şefkatlerini hep çoğaltarak gösteren, yapmak istediğim her konuda sonuna kadar destek olan, bana her zaman güvenen, bugüne kadar aldığım eğitim ve öğretimler için maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Zekiye ÖZBEK'e, babam M. Çetin ÖZBEK'e, ablam A. Canan GÜNEŞ'e, abim İ.Atilla GÜNEŞ'e sonsuz teşekkür ederim.

Nalan ÖZBEK

Ankara, Ekim 2006

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Çift Yıldız Sistemleri.....	3
2.2 Örtün Çift Yıldızlar.....	6
2.3 Işık Eğrisinin Biçimine Göre Çift Yıldız Türleri.....	8
2.3.1 Algol türü sistemler.....	8
2.3.2 $\beta$ Lyr türü sistemler.....	9
2.3.3 W UMa türü sistemler.....	9
2.4 Roche Modeli ve Bu Modele Göre Sınıflama.....	21
2.5 Işık Eğrisinin Biçimine Etkide Bulunan Parametreler.....	23
2.5.1 Kenar kararması.....	24
2.5.2 Yansıma etkisi.....	25
2.5.3 Çekim kararması.....	25
2.5.4 Basıklaşma.....	26
2.6 Wilson-Devinney Analiz Programı.....	26
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1 Materyal.....	31
3.2 Yöntem.....	31
4. KAYNAK ÖZETLERİ.....	34
4.1 GSC 2751-1007 Çift Yıldız Sistemin İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	34
4.2 FI Bootis Çift Yıldız Sistemin İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar.....	35
5. BULGULAR.....	38
5.1 GSC 2751-1007 Çift Yıldız Sistemiyle İlgili Bulgular.....	38
5.1.1 Gözlemler.....	38
5.1.2 Dönem analizi.....	40
5.1.3 Işık eğrisi analizi.....	42
5.1.4 Mutlak parametreler.....	51
5.2 FI Bootis Çift Yıldız Sistemiyle İlgili Bulgular.....	57
5.2.1 Gözlemler.....	57
5.2.2 Dönem analizi.....	59
5.2.3 Işık eğrisi analizi.....	63
5.2.4 Mutlak parametreler.....	66
6. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	73
EKLER.....	82
Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri.....	83
Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	100

## SİMGELER DİZİNİ

$M_1, M_2$	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin kütlesi
$T_1, T_2$	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin etkin sıcaklıkları
$L_1, L_2$	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin ışıınım güçleri
$R_1, R_2$	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin yarıçapları
$\Omega_1, \Omega_2$	Sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin yüzey potansiyeli
$q(=m_2/m_1)$	Kütle oranı
$AB$	Astronomi birimi, $149.5 \times 10^6$ km
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi, $1.99 \times 10^{33}$ gr
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı, $6.96 \times 10^5$ km
$L_{\odot}$	Güneşin ışıınım gücü, $3.83 \times 10^{33}$ erg.sn <sup>-1</sup>
$\alpha$	Yıldızın sağaçıklığı
$\delta$	Yıldızın dikaçıklığı
$G$	Evrensel çekim sabiti, $6.673 \times 10^{-8}$ dyn cm <sup>2</sup> g <sup>-2</sup>
$F$	Kendi eksenini etrafındaki dönme hızının, yörüngede dolanma hızına oranı
$g$	Yüzey çekim ivmesi ( $g=GM/R^2$ )
$x$	Kenar kararırma katsayısı
$A$	Bolometrik albedo
$L_3$	Üçüncü ışık
$V_r$ (km/sn)	Dikine hız
$i(^{\circ})$	Yörünge düzleminin bakış doğrultumuza dik düzlem ile yaptığı açı
$M_{bol}$	Bolometrik mutlak parlaklık
$a(R_{\odot})$	Yörünge yarı büyük eksen uzunluğu
EA, EB, EW	Sırasıyla Algol, $\beta$ Lyr ve W UMa türü örten çift sistemlerin kısa gösterimleri
$HJD$	Güneş merkezli Jülyen günü
$T_0$	Başlangıç minimum zamanı
$P(gün)$	Sistemin yörünge dönemi
$I$	Yıldızın merkezinden salınan ışıınım şiddeti
$I_0$	Yıldızın kenarlarından salınan ışıınım şiddeti
$\gamma$	Gözlemcinin bakış doğrultusu ile yıldızın yarıçap vektörü arasındaki açı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çift yıldız sistemlerinde bileşen yıldızların yörüngeleri.....	4
Şekil 2.2 Çift yıldız sistemlerinde tutulma koşulu .....	7
Şekil 2.3 Algol türü çift sistemin ışık eğrisi .....	8
Şekil 2.4 $\beta$ Lyr türü çift sistemin ışık eğrisi .....	9
Şekil 2.5 W UMa türü çift yıldızların ışık eğrisi .....	10
Şekil 2.6 GCVS’de bulunan toplam 400 adet W UMa türü sistemin dönem dağılımı (Maceroni et al 1985).....	11
Şekil 2.7 A-türü sistemlerin dikine hız eğrisine örnek olarak AW UMa sisteminin dikine hız eğrisi (İçi dolu daireler baş yıldızın, içi boş daireler yoldaş yıldızın dikine hız değişimini gösterir) (McLean 1981).....	13
Şekil 2.8 W-türü sistemlerin dikine hız eğrisine örnek olarak W UMa sisteminin dikine hız eğrisi (İçi dolu daireler baş yıldızın, içi boş daireler yoldaş yıldızın dikine hız değişimini gösterir) (McLean 1981).....	13
Şekil 2.9 Literatürde bulunan kütle-ışınım gücü bağıntılarına ilişkin teorik ışık eğrileri.....	15
Şekil 2.10. a. A-türü sistemler için, b. W-türü sistemler için tayfsal ve fotometrik kütle oranı değişimi (Awadalla and Hanna, 2005).....	17
Şekil 2.11 W- ve A-türü W UMa sistemleri için fotometrik kütle oranına göre yarıçaplar oranının değişimi (Awadalla and Hanna, 2005).....	17
Şekil 2.12. a. A-türü sistemler için, b. W-türü sistemler için toplam açısız momentumun toplam kütleye göre değişimi (Awadalla and Hanna 2005).....	19
Şekil 2.13 $q=0.2$ için hesaplanan Roche eşpotansiyel yüzeyleri (Köppen, 2001).....	22
Şekil 2.14 Çift yıldızların Roche modeline göre sınıflandırılması (Kopal, 1959).....	23
Şekil 2.15 Kenar kararırma etkisi.....	24
Şekil 4.1 Maciejewski et al. (2004) tarafından GSC 2751-1007 sisteminin gözlenen tayfi .....	34

Şekil 4.2 FI Boo sisteminin dikine hız eğrisi (Lu et al. 2001).....	36
Şekil 5.1 GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde gözlenen ışık ve (B-V), (V-R) renk eğrileri.....	39
Şekil 5.2 GSC 2751-1007 sistemi için çizilen (O-C) değişimi. Geçmiş zamanlara ilişkin sadece tek bir minimum zamanı bulunmaktadır. Bütün minimum zamanları dikkate alınarak gerçekleştirilen fit şekilde verilmiştir.....	41
Şekil 5.3 GSC 2751-1007 sistemi için farklı yörünge eğim açıları ve q (kütle oranı) değerleri dikkate alınarak B, V ve R bandı için gerçekleştirilen i-q taraması sonucu.....	46
Şekil 5.4 $q=0.296$ için elde edilen gözlemsel ve teorik ışık eğrisi.....	50
Şekil 5.5 $q=3.785$ için çözüm elde edilen gözlemsel ve teorik ışık eğrisi.....	50
Şekil 5.6.a. $q=0.296$ için, b. $q=3.785$ için elde edilen Roche geometrisi.....	51
Şekil 5.7 W UMa türü sistemler için kütle-ışınım gücü dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde GSC 2751-1007 sisteminin konumu.....	55
Şekil 5.8 W UMa türü sistemler için kütle-yarıçap dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde GSC 2751-1007 sisteminin konumu.....	56
Şekil 5.9 FI Bootis sisteminin B, V ve R filtrelerinde gözlenen ışık ve (B-V), (V-R) renk eğrileri.....	59
Şekil 5.10 FI Boo sistemine ait tüm minimum zamanlarından hesaplanan (O-C) değişimi (içi boş noktalar birinci minimumu, içi dolu noktalar ikinci minimumu göstermektedir)..	61
Şekil 5.11 FI Boo sistemi için Lu et al. (2001) tarafından yayınlanan dikine hız eğrisinin Denk. 5.8'de verilen ışık elemanları kullanılarak hesaplanan dikine hız değişimi.....	62
Şekil 5.12 B,V ve R bantlarında elde edilen gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri.....	66
Şekil 5.13 Sistemin 0.24 evresindeki Roche geometrisi.....	66
Şekil 5.14 W UMa türü sistemler için kütle-ışınım gücü dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde FI Bootis sisteminin konumu.....	69
Şekil 5.15 W UMa türü sistemler için kütle-yarıçap dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde FI Bootis sisteminin konumu.....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 A- ve W-türü W UMa sistemlerin genel özellikleri (Rucinski 1973, 1974 ve Maceroni et al. 1985).....	14
Çizelge 2.2 Araştırmacılar tarafından verilen $\alpha$ değerleri.....	16
Çizelge 4.1 FI Boo sisteminin çözüm parametreleri (Terrell et al. 2006).....	37
<a href="#">Çizelge 5.1 Değişen, mukayese ve denet yıldızına ait parametreler.....</a>	<a href="#">39</a>
<a href="#">Çizelge 5.2 GSC 2751-1007 sisteminin ışık eğrisine ilişkin özellikler.....</a>	<a href="#">40</a>
<a href="#">Çizelge 5.3 GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan yeni minimum zamanları.....</a>	<a href="#">40</a>
Çizelge 5.4 GSC 2751-1007 sisteminin iki farklı kütle oranı dikkate alınarak elde edilen çözüm parametreleri.....	49
Çizelge 5.5 Yörünge dönemi GSC 2751-1007 sisteminin yörünge dönemine yakın olan W-türü W UMa sistemleri.....	52
Çizelge 5.6 GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan fiziksel parametreler.....	54
Çizelge 5.7 Değişen, mukayese ve denet yıldızına ait parametreler.....	58
Çizelge 5.8 FI Boo sisteminin ışık eğrisine ilişkin özellikler.....	58
Çizelge 5.9 FI Bootis sistemine ilişkin hesaplanan ve literatürden toplanan tüm minimum zamanları.....	60
Çizelge 5.10 FI Bootis çift yıldız sisteminin çözüm parametreleri.....	65
Çizelge 5.11 FI Bootis sistemin mutlak parametreleri.....	68



## 1. GİRİŞ

Ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketinde bulunan ve çekim kuvvetiyle birbirlerine bağlı iki yıldızdan oluşmuş sistemler çift yıldızlar olarak adlandırılır. Çift yıldızların gözlemlerinin analizleri sonucunda bileşen yıldızlara ilişkin kütle, yarıçap, ışınım gücü vb temel fiziksel parametreler hesaplanabilmektedir. Yıldızların fiziksel parametrelerinin bilinmesi, birbirleri ile karşılaştırılmalarında, evrimlerinin anlaşılmasında ve evrenin yapısının belirlenmesinde büyük öneme sahiptir.

Örten çift yıldız sistemleri, bileşen yıldızların birbirleri etrafında dolanırken birbirlerini örtmeleri sonucu ışık değişimi gösteren çift yıldız sistemleridir. Günümüz teknolojisi ile gözlemleri en kolay gerçekleştirilebilen sistemler örten çift yıldız sistemleridir. Yapılan incelemeler sonucunda örten çift yıldızların zamana bağlı olarak ışık (veya parlaklık) değişimlerinin üç ayrı grupta toplanabileceği ortaya çıkmıştır. Bu gruplardan biri olan W UMa türü çift yıldız sistemleri, ışık eğrilerinin minimumları dışında kalan kısımlarında bileşen yıldızların biçim bozulmaları nedeniyle ışık değişimi görülen, birinci ile ikinci minimum derinlikleri arasındaki çok az fark olan sistemlerdir. W UMa türü çift yıldız sistemlerinin ortak konvektif zarfa sahip degen çiftler olduğu kabul edilmektedir (Lucy 1968a,b). W UMa türü çift yıldız sistemleri Binnendijk (1970) tarafından iki alt gruba toplanmıştır. Buna göre; A-türü sistemlerde birinci minimumda daha büyük ve daha kütleli bileşen yıldız örtülürken, W-türü sistemlerde birinci minimumda daha küçük ve az kütleli bileşen örtülmektedir.

Wilson and Devinney ilk kez 1971 yılında örten çift yıldız sistemlerinin gözlenen ışık eğrilerinden, bileşen yıldızların geometrik ve fiziksel parametreleri hesaplayan sentetik ışık eğrisi modelini oluşturmuşlardır. En uygun teorik ışık eğrisi ise gözlemsel veriler ile fark kare toplamını en küçük yapan eğridir, bu eğriden hesaplanan parametreler ise sisteme ilişkin sonuç parametreleridir. Wilson-Devinney yöntemi, bilgisayarlarda kullanabilmek için Fortran dilinde bir program olarak yazılmıştır. Wilson-Devinney (1971) programı; örten çift yıldız sistemlerine ait farklı dalga boylarındaki (banttaki) ışık eğrilerini ve dikine hız eğrilerini eş zamanlı çözebilmesi nedeniyle, geometrik ve fiziksel parametrelerin hesaplanmasında en çok kullanılan programdır. Eş zamanlı

özüm; ift yıldız sistemine ait ortak parametrelerin her bantta aynı sonucu vermesini sağlar.

GSC 2751-1007 ift yıldız sisteminin ışık eğrisi analizi araştırmacılar tarafından daha önce çalışılmamıştır. Bu çalışmada; sistemin ışık eğrisi analizi yapılarak sisteme ait geometrik ve fiziksel parametrelerin hesaplanması amaçlanmıştır.

FI Bootis ift yıldız sisteminin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizi sonucunda W UMa türü olan bu sistemin alt türüyle ilgili karşıt görüşler ortaya çıkmıştır. Lu *et al.* (2003) tarafından W-türü olarak tanımlanan sistem, Terrell *et al.* (2006) tarafından A-türü olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada; sistemin ışık eğrisi analizi yapılarak sisteme ait geometrik ve fiziksel parametrelerin hesaplanması ve alt türünün belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

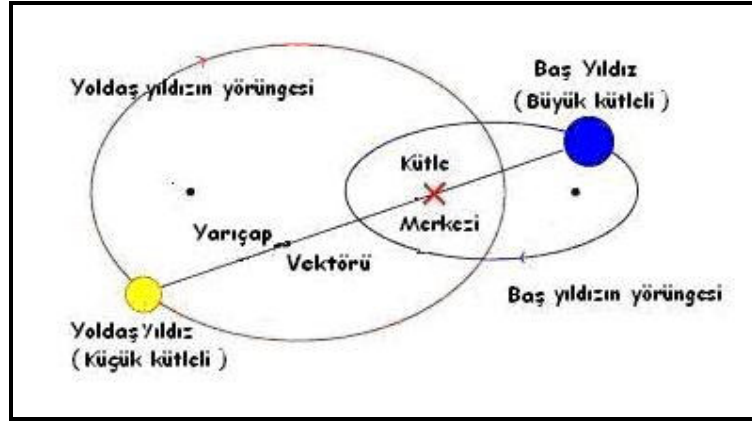
### 2.1 Çift Yıldız Sistemleri

Yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda gözlenen yıldızların neredeyse %85'inin çift ya da çoklu yıldız sistemi olduğu bilinmektedir. Çift yıldız sistemleri, ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketinde bulunan ve çekim kuvvetiyle birbirlerine bağlı sistemlerdir.

Çift yıldız sistemleri, fiziksel parametrelerinin bulunabilmesi nedeniyle astronomik çalışmalarda büyük öneme sahiptir. Bu tür sistemlerin gözlemlerinin analizleri sonucunda bileşen yıldızlara ilişkin temel fiziksel parametreler (kütle, yarıçap, ışımm gücü vb.) hesaplanabilmektedir. Yıldızların fiziksel parametrelerinin bilinmesi, yıldızların birbirleri ile karşılaştırılmalarında, evrenin yapısını belirlemede ve evrim yollarının belirlenmesinde büyük öneme sahiptir.

Çok farklı yörünge dönemine sahip fakat fiziksel olarak birbirine bağlı olan çift yıldızlar evrende mevcuttur. Bazı sistemlerde bileşen yıldızlar birbirlerine o kadar yakındır ki kütle alışverişinde bulunarak evrimlerinin değişmesine neden olabilmekte, bazıları ise birbirlerinden o kadar uzakta bulunurlar ki herbirini tek yıldız gibi incelemek mümkündür. Bu tür çift yıldız sistemleri Newton çekim yasalarının evrenselliğinin bir göstergesi olarak karşımıza çıkarlar. Basit çekim yasalarının kullanılması ile de belkide hiç ulaşamayacak kadar çok uzaklarda bulunan cisimler hakkında bilgi edinebilmemize olanak sağlarlar.

İlk kez Mayer and Herschel (1802) tarafından literatüre sokulan “çift yıldız” kavramının ve daha sonra yapılan çalışmalar sayesinde yaklaşık 364 adet görsel çift yıldızın kataloglara girmesi sağlanmıştır (Herchel 1831). Herschel bu türden çift yıldızları sistematik olarak gözlemleyen ilk kişilerden biri olmuştur.



Şekil 2.1 Çift yıldız sistemlerinde bileşen yıldızların yörüngeleri

Şekil 2.1’de bir çift yıldız sisteminde bileşen yıldızların ortak kütle merkezi etrafında çizdikleri yörüngeleri gösterilmiştir. Bir çift yıldız sisteminde yörünge dairesel olabileceği gibi dışmerkezliği büyük (elips) yörüngelere sahip olabilir. Bu tür sistemler şayet örtme ve örtülme gösteriyorlarsa dışmerkezlik değerleri kolaylıkla hesaplanabilen sistemlerdirler. Çoğu yakın çift yıldızlarda yörünge dönemleri ile kendi eksenleri etrafındaki dönme süreleri birbirlerine eşitlenmiş durumdadır, fakat bu kuralın dışında da sistemlerin varlığı bilinmektedir.

Çift yıldızlar genellikle keşfedildikleri gözlem yöntemlerine göre sınıflandırılırlar, fakat farklı gözlem yöntemleri ile çift olduğu belirlenen sistemlerde mevcuttur. Aynı doğrultuda bulunmaları nedeniyle çift yıldızmış gibi görülen fakat fiziksel olarak birbirlerine bağlı olmayan çift yıldızlara “*optik çift yıldızlar*” adı verilir

Bir diğer çift yıldız türü teleskop gibi optik araçlar kullanılarak incelendiğinde bileşen yıldızlarının ayrı ayrı görülebildiği (genellikle 1 yay saniyesinden daha büyük ayrıklığa sahip sistemler) “*görsel çift yıldız*”lardır. Bu tür sistemlerin büyük dolanma dönemleri (yıllar) nedeniyle yörüngelerinin belirlenebilmesi çok uzun zaman gözlenmesi halinde mümkün olabilmektedir. Keşfedildiğinden beri halen yörüngesi tam olarak belirlenememiş bu türden görsel çift yıldızlar mevcuttur ve gelecekte ancak duyarlı yörünge çözümleri gerçekleştirilebilecektir. Fakat bunun yanında daha kısa dönemli (10-30 yıl) sistemler interferometrik gözlem yöntemleri kullanılarak başarılı bir şekilde

yörüngeleri belirlenebilmekte ve sistemi oluşturan bileşen yıldızlar hakkında bilgi edinmemizi sağlayabilmektedir.

Gökyüzünde yaptıkları hareketler nedeniyle etrafında görülmeyen bir bileşenin varlığı ortaya çıkarılabilen çift yıldız sistemlerine “*astrometrik çift yıldız*” lar adı verilir. Bu tür yıldızlar, uzay hareketleri sırasında belirli bir doğru etrafında salınım gösterirler. Bu salınımın sebebi çevresinde bulunan bir başka cismin uyguladığı çekimsel etkiden kaynaklandığı için sistem hakkında bilgiye ulaşmak mümkündür. Geçmişte bu tür bir gözlem yöntemi ile belirlenmiş fakat günümüzde kullanılan yeni teknoloji gözlem araçlarıyla bileşenin bulunduğu görsel olarak belirlenmiş sistemler mevcuttur. Bunlardan en önemlilerinden biri gökyüzünün en parlak yıldızı olan Sirius’un beyaz cüce bileşenin gözlenmiş olması sayılabilir.

Mevcut teleskoplarla bileşen yıldızları ayrı ayrı görülemeyecek kadar bizden uzakta bulunan ve/veya birbirlerine çok yakın oldukları için ayrı ayrı görülmeyen çift yıldızların varlığı, tayfsal çizgilerinin dönemli olarak yer değiştirmesi sonucu ortaya çıkarılan sistemlere “*tayfsal çift yıldız*” lar denilmektedir. Bu tür sistemlerin tayfsal gözlemlerinin yapılması ve incelenmesi oldukça fazla zaman almasına karşın incelenmeleri sonucunda daha kesin ve doğru fiziksel parametrelere ulaşılabilir.

Bir diğer tür çift yıldız sistemi ise bileşen yıldızların birbirlerinin etrafında dolanırken birbirlerini örtmeleri sonucu ışık değişimi gösteren çift yıldızlardır. Bu tür sistemlerde örtme ve örtülme dönemli olarak gerçekleşir. Bu tür sistemlerin gözlemleri çok sönük olmaları durumunda bile günümüz teknolojisi kullanılarak kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür sistemlere “*örtten değişen yıldızlar*” adı verilir. Çok büyük ve çok küçük yörünge dönemlerine sahip örten değişen yıldızların bulunduğu bilinmektedir. Uzun dönemli sistemlerin gözlemleri çok daha güç yapılabilmesine karşın kısa dönemli sistemlerin ışık değişimleri bir gece içerisinde tamamlanabilmektedir. Bu tür sistemlerin ışık eğrilerinin analizleri sonucunda bileşen yıldızların birbirlerine göre görelî parametrelerini elde etmek mümkündür. Bu tür sistemlerin dikine hız eğrilerinin elde edilmesi durumunda, ışık eğrisi analizi ile birlikte bileşen yıldızların fiziksel ve yörüngesel parametrelerini çok daha doğru ve duyarlı

olarak hesaplamak mümkündür. Dikine hız eğrisi bulunmayan sistemlerde ise ışık eğrisi analizi sonucu hesaplanan parametrelere şüphe ile yaklaşmak ve incelenen benzer sistemler için belirlenen parametreler ile uyumlu olup olmadığını denetlemek gerekir.

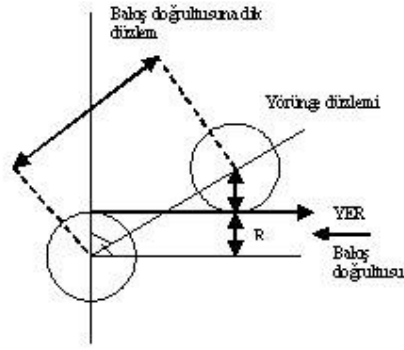
## 2.2 Örten Çift Yıldızlar

Örten çift yıldızlar, günümüz teknolojisi ile gözlemleri en kolay gerçekleştirilebilen sistemler olma özelliğini taşımaktadır ve günümüzde başka galaksilerde bulunan bu tür sistemlerin incelenmesi gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür sistemlerin incelenebilmesi için yüksek ayırma gücüne sahip teleskopların kullanılması gerekmektedir.

Bir çift yıldız sisteminde bileşen yıldızların birbirlerini örtebilmesi için bileşen yıldızların yarıçapları (veya görelî yarıçapları), yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ve yörünge eğim açılarının uygun değerlere sahip olması gerekir. Bir tutulma oluşabilmesi için Denklem 2.1’de bir çift yıldız sistemine ait “i” yörünge eğim açısı, bileşen yıldızların yarıçapları,  $R_1$  ve  $R_2$ , ve bileşenler arası uzaklık olarak tanımlanan “a” parametresine bağlı olarak

$$|\sin(90 - i)| = |\cos i| \leq \frac{R_1 + R_2}{a} \quad (2.1)$$

şartını sağlaması gerekmektedir. Tutulma koşulu olarak bilinen bu denklemi sağlayan her türlü çift yıldız sistemi bir yörünge dönemi boyunca örtme ve örtülme göstereceğinden, örten çift yıldız sistemleri olarak adlandırılırlar.



Şekil 2.2 Çift yıldız sistemlerinde tutulma koşulu

Şekil 2.2’de denklem 2.1 ile verilen ifadenin geometrik yapısı gösterilmiştir. Bileşen yıldızları yarıçapları ne olursa olsun yörünge eğim açısının  $90^\circ$  olması durumunda her çift yıldız örtme ve örtülme gösterecektir. Daha küçük yörünge eğim açalarına gidildikçe, örtme ve örtülmenin sağlanabilmesi ancak bileşen yıldızların yarıçapları ile aralarındaki uzaklık değeri arasındaki orana bağlıdır

Örtme ve örtülme gösteren sistemlerin parlaklık değişimi ölçümü, onların *görsel*, *fotoğrafik* veya *fotoelektrik* yöntemlerden biri ile gerçekleştirmek mümkündür. Günümüzde duyarlılıklarının çok kötü (kuantum etkinliğinin küçük olması) olması nedeniyle görsel ve fotoğrafik gözlem yöntemleri artık kullanılmamaktadır. Çok daha modern yöntemler olan fotoelektrik gözlem yöntemleri kullanılarak zamana bağlı olarak parlaklık değişimleri ölçülebilmektedir. Modern yöntemler arasında fotoelektrik yöntem kadar yeni teknoloji olan ve hem fotoğrafik yöntemi hemde fotoelektrik yöntemi bünyesinde barındıran CCD gözlemleri ile çok daha duyarlı gözlemler gerçekleştirilebilmektedir. Bu tür gözlemler sonucu hesaplanan parlaklıkların zamana bağlı değişimleri grafike edildiğinde sistemin “ışık eğrisi” elde edilir. Işık eğrisi genellikle dönemli değişim gösteren sistemler için “evre” ye göre grafike edilerek birden fazla gözlem gününe ait verilerin kullanılabilmesi sağlanır.

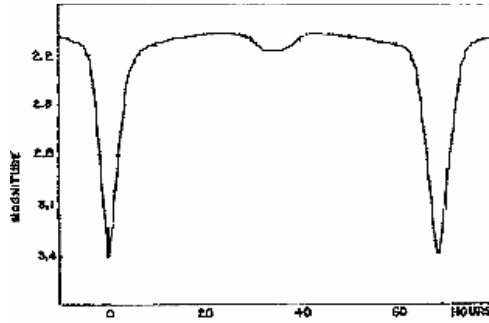
Örten çift yıldız sistemleri, yukarıdaki gözlem yöntemlerinden biri kullanılarak elde edilen ışık eğrisinin şekline göre üç alt sınıfa ayrılırlar. Bu sınıflar ve ayrıntıları bir sonraki kesimde verilecektir.

## 2.3 Işık Eğrisinin Biçimine Göre Çift Yıldız Türleri

Yapılan gözlemler sonucunda örten değişen çift yıldızların zamana bağlı olarak ışık (veya parlaklık) değişimlerinin üç ayrı grupta toplanabileceği ortaya çıkmıştır. Sırasıyla EA, EB ve EW sembolleri ile gösterilen Algol,  $\beta$  Lyrae ve W UMa türü sistemlerinin genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

### 2.3.1 Algol türü sistemler

Bu tür sistemlerde ışık değişimi minimumlar dışı düzgün ve birinci minimum ile ikinci minimum arasındaki parlaklık farkı büyük olan sistemlerdir. İkinci minimum ya çok sığ ya da bu tür sistemlerde görülememektedir. Bu durum sistemi oluşturan bileşen yıldızların sıcaklıkları arasındaki farkın büyük olduğunun bir göstergesidir.



Şekil 2.3 Algol türü çift sistemin ışık eğrisi

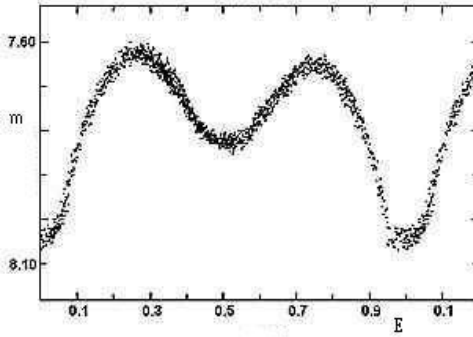
Minimumlar dışındaki ışık değişiminin düzgün yapıda olması ise bileşen yıldızların küresel yapıya sahip olduklarını gösterir. Bazı sistemlerde bileşen yıldızların birbirlerine yakın olması durumunda güçlü yansıma etkisi görülebilmektedir, bu durum ikinci minimum civarında parlaklığın daha fazla artma göstermesine neden olur. Genel olarak sistemi oluşturan baş bileşen B veya erken A tayf türünden bir yıldızdan ve



yoldaş bileşen ise Roche şişimini doldurmuş G veya K tayf türünden dev veya altdev bir yıldızdan oluşur. Şekil 2.3’de Algol türü ışık eğrisine bir örnek verilmiştir.

### 2.3.2 $\beta$ Lyr türü sistemler

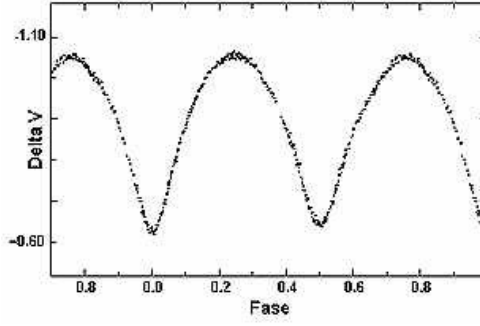
$\beta$  Lyr türü sistemler, minimumlar dışında bileşen yıldızların biçim bozulmaları nedeniyle ışık değişimi görülen, birinci ile ikinci minimum derinlikleri arasındaki farkın çok büyük olmadığı sistemlerdir. Bileşen yıldızların biçimlerinin bozulmasının nedeni, yakınlık etkileri nedeniyle bileşenlerin birbirlerine uyguladıkları çekimsel kuvvetler ve bileşen yıldızların kendi eksenleri etrafında dönmeleridir. Bu iki etki birlikte yıldızların üç eksenli elipsoid yapısında görünmelerine neden olur. Minimum derinliklerindeki farklılık bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirinden farklı olduğunun göstergesidir. Şekil 2.4’de  $\beta$  Lyr türü ışık değişimine bir örnek verilmiştir.



Şekil 2.4  $\beta$  Lyr türü çift sistemin ışık eğrisi

### 2.3.3 W UMa türü sistemler

$\beta$  Lyr türü ışık değişimine çok benzer yapıda bulunan fakat minimum derinlikleri birbirine eşit veya çok yakın olan sistemlerdir. Şekil 2.5’de W UMa türü çift sistemlerine ilişkin örnek ışık eğrisi verilmiştir.



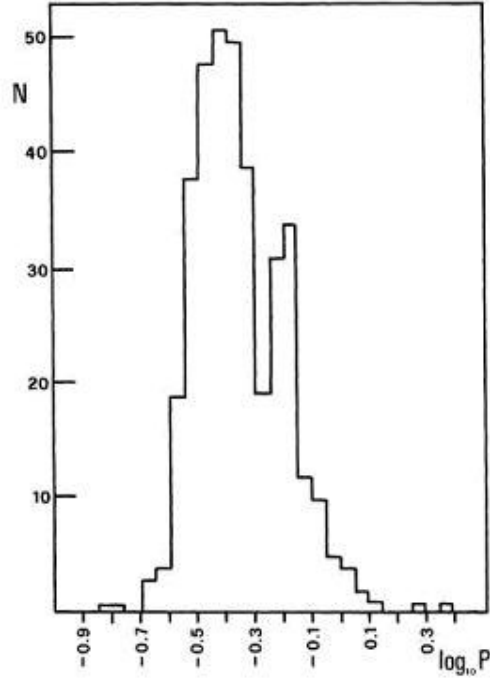
Şekil 2.5 W UMa türü çift sistemin ışık eğrisi

Değen çiftler olarak da bilinen bu sistemlerin bileşenleri birbirlerine çok yakındır. Bunun doğal sonucu olarak, W UMa türü çift yıldızlar birbirlerine uyguladıkları ileri düzeyde karşılıklı tedirginlik kuvvetleriyle, küresellikten oldukça sapmış bileşen yıldızlar bulunur. Küresellikten sapmış tek bir yıldızın kendi eksenini etrafında dönmesinin gözlemi gerçekleştirilebilseydi, kendi eksenini etrafındaki bir dönme süresinde farklı yüzey alanları (ve muhtemelen farklı sıcaklık katmanları) gözleneceğinden, tek bir yıldız için parlaklık değişimi gözlemek mümkün olacaktır. Bu yapıda iki adet yıldızın birbirleri etrafında dolanımı ve kendi eksenleri etrafında dönmelerine ilaveten örtme ve örtülme göstermeleri sonucu, W UMa türü sistemlerde minimumlar dışı ışık değişimi düzgün yapıda olmaz.

W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızlar birbirlerine degecek kadar yakın bulunurlar. Yapılan incelemelerden, bileşen yıldızların kütlelerinin birbirinden farklı olduğu bilinmektedir. W UMa türü sistemlerde minimum derinliklerinin hemen hemen birbirine çok yakın olması veya eşit olması dikkate alındığında bileşen yıldızların ışınımgüçlerinin de aynı olduklarını söylemek mümkündür. Farklı kütle fakat aynı ışınımgücüne sahip sistemler şeklinde görülen bu tür sistemlerde her iki bileşeni saran ortak (dolayısıyla aynı sıcaklıkta) bir zarfın bulunduğu düşünülmektedir (Lucy 1968a, b). Bu ortak zarfta bulunan materyalden gelen ışınım, her iki bileşenin de aynı veya benzer ışınımgücüne sahip olmasını sağlar.

W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların birbirleri etrafındaki dolanma süreleri 0.2 gün ile 1 gün arasında değişir. Dönemlerinin kısa olması nedeniyle gözlemleri en çok gerçekleştirilen sistemlerdir. Şekil 2.6'da Maceroni *et al.* (1985) tarafından GCVS'de bulunan toplam 400 adet W UMa türü sistem için hesapladığı dönem dağılımı

verilmiştir. Şekil 2.6'den de görülebileceği gibi W UMa türü sistemlerde iki farklı dönem değerinde maksimum sayıda oldukları dikkati çekmektedir. Bu maksimumlar;  $\log P = -0.4$  (0.398 gün) ve  $\log P = -0.2$  (0.631 gün) değerlerine karşılık gelmektedir. Maceroni *et al.* (1985) iki maksimum arasında kalan bölgeye ilişkin dönemin 0.5 gün olmasının, bu tür sistemlerin gözlemlerini zorlaştırdığını ve bu nedenle dönem boşluğunun ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bütün olarak dikkate alındığında W UMa türü sistemlerin 0.2 gün ile 1.26 gün arasında dağılan dönemlere sahip oldukları görülür.



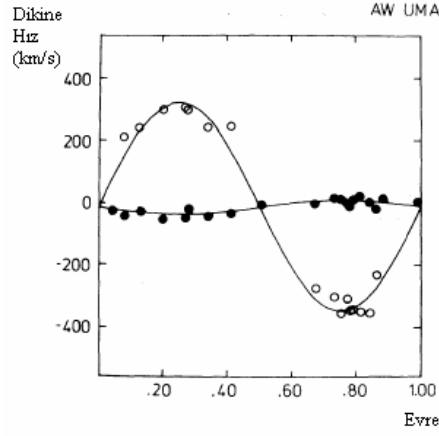
Şekil 2.6 GCVS'de bulunan toplam 400 adet W UMa türü sistemin dönem dağılımı  
(Maceroni *et al.* 1985)

W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızlar arasındaki ışınım aktarımından dolayı standart kütle-ışınım gücü bağıntısına uymazlar. W UMa sistemlerinin ilk keşfinden günümüze kadar bu sistemler için uygun teorik *kütle-ışınım gücü*, *kütle-yarıçap*, *ışınım gücü- sıcaklık* modelleri ve bağıntıları elde edilmeye çalışılmıştır (Mochnacki 1981, Van Hamme 1982, Smith 1984, Maceroni *et al.* 1985, Awadalla *et al.* 2005, Yakut and Eggleton 2005). Ancak oluşturulan modeller halen gözlemsel verilerle tam olarak uyuşmamaktadır.

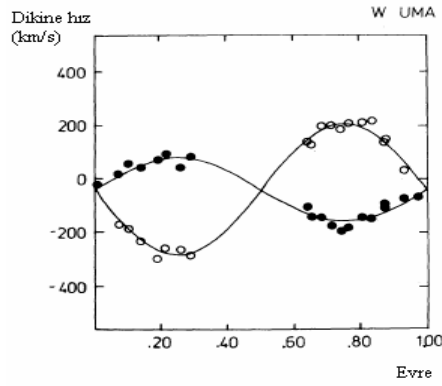
W UMa türü sistemlerin ortak konvektif zarfa sahip değen çiftler olduğunu belirtmiştir. Bazı araştırmacılar (Hazlehurst 1970, Moss and Whelan 1970, Moss 1971, Mochnacki 1981, Kahler *et al.* 1986 ve 1987, Kahler 2002a, b, Kahler 2004) W UMa türü yıldızların iç yapısı ile ilgili çalışmalar yapmışlardır. Bu araştırmacıların tamamı ortak konvektif zarf modelinin temel özelliği olan bileşen yıldızlar arasındaki enerji değişimi tanımını kabul ederler.

W UMa türü sistemlerde karşılaşılan bir başka durum ise O'Connell etkisi nedeniyle maksimum seviyeleri arasında parlaklık farklarının gözlenmesidir (Milone 1968). Maksimum seviyeler arasındaki bu farklılığın temel nedeninin yıldız yüzeyinde bulunabilecek lekeler (sıcak veya soğuk) ile açıklanmaktadır. Uzun zaman aralığına dağılmış gözlemsel ışık eğrileri incelendiğinde bazı sistemlerde aynı maksimuma karşılık gelen parlaklık seviyesinin zamanla değişim gösterdiği ortaya çıkar. Bu tür sistemlerin ışık eğrisi analizi O'Connell etkisi göstermeyen sistemlere göre daha dikkatli yapılmalıdır. Gürol (2005) incelediği AU Ser sistemi için yıldız yüzeyinde bulunan lekelerin sıcaklık ve konumunun zamana bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermiştir.

Binnendijk (1970) W UMa türü sistemlerin W- ve A-türü olmak üzere iki alt grubu bulunduğunu belirtmiştir. W-türü sistemlerde derin olan birinci minimum daha küçük yarıçaplı ve küçük kütleli bileşenin, büyük yarıçaplı ve büyük kütleli bileşen tarafından örtülmesi sonucu ortaya çıkar. A-türü sistemlerde ise derin olan minimum küçük yarıçaplı ve küçük kütleli bileşenin, büyük kütleli ve büyük yarıçaplı bileşeni örtmesi sonucu ortaya çıkar (Binnendijk 1970). Sistemin hangi tür bir W UMa olduğunun belirlenebilmesi dikine hız eğrisi ile ışık eğrisinin karşılaştırılması ile mümkündür. W UMa türü bir sistemin dikine hız eğrisi dikkate alındığında; büyük kütleli bileşenin dikine hız değişimi sıfır evresinde azalıyorsa bu sistemler A-türü olarak sınıflandırılır. Bu sistemlerde daha büyük yarıçaplı, daha kütleli ve parlak aynı zamanda daha sıcak olan bileşen yıldız, küçük bileşen yıldız tarafından örtülmektedir.



Şekil 2.7 A-türü sistemlerin dikine hız eğrisine örnek olarak AW UMa sisteminin dikine hız eğrisi (İçi dolu daireler baş yıldızın, içi boş daireler yoldaş yıldızın dikine hız değişimini gösterir) (McLean 1981)



Şekil 2.8 W-türü sistemlerin dikine hız eğrisine örnek olarak W UMa sisteminin dikine hız eğrisi (İçi dolu daireler baş yıldızın, içi boş daireler yoldaş yıldızın dikine hız değişimini gösterir) (McLean 1981)

Şekil 2.7’de AW UMa’nın dikine hız eğrisi görülmektedir. İçi dolu daireler birinci bileşenin (baş yıldızın), içi boş daireler ikinci bileşenin (yoldaş yıldızın) dikine hız değişimini göstermektedir. Baş yıldıza ait noktaların oluşturduğu eğrinin genliği daha küçük olduğundan baş yıldızın daha büyük kütleli olduğu sonucu kolaylıkla çıkarılabilir.

Şekil 2.8’de ise W UMa’nın dikine hız eğrisi görülmektedir. İçi dolu daireler birinci bileşenin (baş yıldızın), içi boş daireler ikinci bileşenin (yoldaş yıldızın) dikine hız değişimini göstermektedir. Dikine hız eğrisinde A-türünün aksine birinci bileşenin dikine hız değişimi (içi dolu daireli olan) artma kolunun orta noktası, sıfır evreye karşılık gelmektedir. Baş yıldız örtme (occultation) durumundadır. Yani bu tür dikine hız eğrisine sahip sistemler W-türü sistemler olarak sınıflandırılırlar.

Bu iki alt tür W UMa sistemlerinin arasındaki farklılıklar Rucinski (1973, 1974) ve Maceroni *et al.* (1985) tarafından verilmiştir (Çizelge 2.1)

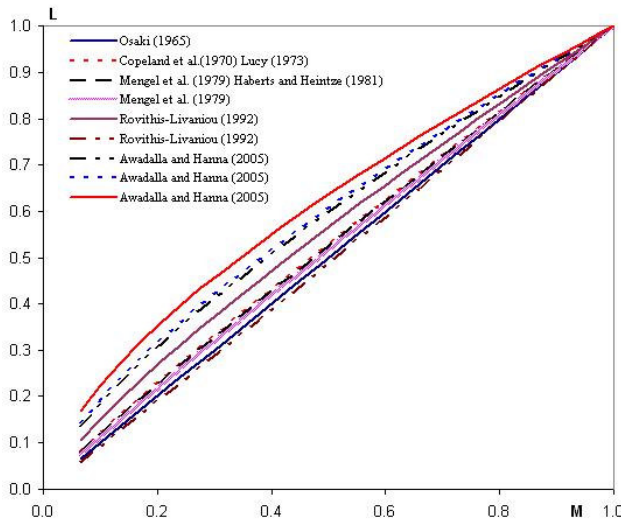
**Çizelge 2.1** A- ve W-türü W UMa sistemlerin genel özellikleri (Rucinski 1973, 1974 ve Maceroni *et al.* 1985)

<b>A-türü</b>	<b>W-türü</b>
Erken tayf türünden (A-G türü)	Geç tayf türünden (F-K türü)
Ortalama dönem 0.5 gün	Dönemi 0.50 günden kısa
Ortalama sıcaklık daha fazla	Ortalama sıcaklık daha az
Bileşenler daha büyük kütleli	Bileşenler daha küçük kütleli
Değme daha fazla	Değme daha az
Dönem değişimi var	Dönem değişimi hemen hemen yok
Işınasal ortak zarf	Konvektif ortak zarf
Evrimleşmiş	Evrimleşmemiş
Kütle oranı daha küçük $< 0.54$	Kütle oranı $0.14 < q < 0.87$ aralığında

W UMa türü sistemlerde bulunan bileşen yıldızların normal yıldızlar için elde edilen kütle-ışınım gücü bağıntısına uymaması nedeniyle çeşitli araştırmacılar tarafından W UMa türü sistemlere özgü kütle-ışınım gücü bağıntıları,  $L \propto M^\alpha$ , elde edilmeye çalışılmıştır. Bu araştırmalardan bazıları; Russell and Moore (1940), Parenago and Masevich (1951), Kopal (1959), Binnendijk (1960), Osaki (1965), Lucy (1973), Dworak (1975), Heintz (1978), Rovithis-Livaniou *et al.* (1992), Awadalla and Hanna (2005) olarak sayılabilir.

Yapılan incelemeler sonucunda kütle-ışınım gücü bağıntısında bulunan  $\alpha$  üsteline ilişkin değerler 1.8 (Binnendijk 1960) ile 5.7 (Kopal 1959) arasında değerler aldığı ortaya çıkmıştır. Rovithis *et al.* (1992), iki farklı ışık eğrisi analiz yöntemi kullanarak W UMa

türü sistemler için kütle-ışınım gücü bağıntısını elde etmişlerdir. Bu çalışmaya göre Wilson-Devinney yöntemi kullanılarak  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{0.82}$  bağıntısını, Kopal yöntemi (Fourier tekniği) kullanarak  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{1.04}$  bağıntısını bulmuşlardır. Lucy (1968b, 1973), kütle-ışınım gücü bağıntısını  $L_1/L_2 \cong (M_1/M_2)^{0.92}$  olarak verirken, Osaki (1965),  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{1.0}$  olarak vermiştir. 2004 yılında ise Csizmadia and Klagyivik, değen çift yıldızlar için kesin bir *kütle-ışınım gücü* bağıntısının olmadığını belirtmişlerdir. Son zamanlarda ise Awadalla and Hanna (2005) W-türü sistemler için  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{0.724}$  bağıntısını, A-türü sistemler için  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{0.65}$  bağıntısını ve tüm W UMA sistemleri (A- ve W-türü birlikte)  $L_1/L_2=(M_1/M_2)^{0.74}$  bağıntısını bulmuşlardır. Literatürde bulunan kütle-ışınım gücü bağıntılarına ilişkin teorik eğriler Şekil 2.9.'de verilmiştir.



Şekil 2.9 Literatürde bulunan kütle-ışınım gücü bağıntılarına ilişkin teorik ışık eğrileri

Çizelge 2.2'de literatürde bulunan kütle-ışınım gücü bağıntıları,  $L \propto M^\alpha$ , için derlenmiş üstel değerleri verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Araştırmacılar tarafından verilen  $\alpha$  üstel değerleri

<b><math>\alpha</math> değerleri</b>	<b>Referanslar</b>
1.00	Osaki (1965)
0.92	Copeland <i>et al.</i> (1970)
0.92	Lucy (1973)
0.93	Mengel <i>et al.</i> (1979)
0.95	Mengel <i>et al.</i> (1979)
0.93	Haberts and Heintze (1981)
0.82 & 1.04	Rovithis-Livaniou (1992)
0.74	Awadalla and Hanna (2005) tüm W UMa sistemleri için
0.72	Awadalla and Hanna (2005) W-türü sistemler için
0.65	Awadalla and Hanna (2005) A-türü sistemler için

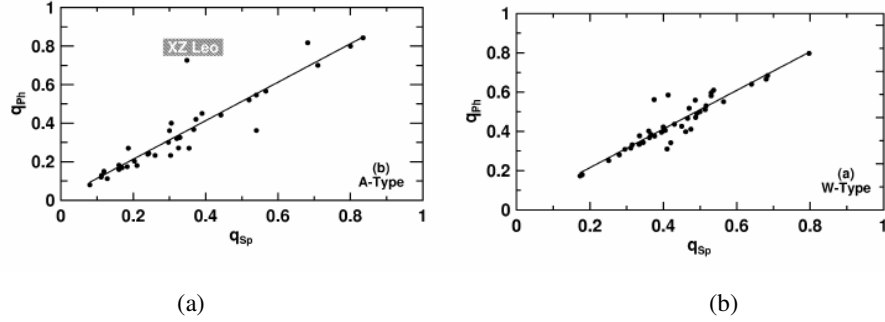
Awadalla and Hanna (2005), inceledikleri 80 adet W UMa türü (38 adet A- ve 42 adet W-türü sistem) sistemleri için literatürden topladıkları fotometrik ve tayfsal kütle oranları arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğunu ve çok az sayıda sistemin bu doğrusal bağıntıdan sapma gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Şekil 2.10'de sırasıyla A- ve W-türü W UMa sistemleri için tayfsal ve fotometrik kütle oranları arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Her iki tür sistem için yeterince duyarlı olan ışık eğrilerinin dikkatli bir şekilde incelenmesi sonucunda hesaplanacak fotometrik kütle oranı değerlerinin, genel olarak doğru olduğunu gösteren bu çalışma nedeniyle, tayfsal kütle oranı bilinmeyen sistemler için, yeterince doğru ve duyarlı ışık eğrisi analizinin gerçekleştirilebileceğini göstermektedir.

Bazı sistemler için (CK Boo, XZ Leo) tayfsal ve fotometrik kütle oranları birbirlerinden oldukça farklı olduğu görülmüştür (Awadalla and Hanna 2005). Özellikle parçalı tutulma gösteren sistemler için hesaplanan fotometrik kütle oranının hatalı sonuçlar verebildiği ayrıca sisteme bağlı üçüncü bir cismin varlığı gibi nedenlerle hatalı sonuçlar elde edilebileceği ortaya çıkmıştır. Maceroni *et al.* (1985), tam tutulma gösteren



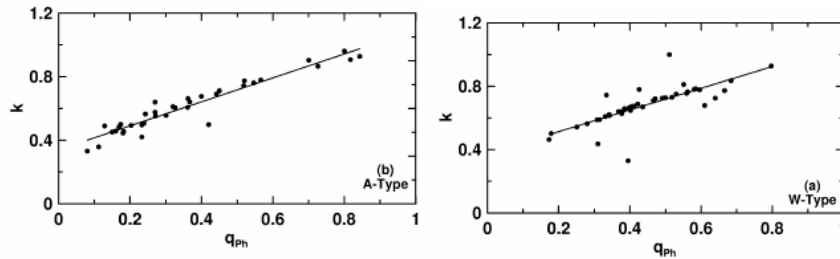
sistemlerin ışık eğrisi analizleri sonucu bulunan fotometrik kütle oranlarını değerlerinin tayfsal kütle oranlarından daha güvenilir olduğunu göstermiştir.



Şekil 2.10.a. A-türü sistemler için, b. W-türü sistemler için tayfsal ve fotometrik kütle oranı değişimi (Awadalla and Hanna, 2005)

Awadalla and Hanna (2005) Şekil 2.10'de inceledikleri A- ve W-türü W UMA sistemleri dikkate alarak tayfsal ve fotometrik kütle oranları arasında: W-türü sistemler için;  $q_{sp}=0.02+0.98q_{ph}$  ( $R=0.925$ ,  $\sigma=\pm 0.052$ ) ve A-türü sistemler için  $q_{sp}=0.05+0.93q_{ph}$  ( $R=0.870$ ,  $\sigma=\pm 0.11$ ) ifadelerini vermişlerdir. Ayrıca bileşen yıldızların yarıçapları oranını ifade eden  $k (=r_1/r_2)$  ifadesinin fotometrik kütle oranına olan bağımlılığın yüksek olması bileşen yıldızların yarıçapları hakkında doğrudan bilgi edinilebileceğini göstermektedir.

Şekil 2.11'de incelenen A- ve W-türü W UMA sistemlerine ilişkin fotometrik kütle oranı ile yarıçaplar oranı arasındaki bağıntı gösterilmiştir.



Şekil 2.11 W- ve A-türü W UMA sistemleri için fotometrik kütle oranına göre yarıçaplar oranının değişimi (Awadalla and Hanna, 2005)

İnceledikleri değen ve yarı-değen çift yıldızlarda bileşen yıldızların yarıçapları oranı ( $k$ ) ile sistemin kütle oranı ( $q$ ) arasında kuvvetli bir korelasyonun bulunduğu ilk defa Selam and Demircan (1994) tarafından  $k=-0.37q^2+1.07q+0.28$  bağıntısını ile verilmiştir. Awadalla and Hanna (2005) inceledikleri W UMa türü sistemleri kullanarak W-türü sistemler için  $k=0.38+0.69q_{ph}$  ( $R=0.76$  ve  $\sigma=\pm 0.08$ ) ve A-türü sistemler için  $k=0.34+0.75q_{ph}$  ( $R=0.96$  ve  $\sigma=\pm 0.05$ ) ifadelerini elde etmişlerdir.

Ortaya konulan bağıntılara ilişkin korelasyon katsayılarının,  $R$ , yeterince büyük ve hatalarının küçük olması, W UMa türü sistemlerde bu bağıntıların güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

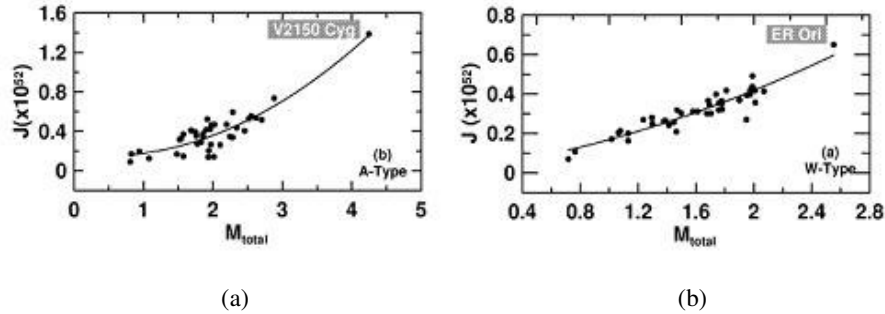
Çeşitli araştırmacılar tarafından, W UMa türü sistemler için kütle yarıçap bağıntısı,  $R \propto M^\alpha$ , elde edilmeye çalışılmıştır. Lacy (1977), ZAMS'taki  $20 M_\odot > M > 1.3 M_\odot$  kütleli W UMa türü sistemleri göz önüne alarak yaptığı çalışmada, kütle-yarıçap bağıntısının üstel değerini 0.64 olarak hesaplamıştır. Wilson (1978), W UMa türü sistemlerin her iki bileşeninin de ZAMS'ta olduğunu varsayarak kütle-yarıçap bağıntısını  $R \propto M^{0.6}$  olarak verirken, Van Hamme (1982) sadece baş bileşen için anakol kütle yarıçap bağıntısını  $R \propto M^{0.8}$  olarak vermiştir. Maceroni *et al.* (1985),  $M > 1.3 M_\odot$  kütleli W UMa türü sistemler için yaptığı çalışmada, kütle-yarıçap bağıntısındaki üstel değerini 0.6 ile 1.0 arasında olduğunu hesaplamışlardır. Zengin ve İbanoğlu (2004), W UMa türü sistemlerin birinci bileşenleri için kütle-yarıçap bağıntısını  $R \propto M^{0.6}$  olarak vermişlerdir. Awadalla and Hanna (2005) ise geniş bir kütle aralığı için (0.7 ile  $4.2 M_\odot$ ) kütle-yarıçap arasındaki bağıntıyı incelemişler ve W- ve A-türü sistemlerde baş bileşenler için,  $R \propto M^{0.62}$  olarak hesaplamışlardır. Bu ifadelerinin korelasyon katsayısı,  $R \approx 0.8$  olarak hesaplamışlardır.

Değen çift sistemlerle ilgili yapılan çalışmalarda, sistemlerin açısal momentumu her zaman büyük önem verilen konulardan biri olmuştur. Van't Veer (1979), Mochnacki (1981), Rahunen (1981), Van Hamme (1982), Vilhu (1982) gibi araştırmacıların açısal momentum kayıpları ve evrim konusunda yayınladıkları çalışmalar bu konuda örnek olarak incelenebilir. Değen sistemler, bileşen yıldızlar arasında kütle aktarımı veya uzaya kütle atımı nedeniyle yaşamları boyunca açısal momentum kaybına uğrarlar bu

nedenle değen sistemlerin evrimlerine ‘‘açısal momentum evrimi’’ olarakta bakılabilir (Maceroni *et al.* 1985).

Awadalla and Hanna (2005), ele aldıkları A- ve W-türü W UMa sistemlerini inceleyerek sistemlerin toplam kütleleri ile toplam açısal momentimleri arasında bir ilişkinin bulunduğunu Şekil 2.12’deki gibi göstermişlerdir. Buna göre W-türü sistemler için;  $J_{top}=0.46-0.46M_{top}+0.86M_{top}^2$  ( $R=0.96$  ve  $\sigma=\pm 0.27$ ) ve A-türü sistemler için  $J_{top}=1.41-1.51M_{top}+1.07M_{top}^2$  ( $R=0.96$  ve  $\sigma=\pm 0.70$ ) ifadelerini hesaplamışlardır.

A-türü sistemler için sistemlerin tamamının  $0.81 < M_{top}(M_{\odot}) < 2.88$  ve  $0.09 < J_{top}(10^{52}) < 0.74$  aralığında toplanırken W-türü sistemler için toplam kütle ve toplam açısal momentum olarak daha küçük aralıkta  $0.72 < M_{top}(M_{\odot}) < 2.07$  ve  $0.07 < J_{top}(10^{52}) < 0.41$  toplandıkları görölmektedir. Uyguladıkları ikinci dereceden denklemlerin yüksek korelasyon katsayısına sahip olması bu türden bağıntuların W UMa türü sistemlerde toplam açısal momentum hesaplamasında kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 2.12.a A-türü sistemler için, b. W-türü sistemler için toplam açısal momentumun toplam kütleye göre değişimi (Awadalla and Hanna 2005)

W UMa türü sistemlerin alt türlerinin evrimsel durumlarını, normal anakol yıldızlarına ilişkin fiziksel parametreleri ile doğrudan karşılaştırılması zordur. Maceroni and Van’t Veer (1996), W UMa türü sistemler üzerinde yaptıkları çalışmalarda, W-türü sistemlerde bileşen yıldızların ZAMS yıldızları ve A-türü sistemlerdeki bileşen yıldızların ise TAMS yıldızları olduklarını kabul etmişlerdir.

W UMa türü sistemler, çoğunda görülen sistemden kütle ve açısal momentum kaybı sonucu evrimleşerek “*Blue Stragglers*” olarak adlandırılan, yaşlı ve büyük kütleli anakol yıldızlarına veya hızlı dönen çift çekirdekli FK Com türü dev yıldızlara dönüşecekleri düşünülmektedir (İbanoğlu ve Akan 2002).

W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızlar birbirlerine değme durumunda olduklarından, etkileşen sistemler olarak bakılabilir (Lucy 1968a,b). Değme durumunda bulunan sistemlerde bileşenler arasında kütle alışverişi veya bir bileşenden uzaya kütle kaybı gerçekleşmesi mümkündür. Sistemde kütle aktarımı veya kaybı sözkonusu ise bu durumda açısal momentumun korunabilmesi için yörünge döneminde ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğunda değişimler sözkonusu olacaktır. Şayet bileşenler arasında korunumlu kütle alışverişi varsa, sistemin yörünge dönemi kısılacak, fakat bileşenlerden birinden uzaya kütle kaybı gerçekleşiyorsa, bu durumda sistemin dönemi artma gösterecektir (Huang 1956). Dönemin azalması veya artması sistem için gözlenen minimum zamanlarından elde edilen O-C değişimine bakarak karar verilebilmektedir. Açısal momentum kaybı nedeniyle sistemin döneminde bir değişim gerçekleşiyorsa O-C değişimi kolları yukarı veya aşağı yönde olan parabol benzeri eğriler ile temsil edilebilir. Bazı sistemlerde yeterince uzun zaman aralığına dağılmış minimum zamanlarından elde edilen O-C değişiminin sinüsel (çevrimli) yapılar gösterdiği bilinmektedir. Bu tür sistemlerde çevrimli değişimin manyetik etkinlik kökenli olduğu veya sisteme bağlı üçüncü bir cismin varlığı nedeniyle ortaya çıkan ışık-zaman etkisinden kaynaklandığı kabul edilir. Literatürde, W UMa türü sistemler için yukarıda bahsedilen üç farklı türden dönem analizlerinin gerçekleştirildiği görülmektedir. W UMa türü sistemler geç tayf türünden bileşenlere sahip oldukları için leke etkinliklerinin olabileceği sistemler olarak dikkate alınmalıdır. Leke etkinliklerinin varlığı ise ışık eğrilerinde 0.25 ve 0.75 evrelerindeki parlaklık seviyeleri arasındaki farklılıktan çıkarılır ve O’Connell etkisi olarak adlandırılır (Mullan 1975).

## 2.4 Roche Modeli ve Bu Modele Göre Sınıflama

İlk olarak Roche tarafından ortaya atılan ve yıldızların biçimlerini belirleyen bu modelde aşağıdaki kabuller yapılmıştır;

- Bileşen yıldızların merkezi yoğunluklarının çok fazla olduğu bu nedenle bileşen yıldızların noktasal kütle olarak ele alınabileceği,
- Işınım basıncı, manyetik etkiler, viskozite gibi etkilerin boşlanabilir olduğu,
- Bileşen yıldızların dönme süreleri ile birbirleri etrafındaki dolanma sürelerinin birbirine eşit olduğu (senkronize),
- Bileşen yıldızların dönme eksenlerinin yörünge düzlemine dik olduğu,
- Çekimsel gecikmenin olmadığı,
- Yörüngenin dairesel olduğu (gerçekte aksine örnekler bulunmaktadır),
- Bileşen yıldızları oluşturan maddenin dönme ve dolanma hareketleri dışında hareketi olmadığı kabul edilir.

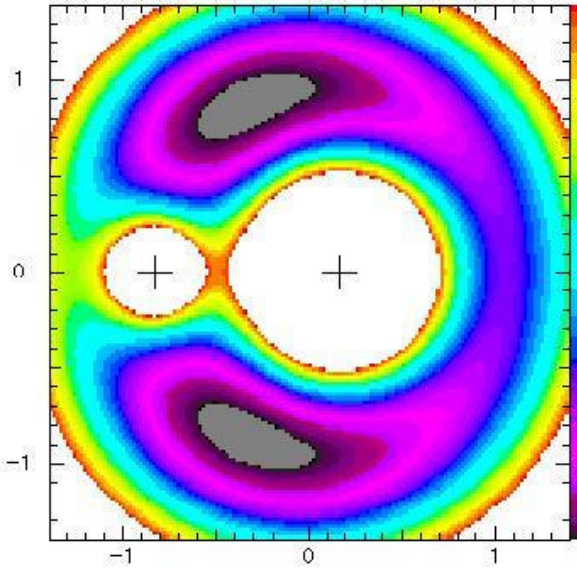
Yukarıdaki kabüller altında ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörüngede dolanan  $m_1$  ve  $m_2$  kütlelerine sahip iki noktasal kütle yakınlığında, kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olan  $m_p$  parçacığının  $V$  uzay hızı (2.4) denklemi ile verilir.

$$V^2 = \omega^2 (x^2 + y^2) + \frac{2Gm_1}{r_1} + \frac{2Gm_2}{r_2} - 2C \quad (2.4)$$

Denklemdaki  $C$  Jacobi integral sabiti,  $r_1$  ve  $r_2$  bileşen yıldızların kütle merkezine olan uzaklıklarını,  $\omega$  ise kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük parçacığın açısal hızını ifade etmektedir. Denklem (2.5)'de bu türlü bir sistemde kütlesi ihmal edilebilecek kadar küçük olan parçacığa  $xy$  düzleminde hız değerlerinin sıfır olacağı  $C$  sabitlerinin hangi değerler alabileceğini gösterir,

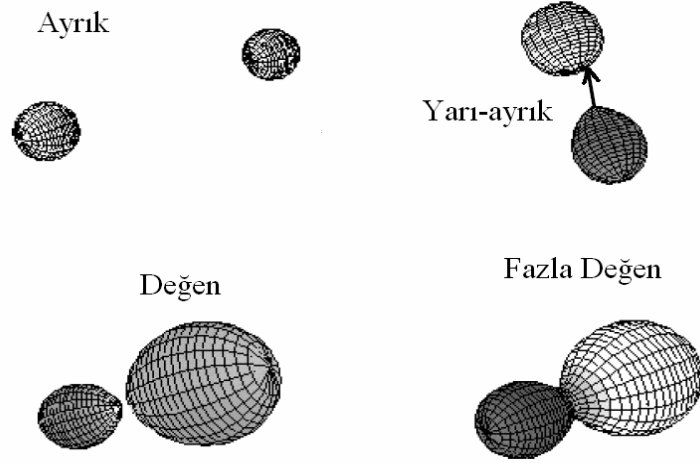
$$C = \frac{\omega^2(x^2 + y^2)}{2} + \frac{Gm_1}{r_1} + \frac{Gm_2}{r_2} \quad (2.5)$$

Denklem (2.5)'de bileşen yıldızların kütle merkezine olan uzaklıkları çok büyük değerler aldığıında, yarıçapı  $\sqrt{C}$  olan asimptotik bir silindir oluşur. Jacobi integral sabitinin büyük değerlerinde  $m_1$  ve  $m_2$  kütleleri etrafında ayrı ayrı küresel şişimler oluşturan yüzeyler elde edilir. Şekil 2.13'de de görüldüğü gibi bir  $C_1$  değerinde  $m_1$  ve  $m_2$  kütleleri etrafındaki şişimler  $x$  ekseninde ve küçük kütleli cisme daha yakın bir noktada birbirlerine değeri. Bu değme noktasına “birinci lagrange noktası ( $L_1$ )” adı verilir. İkinci olarak bir  $C_2$  değeri için dışarıdan gelen asimptotik silindir ile kesişen yüzey elde edilir. Bu kesişme küçük kütleli cismin arka tarafındadır ve “ikinci lagrange noktası ( $L_2$ )” olarak adlandırılır.  $C$  küçülmeye devam ettiğinde  $x$  eksenine göre büyük kütleli bileşen yönünde bir  $L_3$  noktasında kesişme gerçekleşir.  $C$  daha da küçüldüğünde  $x$  eksenine göre simetrik  $L_4$  ve  $L_5$  noktalarında yüzeyler tamamen kapanır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13  $q=0.2$  için hesaplanan Roche eşpotansiyel yüzeyleri (Köppen, 2001)

İlk kez Kopal (1959), çift yıldızları Roche modeline göre 4 ana gruba ayırmıştır. Bu sınıflamada bileşenlerin Roche şişimlerini evrimleşme sonucu doldurma durumları temel alınmıştır (Şekil 2.14). Bu sınıflamaya göre çift yıldızlar:



Şekil 2.14 Çift yıldızların Roche modeline göre sınıflandırılması (Kopal, 1959)

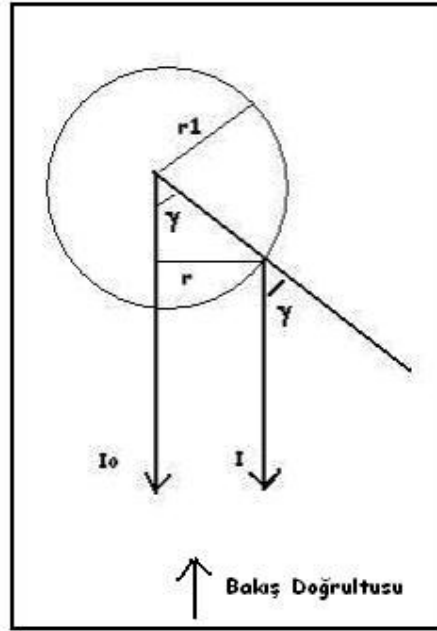
- Ayrık Çift Yıldızlar:* Bileşenlerinin her ikisinde Roche şişimlerini doldurmamış olan çift yıldızlardır ve bu nedenle karşılıklı etkileşme hemen hemen yoktur.
- Yarı-Ayrık Çift Yıldızlar:* Bileşenlerden biri fotosferine ilişkin Roche şişimini doldurmuştur ve bu nedenle çiftler arasında etkileşme vardır. Roche şişimini doldurmuş bileşenden diğeri üzerine kütle aktarımı başlamıştır.
- Değen Çift Yıldızlar:* Bileşenlerin her ikisinde fotosferine ilişkin Roche şişimini doldurmuştur.
- Fazla Değen Çift Yıldızlar:* Bileşenlerin her ikisinde fotosferine ilişkin Roche şişiminin dışına taşmıştır ve sistemi saran ortak bir zarf oluşmuştur.

## 2.5 Işık Eğrisinin Biçimine Etkide Bulunan Parametreler

Örten çift yıldız sistemleriyle ilgili detaylı bilgiyi basit bir ışık eğrisinden öğrenemeyiz, bunun için çok daha yararlı bilgiler edinebileceğimiz karmaşık sistemlerin ışık eğrisine gereksinim duyulur. Işık eğrisinin biçiminin değişimine etkide bulunan temel parametreler aşağıda açıklanmıştır:

### 2.5.1 Kenar kararması

Güneş diskinin merkezi bölgesinden gelen ışığın yeğİnliği ile diskin kenar kısımlarından gelen ışığın yeğİnliği birbirinden farklı olduğu yapılan fotoğrafik gözlemlerden bilinmektedir. Yıldızlar içinde benzer şekilde kenar kararmasının bulunduğu düşünölmektedir. Yıldız diskinin merkezi bölgelerine bakıldığında, fotosferin daha derin katmanlarından çıkan ışınım gözlenirken, yıldız diskinin kenarlarına doğru, fotosferin daha üst katmanlarından çıkan ışınım gözlenir. Yıldız diski boyunca gözlenen ışınımdaki bu değişime *kenar kararması* adı verilir. Kenar kararması, yıldızların sıcaklıklarına, gözlenen ışınımın dalga boyuna, yıldız diski üzerindeki parlaklık dağılımına, yarıçap vektörünün bakış doğrultusu ile yaptığı açığa bağlıdır (Şekil 2.15).



Şekil 2.15 Kenar kararma etkisi

Yıldızın merkezinden salınan ışınım,  $I_0$  ve kenardan salınan ışınım,  $I$  ile gösterilirse, bakış doğrultusu ile yarıçap vektörü arasındaki açı  $\gamma$  olmak üzere, yıldızın merkezinden kenar kısımlarına doğru gidildikçe gözlenecek ışınımdaki değişim denklem 2.6 ile verilir. Denklem 2.6'da yer alan  $x$  değeri kenar kararma katsayısıdır. Kenar kararma katsayısı  $x$ , kenar kararması yokken 0'dır. Tam kenar kararmasında ise 1'dir.



$$I = I_0 (1 - x + x \cos \gamma) \quad (2.6)$$

Farklı sıcaklıklardaki yıldızlar için kenar kararma katsayıları Al-Naimy (1978), Wade and Rucinski (1985), Van Hamme (1993), Diaz-Cordaves, Claret and Gimenez (1995) tarafından hesaplanmış ve çizelgeler şeklinde yayınlanmıştır. Kenar kararması etkisi, çift yıldızların ışık eğrilerinde özellikle minimumlar yöresinde daha etkin olmakta ve ışık eğrisinin biçiminin değişmesine neden olmaktadır. Kenar kararması etkisi tutulmaların daha erken başlayıp, daha geç bitmesine neden olur.

### 2.5.2 Yansıma etkisi

Yakın çift yıldız sistemlerinde, daha sıcak olan bileşen yıldız, soğuk bileşenin kendine bakan yüzeyini ısıtır. Isınan gaz daha fazla ışınmada bulunacağından, soğuk bileşenin her iki küresi farklı miktarda ışınmada bulunur. Yansıyan ışınının, gelen ışınımına oranı bolometrik albedo katsayısı (yansıma katsayısı) ile belirlenir. Yansımanın miktarı, yansıtan bileşenin atmosferik yapısına göre belirlenir. Eğer yıldız ışımsal ( $T > 7200$  K) bir yıldız ise üzerine düşen ışınının tamamını ( $A = 1.0$ ), konvektif ( $T < 7200$  K) bir yıldız ise üzerine düşen ışınının yarısını ( $A = 0.5$ ) yansıtır (Rucinski 1973). Genellikle ikinci minimuma girmeden ve ikinci minimumdan çıkarken ışık eğrisinde etkide bulunur. Bu evrelerde diğer bileşen yıldız tarafından aydınlatılan yıldızın yüzeyi görüleceğinden ışık eğrilerinde parlaklıklarda artma görülür.

### 2.5.3 Çekim kararması

Yıldızların kendi eksenleri etrafında dönmeleri onların kutuplardan basık ekvator bölgelerinde şişkin olmalarına neden olur. Yüzey çekim ivmesi, merkezden yüzeye kadar olan uzaklık dikkate alınarak belirlendiğinden, yıldızın kutbu ile ekvator bölgeleri arasında çekim ivmesinin farklı değerler almasına neden olur. Hızla dönen bir yıldızda kutup yarıçapı, ekvator yarıçapından daha küçük olacaktır. Enerji yıldızın merkezinde üretildiği düşünüldüğünde yüzeyde gözlenecek ışınım  $1/d^2$  ( $d$ : merkez-yüzey uzaklığı) ile azalacaktır. Bu nedenle yıldızın kutbundan gözlenecek ışınım, ekvator bölgesinden gözlenecek ışınımından daha fazla olacaktır. Çekim kararması veya çekim parlaması olarak adlandırılan bu olay Ziepel (1924) tarafından ışımsal atmosfere sahip yıldızlar

için,  $\alpha=1.0$ , konvektif atmosfere sahip yıldızlarda ise  $\alpha=0.32$  (Lucy 1967) olarak belirlenmiştir.

#### **2.5.4 Basıklaşma**

Kendi eksenini etrafında dönmesinden dolayı yıldızlar kutup bölgelerinden basık, ekvator bölgelerinde şişkin bir hal alırlar. Dolayısıyla dönme gösteren yıldızlara küresellikten sapmış yıldızlar olarak bakılabilir. Böyle bir yıldıza yakın ikinci bir bileşenin bulunması, bileşen yıldız yönündeki çekimsel kuvvetlerin daha güçlü olması nedeniyle ilave bir biçim bozulması ortaya çıkar. Üç eksenli elipsoid şekline sahip olan bu tür yıldızların kendi eksenleri etrafındaki dönme ve diğer bileşeni etrafındaki dolanmaları dikkate alındığında sürekli olarak farklı yüzey alanı göstereceğinden, gözlenecek ışınım gücü de sürekli olarak değişim gösterecektir. Bu etki yıldızların biçimlerinin Roche geometrisi ile temsil edilerek modellenenmektedir.

#### **2.6 Wilson-Devinney Analiz Programı**

Wilson and Devinney ilk kez 1971 yılında örten çift yıldız sistemlerinin gözlenen ışık eğrilerinden, bileşen yıldızların geometrik ve fiziksel parametreleri hesaplayan sentetik ışık eğrisi modelini oluşturmuşlardır. Programlarında yıldızların biçimleri Roche modeli ile temsil edilmiş ve ışık eğrisindeki bozulmalar için çekim kararması, kenar kararması, yansıma etkileri vb. dikkate alınmıştır. Başlangıçta oluşturdukları modelde bileşen yıldızların dairesel yörüngede dolandıkları ve eş zamanlı dönmeye sahip oldukları varsayılmıştır. Sonraki yıllarda, yönteme ilişkin değişiklikler yapılarak daha gerçekçi (Wilson *et al.* 1972, Wilson and Devinney 1973, Wilson and Biermann 1976, Wilson and Sofia 1976, Leung and Wilson 1977, Wilson 1979, Wilson and Van Hamme 2004) modellerin gelişmesi gerçekleştirilmiştir. Böylece üçüncü ışık etkisi, bileşen yıldızlar üzerinde sıcak ve/veya soğuk leke konulabilmesi, dışmerkezliğe sahip yörüngelerin dikkate alınabilmesi, bileşen yıldızların senkronize dönmeme hali gibi parametrelerin dikkate alınarak ışık eğrilerinin modellenenmesi sağlanmıştır. Dikine hız ve birden fazla bandaki ışık eğrilerinin eşzamanlı çözülebilmesi ile bileşen yıldızların fiziksel parametrelerinin hesaplanabilmesi sağlanmıştır.

Wilson-Devinney yöntemi, bilgisayarlarda kullanabilmek için Fortran dilinde hazırlanmış bir programdır (1971) ve birçok bilgisayar işletim sisteminde derlenerek kullanılabilir. Program, örten değişen sistemlerine ait farklı dalga boylarındaki (banttaki) ışık ve dikine hız eğrilerini eş zamanlı çözebilmesi nedeniyle, geometrik ve fiziksel parametrelerin hesaplanmasında en çok kullanılan programdır. Günümüzde kullanılan son sürümünde bileşen yıldızların enerji dağılımları için daha gerçekçi dataların kullanılabilmesi sağlanmıştır. Farklı bantlar için ve dikine hız eğrisinin eş zamanlı çözümü ile dikkate alınan sistem için ortak tek bir parametre setinin elde edilebilmesi sağlanmıştır.

Temel olarak Wilson-Devinney programının kaynak dosyası; teorik ışık ve dikine hız eğrisi hesabı yapan LC (Light Curve) ve en küçük kareler yöntemine göre parametrelerde düzeltme yapan DC (Differencial Correction) olarak iki bölüme ayrılmıştır. Bu bölümünde girilen başlangıç parametreleri diferansiyel düzeltme yöntemiyle hesaplanarak gözlemsel ışık eğrisine en uyumlu teorik ışık eğrisini oluşturan parametrelerin aranması gerçekleştirilir. Teorik ışık eğrisinin hesaplanmasında kullanılan çok sayıda değiştirilebilir parametrenin bulunması nedeniyle, elde edilen çözüm parametrelerinin astrofizik açıdan irdelenmesi zorunludur.

Wilson-Devinney programının gelişimi;

1971-1982 yılları arasındaki gelişim:

1. Eş zamanlı ışık ve dikine hız eğrilerinin çözümü,
2. Yakınlık etkilerini de içeren dikine hız eğrilerinin çözümü,
3. Dış merkezliğe sahip yörüngeli çift yıldız sistemlerinin ışık eğrilerinin analizi,
4. Bileşen yıldızlarda senkronize olmayan dönmenin kullanılması,
5. Basit yıldız lekeli modelinin kullanılabilir olması gibi geometrik ve fiziksel özellikler programa eklenmiştir.

1982-1992 yılları arasındaki gelişim:

1. Her ikisinde seçimsiz olmak üzere, bileşen yıldızlarda detaylı yansıma ve doğrusal olmayan kenar karama katsayılarının kullanılabilmesi,
2. Yıldız yüzeylerindeki leke parametrelerinin ayarlanabilmesi,

3. Dönen yıldız yüzeyi ile hareket edebilen leke modelinin kullanılabilir olması,
4. Programın işleme hızının artırılması gibi özellikler programa eklenmiştir.

1992-1998 versiyonları arasındaki gelişim:

1. LC den alınacak çıktıların MPAGE (0, 1, 2, 3, 4, 5) parametresi ile belirlenmesi
2. DC çözümünün Marquardt  $\lambda$  faktörü içerebilmesi,
3. Yarı saydam yıldızlararası bulutlarının dahil edilebilmesi,
4. Doğrusal olmayan kenar kararma katsayısının karekök yasasına göre hesaplanabilmesi
5. Tayftaki dönme kaynaklı çizgi profillerinin hesaplanabilmesi,
6. DC de gözlem zamanı ve evre'nin bağımsız değişken olarak kullanılabilmesi
7. DC de girdi ve çıktı dosyalarında veri üçlüsünün (zaman ya da evre, ışık ya da dikine hız değerleri, ağırlık) 1, 2, 3, 4 ya da 5 kolonda kullanılabilmesi,
8. LC ve DC parametreleri için girdi ve çıktı formatlarında kullanılan karakter sayısının artırılması,
9.  $\omega$  değerinin derece yerine radyan cinsinden ve  $d\omega/dt$  değerinin ise gün başına radyan olarak alınması,
10. Leke parametreleri olan enlem, boylam ve yarıçap değerlerinin derece yerine radyan cinsinden alınması,
11. DC çıktı formatının çözüm sonuçlarının daha uygun şekilde gösterilmesi için değiştirilmesi gibi özellikler programa eklenmiştir.

1998-2003 versiyonları arasındaki gelişim:

1. Kurucz atmosfer modelinin kullanılabilir olması ve log g ile 19 adet kimyasal kompozisyonun belirtilebilmesi ,
2. Mod 3'te  $A_2$ ,  $g_2$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  parametrelerinin serbest bırakılabilir parametreler olması,
3. LC ve DC dosyaları standart isimleriyle girdi dosyaları açık ifadelerle kullanılabilme hakkı olması gibi özellikler programa eklenmiştir.

## Wilson-Devinney programında kullanılan modlar

Wilson-Devinney programının DC bölümünde serbest bırakılabilir 35 temel parametre bulunmaktadır. Serbest bırakılabilir parametrelerin azaltılabilmesi durumunda program daha hızlı ve güvenilir sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle çift yıldız sistemi hakkında bilinen parametreler değiştirilmeden (sabit tutularak) incelenecek parametrelerin sayısının azaltılması sağlanır.

Wilson-Devinney programı, farklı türden ışık eğrilerinin analizi için çeşitli sınırlamalara sahiptir. Işık eğrisinin türüne göre serbest bırakılabilir parametreler bu programda kullanılan Mod değişkeni ile belirlenir. Aşağıda kullanılabilir modlar ve özellikleri verilmiştir:

**Mod -1:** Bu mod, X-ışın gözlemlerinden sıkışık (kompakt) olan cismin tutulma süresinin bilindiği X-ışın çiftleri için kullanılır. Birinci bileşen sıkışık yıldız olmalıdır. İkinci bileşen için  $\Omega_2$ ,  $q$ ,  $F_2$ ,  $e$ ,  $\omega$ ,  $i$  ve X-ışın tutulması yarı-kalma süresi  $\phi_e$  (programda THE sembolüyle gösterilir) girdi parametreleriyle program tarafından hesaplanır. Çözümlerinde dairesel yörünge yada senkronize dönme sınırlaması yapılmaz. Dışmerkezlik ( $e$ ), 0 ile 1 arasında ve  $F_2$  istenilen değerleri alabilir.

**Mod 0:** Bu mod'da hiçbir sınırlama bulunmaz. Bileşen yıldızların ışınım güçleri oranı ile yüzey sıcaklıkların birbirlerine uyumlu olmaları gerekmez. Program;  $L_1$  ve  $L_2$  değerlerini programa girilen değerler olarak alır,  $L_2$  değerini tekrar hesaplamaz. Mod 0'da bileşen yıldızlar Roche lobundan daha büyük ve yıldızın arka kısmında bir delik (boşluk) olabilir.

**Mod 1:** Bu mod W UMa türü yıldızlar gibi bileşenleri birbirine çok yakın ya da aşırı degen sistemler için kullanılır. Yedi sınırlama mevcuttur: 1) birinci bileşenin yüzey potansiyeli ile ikinci bileşenin yüzey potansiyeli birbirine eşit alınmalıdır ( $\Omega_1=\Omega_2$ ). 2) ikinci bileşenin kutup sıcaklığı, sistemi saran ortak zarftan hesaplanmalıdır. 3) ikinci bileşenin çekim kararına sabiti ( $g_1=g_2$ ) aynı

olmalıdır, 4) bolometrik albedo değerleri ( $A_1=A_2$ ) aynı olmalıdır, 5 ve 6) kenar kararma katsayıları baş bileşeninki ile aynı olmalıdır ( $x_1=x_2$ ,  $y_1=y_2$ ) ve son olarak 7)  $L_2$  parametresi yıldız atmosferleri yada karacisim ışınım denklemleriyle hesaplanmalıdır. Mod 1'de ışık eğrisinde görülen birinci ve ikinci minimum derinliklerindeki farklılıklar çekim kararma ve kenar kararma katsayıları değiştirilerek bu mod'da giderilebilmektedir.

**Mod 2:** Bu mod bileşen yıldızların yüzey potansiyelleri için kısıtlamaların yapılmadığı ayırık çift yıldız sistemleri için kullanılır. Sadece ikinci bileşen yıldızın ışınım gücünün ( $L_2$ ) diğer parametrelerden hesaplanması (yıldız atmosferleri ya da kara cisim ışınımı yaklaşımı yapılarak) için bir kısıtlama yapılmıştır.  $L_2$  değeri ikinci bileşen yıldızın yüzey sıcaklığından hesaplanır. Yüzey sıcaklığı ile ışınım gücü arasındaki bu eşleşme  $IPB=1$  alınarak değiştirilebilir (normalde  $IPB=0$ ). Mod 2 bu sınırlamalar dışında  $IPB=1$  seçilirse Mod 0 ile aynıdır.

**Mod 3:** Bu mod; fazla değen çift yıldız sistemler için kullanılır. Mod 1'deki  $T_2$ ,  $g_2$ ,  $A_2$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  parametreleri üzerindeki kısıtlamalar bu modda yoktur. Sadece ikinci bileşen yıldızın yüzey potansiyeli, birinci bileşenin yüzey potansiyeli ile eşit alınır ( $\Omega_2=\Omega_1$ ).

**Mod 4:** Bu mod yarı-ayırık çift yıldız sistemleri için kullanılır. Baş bileşen, Roche lobunu doldurmuştur. Uygulanan kısıtlamalar  $\Omega_1$  değerinin Roche lobunu dolduracak değerde olması ve  $IPB=1$  olmaması durumunda  $L_2$  değerinin yüzey sıcaklığı ile eşleşmiş olmasıdır.

**Mod 5:** Bu mod ikinci bileşen yıldızın Roche lobunu doldurmuş olması dışında Mod 4 ile aynıdır. Bu mod Algol türü yıldız sistemleri için kullanılır.

**Mod 6:** Bu mod, bileşen yıldızların her ikisinin Roche loblarını doldurduğu aşırı değen sistemler için kullanılır. Bu modda, Mod 4 ve Mod 5'te olduğu gibi yüzey potansiyeli değerleri için verilen kısıtlamaları geçerlidir.

Öncelikle ışık eğrisi analizine başlamadan önce yukarıda açıklamaları verilen modlardan uygun olan seçenek belirlenmelidir. Bunun için sistem daha önce çalışılmış ise o çalışmada kullanılan mod (hatalı olabileceği dikkate alınmalıdır) kullanılır veya ilk kez analizi yapılacak ise ışık eğrisinin biçimine bakılarak seçim yapılmalıdır.

### **3. MATERYAL VE YÖNTEM**

#### **3.1 Materyal**

Çalışmada incelenen GSC 2751-1007 ve FI Bootis sistemlerinin ışık eğrileri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde bulunan T40 teleskobu ve buna bağlı olan AP7p CCD dedektörü kullanılarak B, V ve R bandlarında 2004 yılında elde edilmiştir. Alınan CCD görüntüleri MaxIm DL programı kullanılarak önce bias ve dark etkileri giderilmiş ve ardından flat düzeltmesi gerçekleştirilmiştir. Bu düzeltmelerin gerçekleştirildiği yıldız görüntülerinden yararlanarak gözlemleri gerçekleştirilen yıldızlara ilişkin diferansiyel parlaklık değerleri uygun mukayese yıldızı ve denet yıldızı seçilerek elde edilmiştir. Gözlem zamanları Güneş merkezine indirgenmiş ve atmosferik sönmüleme etkisi giderilmiştir. GSC 2751-1007 ve FI Bootis sistemlerinin üç bantta elde edilen ışık eğrileri kendilerine özgü ışık elemanları kullanılarak evrelendirilmiştir. Işık eğrilerinin analizi günümüzde en çok kullanılan Wilson-Devinney programının 2003 sürümü ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemsel verilerden yararlanarak ışık eğrilerinden minimum zamanları Kwee and van Woerden (1956) yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve hataları ile birlikte verilmiştir.

#### **3.2 Yöntem**

Wilson-Devinney programı, çift yıldız sistemlerinin ışık eğrileri analizi konusunda çok yaygın bir şekilde kullanılan bir bilgisayar programıdır. Örtün değişen yıldızların farklı filtrelerde alınmış ışık ve dikine hız eğrisilerini eşzamanlı olarak analizlerini gerçekleştirilme özelliğine sahip olması ve kaynak kodlarının ücretsiz olarak dağıtılması nedeniyle, Dünya'da en çok kullanılan program olma özelliğini taşımaktadır. Program, analizi gerçekleştirilen sisteme ilişkin fiziksel ve yörüngesel parametrelerini hesaplayabilme özelliğine sahiptir. Literatürde ışık eğrisi analizi konusunda yapılan çalışmaların neredeyse tamamı, Wilson-Devinney programı veya bu programdan üretilen türevleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Wilson-Devinney programı, ışık eğrisi çözümünde değiştirilebilir toplam 35 parametreye sahiptir. Değiştirilebilir parametre sayısının çokluğu nedeniyle ışık eğrilerinin analizlerinde kullanıcılar çok dikkatli olmalıdırlar. Öncelikle ilgilendikleri sistem hakkında iyi bir literatür taraması gerçekleştirip değiştirilebilir parametrelerin sayısının azaltılması zorunludur. Daha hızlı ve daha doğru ışık eğrisi çözümleri gerçekleştirebilmek için sistem hakkında çeşitli (tayf türü, kütle oranı gibi) bilgilere ihtiyaç duyulur. Değiştirilebilir parametre sayısının azaltılması hem programın işlem zamanını azaltır hemde daha doğru sonuçlara ulaşmayı sağlar. Fakat ilgilendikleri sistem hakkında herhangi bir literatür bilgisine ulaşamıyorsa, bu durumda analizler benzer sistemler için yapılmış istatistiksel ve teorik çalışmalardan elde edilmeye çalışılır.

Bir sistemin ışık eğrisinin yapısı, o sistem hakkında çeşitli bilgiler verebilmektedir (örn. minimum derinliklerinin birbirine çok yakın olması, minimum tabanının düz olması gibi). Sistemin ışık eğrisi, onun hangi mod'u kullanarak analizinin gerçekleştirilebileceği konusunda bilgi verebilir. Bazen tam olarak hangi mod'un analizlerde kullanılacağını kestirmek mümkün olmayabilir (değen sistemler veya değmek üzere olan sistemler) bu durumda genellikle sistemlerin ışık eğrisi analizlerinde iki ayrı çözüm gerçekleştirilir ve hangi çözümün, sistemi daha iyi temsil edebileceği üzerine tartışma gerçekleştirilir (Gürol *et al.* 2006).

GSC 2751-1007 ve FI Bootis sistemlerinin her ikisi de W UMa türü sistemlerdir. Wilson-Devinney programında W UMa türü sistemlerin ışık eğrisi analizlerinde Mod 1 veya Mod 3 kullanılır. Bu iki mod arasındaki temel farklılık Mod 1'de bulunan yoldaş bileşene ait değiştirilebilir parametrelerden bazıları üzerindeki kısıtlamaların kaldırılmasıdır. Bu parametreler yoldaş bileşenin  $T_2$  sıcaklığı, çekim kararım sabiti, albedosu ve kenar kararım katsayısıdır. Mod 3 genel olarak bileşen yıldızların birbirlerine değdiği, fakat henüz ısısız dengenin sağlanmadığı sistemlerin ışık eğrilerinin çözümünde kullanılır.

Gözlemlerini gerçekleştirdiğimiz GSC 2751-1007 ve FI Bootis sistemlerinin ışık eğrisi analizlerinde ışık eğrilerindeki minimum derinliklerinin birbirinden farklı olduğu



dikkate alınarak Mod 3'de çözümlerin gerçekleştirilmesi gerektiğine karar verdik. Minimum derinlikleri arasında farklılıkların bulunması sistemin ısısal dengede olmadığını bir göstergesidir. FI Boo sisteminin ışık eğrisi analizi ilk olarak Mod 3 seçilerek daha sonra Mod 1 seçilerek gerçekleştirilecektir.

Herhangi bir ışık eğrisi analizi gerçekleştirilmeden önce ışık eğrisi analizinin gerçekleştirilecek sistem hakkında literatür bilgisine ihtiyaç duyulur. Literatürde bulunan her türlü bilgi sistemin ışık eğrisi çözümünde anahtar rol oynar ve daha güvenilir sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Şayet literatür bilgisi bulunmayan bir sistemin ışık eğrisi analizi gerçekleştirilecek ise bu durumda ilgilenilen sisteme özgü teorik çalışmalar ve çeşitli bağıntılardan yararlanılma yoluna gidilir. Herhangi bir ışık eğrisi analizi için temel olarak belirlenmesi gereken başlangıç parametreleri; yörünge düzleminin bakış doğrultumuza dik düzlemle yaptığı açı  $i$  (°), bileşen yıldızların etkin sıcaklık  $T_{1,2}$  değerleri, sistemin kütle oranı  $q=m_2/m_1$ , bileşen yıldızların kesirsel ışınım gücü  $L_{1,2}$  değerleri, bileşen yıldızların yüzey potansiyeli  $\Omega_{1,2}$  değerleri, yıldızlara ait kenar kararma katsayıları  $x_{1,2}$ , bolometrik albedo değerleri (yansımaya katsayısı)  $A_{1,2}$  ve çekim kararma sabitleri  $g_{1,2}$ 'dir. 1 ve 2 alt indisleri sırasıyla baş bileşen ve yoldaş bileşen için kullanılmıştır.

Işık eğrilerinin analizi Mod 3'de gerçekleştirileceğinden bu mod'da kullanılacak sınırlamalar önem kazanmaktadır. Bu mod'da yoldaş bileşene ait  $T_2$ ,  $A_2$ ,  $g_2$ ,  $x_2$  ve  $y_2$  parametreleri serbest bırakılabilir parametrelerdir, fakat  $\Omega_2=\Omega_1$  ve  $T_2=T_1(a_2/a_1)^{0.25}$  şeklinde yoldaş bileşenin yüzey potansiyeli ve sıcaklık değerleri baş bileşene ait değerlerden hesaplanmalıdır.

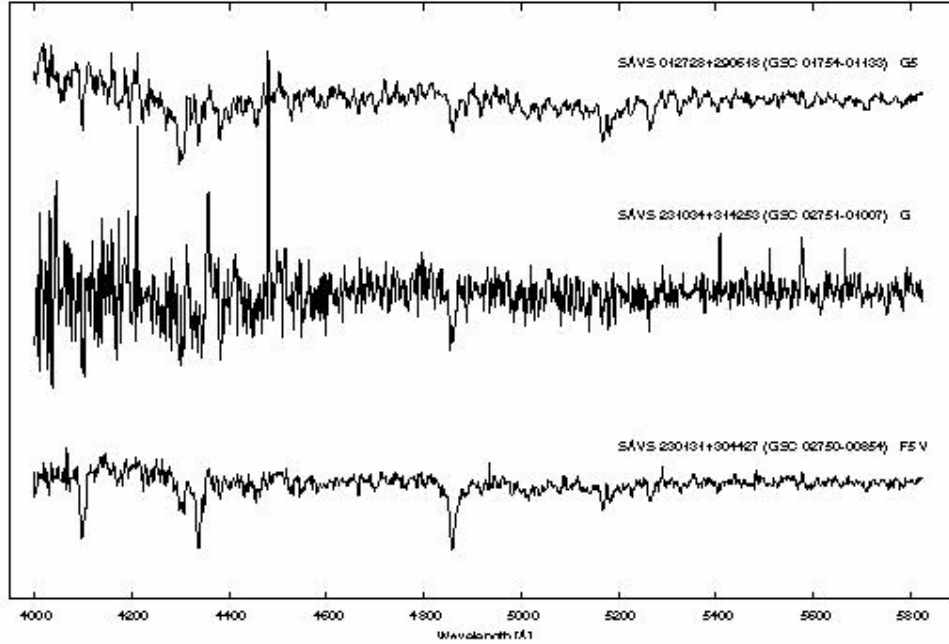
## 4. KAYNAK ÖZETLERİ

### 4.1 GSC 2751-1007 Çift Yıldız Sistemin İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Kısa dönemli W UMa türü örten değişen çift yıldız sistemi GSC 2751-1007 (SAVS J231034+314253,  $V_{max}=12^m.85$ ,  $V_{min}=11^m.83$ ) Maciejewski *et al.* (2004) tarafından SAVS (Semi-Automatic Variability Search) CCD gözlemleri ile keşfedilmiş ve olası W UMa değişeni olarak sınıflandırılmıştır. Bu gözlemler sonucunda GSC 2751-1007 sistemine ait ilk ışık elemanları aynı araştırmacılar tarafından

$$\text{Min I (HJD)}=2452885.2469+0.417461 \times E \quad (4.1)$$

olarak verilmiştir. Maciejewski *et al.* (2004) sistemin tayf türünün belirlenmesi amacıyla aynı zamanda tayfsal gözlemlerini de yapmışlar (Şekil 4.1), sistemin tayf türünün *Ge* olduğunu belirlemişlerdir. Tayfsal gözlemlerdeki gürültünün fazla olması nedeniyle *G* tayf türünün alt sınıfı konusunda bir bilgi verememişlerdir.



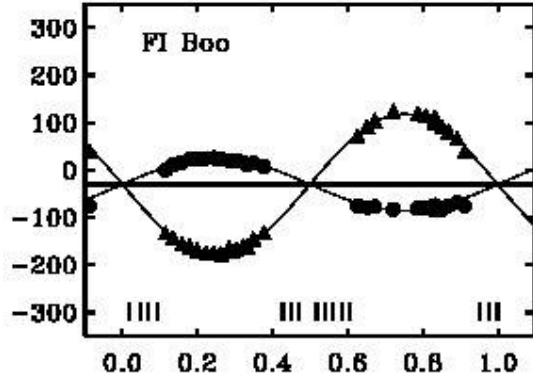
Şekil 4.1 Maciejewski *et al.* (2004) tarafından GSC 2751-1007 sisteminin gözlenen tayfı

Bu bilgilerin dışında sistem hakkında başka bir bilgi literatürde bulunmamaktadır. Sistemin salma çizgisi gösteren bir tayfa sahip olması, sistemi saran sıcak ince (az yoğunluklu) bir disk veya gaz bulutun bulunduğunu gösterir. Şayet disk veya yaygın gaz bulutu oluşturan kaynak bileşen yıldızlardan biri tarafından atılan madde ise, bu durumda sistemin dönem değişimi göstermesini beklemek mümkündür. Fakat bu türlü dönem değişimi analizleri için uzun bir zaman aralığına dağılmış gözlemsel verilere ihtiyaç duyulur.

#### **4.2 FI Bootis Çift Yıldız Sistemin İle İlgili Daha Önce Yapılan Çalışmalar**

FI Bootis sisteminin değişen bir yıldız olduğu ilk olarak 1997 yılında HIPPARCOS uydusu tarafından keşfedilmiştir. Daha sonra Duerberk (1997) sistemin dönemi 0.39 gün olan bir W UMa türü değişen olduğunu ve tayf türünün ise G5 olduğunu belirtmiştir. Kazarovets *et al.* (1999) HIPPARCOS verilerinden, sistemin GCVS isminin FI Boo olduğunu yayınlamıştır.

Lu *et al.* (2001), sistemi tayfsal olarak gözlemiş ve ilk dikine hız eğrisini yayınlamıştır (Şekil 4.2). Aynı çalışmada sistemin tayf türü olarak G3V verilmiş ve sistemin W-türü bir W UMa olduğu belirtilmiştir. Şekil 4.2'den de görüleceği gibi büyük kütleli yani genliği daha küçük olan bileşen birinci minimumda diğer bileşeni örtmektedir. Bu nedenle sistemin W-türü bir W UMa olduğunu söylemişlerdir. Sistemin dikine hız eğrisi analizinden kütle oranı  $q=0.372\pm 0.04$  olarak Lu *et al.* (2001) tarafından hesaplanmış ve dikine hız eğrilerine ilişkin verileri yayınlamıştır.



Şekil 4.2 FI Boo sisteminin dikine hız eğrisi (Lu *et al.* 2001)

Pribulla *et al.* (2002), FI Boo sisteminin fotometrik gözlemlerini gerçekleştirmiş ve yeni ışık elemanlarını ile minimum zamanlarını yayınlamıştır. Sistemin ışık elemanı,

$$\text{Min I (HJD)}=2451718.3979+0.3899978xE \quad (4.2)$$

şeklinde verilmiştir. Selam (2004), ışık eğrilerinin Fourier dönüşümlerine dayalı bir yöntem kullanarak HIPPARCOS fotometrik verilerinin analizini gerçekleştirmiş ve sistemin fotometrik kütle oranı için  $q=0.35$  ve yörünge eğim açısı için  $i=45^\circ$  değerlerini vermiştir. Pribulla and Rucinski (2006) FI Boo sistemini inceledikleri 151 W UMa türü sistem içerisinde üçüncü bileşene sahip sistemler arasında göstermiştir.

Terrell *et al.* (2006) FI Boo sistemini UBVRcIc bandlarında gözlemleyerek, Lu *et al.* (2001) tarafından elde edilen dikine hız eğrisi ile birlikte eşzamanlı çözümünü gerçekleştirmiş ve bileşen yıldızların kütleleri için  $0.82M_\odot$  ve  $0.31M_\odot$  değerlerini vermiştir. Ayrıca sistemin A-türü bir W UMa olduğunu belirtmiştir. Bu bilgi Lu *et al.* (2001) tarafından sistemin türü için verilen W-türü bilgisinden farklılık göstermektedir ve temel nedeni ışık ve dikine hız eğrisinin incelenmesinde kullanılan ışık elemanlarının farklılığıdır. Yaptıkları çalışmada sistemin güncellenmiş ışık elemanları

$$\text{Min I (HJD)}=2453142.0857(3)+0.3899879xE \quad (4.3)$$

olarak verilmiştir. Terrell *et al.* (2006) tarafından Wilson-Devinney programı kullanılarak Mod 3’de yaptıkları çözüm ve parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** FI Boo sisteminin çözüm parametreleri (Terrell *et al.* 2006)

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
$a (R_{\odot})$	$2.34 \pm 0.04$
$V_{\gamma} (km/s)$	$-30.4 \pm 0.1$
$i (^{\circ})$	$43.1 \pm 0.9$
$T_1 (K)$	5528
$T_2 (K)$	$5119 \pm 42$
$\Omega_1$	$2.626 \pm 0.007$
$q$	$0.382 \pm 0.002$
HJD	$2453142.0857 \pm 0.0003$
P(gün)	$0.38999879 \pm 0.00000008$
$L_1/(L_1+L_2)_U$	$0.837 \pm 0.013$
$L_1/(L_1+L_2)_B$	$0.802 \pm 0.009$
$L_1/(L_1+L_2)_V$	$0.782 \pm 0.007$
$L_1/(L_1+L_2)_{Rc}$	$0.771 \pm 0.008$
$L_1/(L_1+L_2)_{Ic}$	$0.762 \pm 0.006$
$L_1/(L_1+L_2)_U$	$0.788 \pm 0.009$
$R_1 (R_{\odot})$	$1.10 \pm 0.02$
$R_2 (R_{\odot})$	$0.71 \pm 0.01$
$M_1 (M_{\odot})$	$0.82 \pm 0.04$
$M_2 (M_{\odot})$	$0.31 \pm 0.02$
$L_1 (L_{\odot})$	$1.02 \pm 0.04$
$L_2 (L_{\odot})$	$0.31 \pm 0.04$

## 5. BULGULAR

### 5.1 GSC 2751-1007 Çift Yıldız Sistemiyle İlgili Bulgular

#### 5.1.1 Gözlemler

GSC 2751-1007 sisteminin gözlemleri; 20 ve 23 Ekim 2004 tarihleri arasında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) bulunan T40 teleskopu ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde dedektör olarak AP7p CCDsi kullanılmış ve gözlemler B, V ve R filtrelerinde yapılmıştır. Teleskop sisteminin takip mekanizmasının iyi olmaması nedeniyle bazı gözlemsel veriler kullanılmamıştır. Yapılan gözlemlerde B bandında 349, V bandında 355 ve R bandında 356 adet gözlemsel veri dikkate alınmıştır.

Gözlemsel veriler MaxIm DL programı kullanılarak önce bias ve dark etkisinden arındırılmış ve ardından flat düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Bazı gözlemlerde takip mekanizmasından kaynaklanan problemler nedeniyle yıldızların armutlaşmış görüntülerinin olduğu görülmüştür. Temel olarak CCD görüntüsü içerisinde bulunan değişen, mukayese ve denet yıldızlarında aynı etki görüleceğinden bu verilerin de kullanılmasına karar verilmiştir. Fakat bu tür görüntülerden elde edilecek verilerin ışıık eğrisinde saçılmaya neden olacağı ve bunun da sonuçlarımızı etkileyeceği kesindir.

MaxIm DL programı aynı gözlem gecesine ait gözlemsel verileri kullanarak seçilen değişen, mukayese ve denet yıldızları için kadir biriminde parlaklık değerlerini hesaplayabilmektedir. Dikkate alınan her görüntü kullanılarak seçilen yıldızlara ilişkin ham parlaklık değerleri elde edilmiş ve elde edilen bu verilerden yararlanarak diferansiyel parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Aynı CCD görüntüsü içerisinde bulunan yıldızlar aynı atmosferik koşullardan etkilendiği için (yıldızların renkleri birbirine yakın ise) atmosferik sönmleme etkisinin giderilmesine gerek duyulmaz. Sonuç olarak gözlem zamanı (JD), değişen yıldızın koordinatları ve gözlemevinin konumu dikkate alınarak bilinen hesaplama yöntemleri kullanılarak Güneş Merkezli Jülyen Günü (HJD) zamanlarına dönüştürülmüştür.

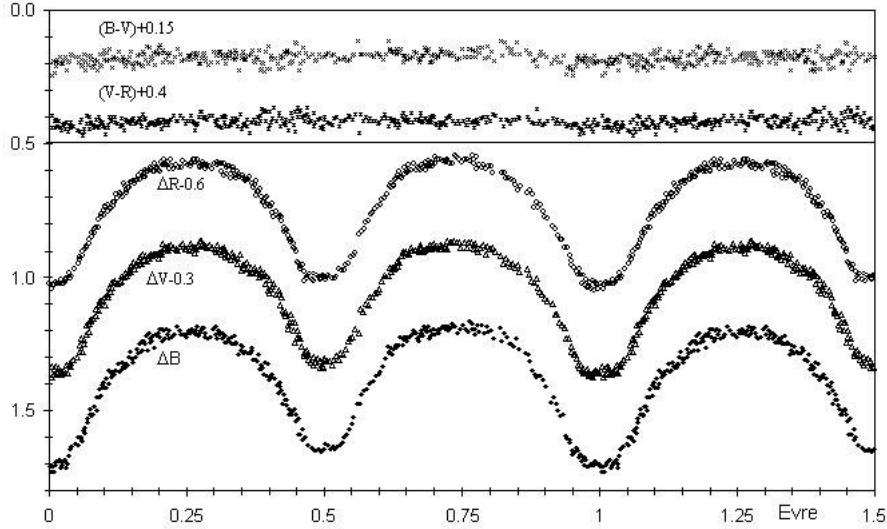
Çizelge 5.1 Değişen, mukayese ve denet yıldızına ait parametreler

Parametreler	Değişen	Mukayese	Denet
Katalog İsmi	GSC 2751-1007	GSC 2751-1883	GSC 2751-0129
$\alpha(2000)$	23 <sup>sa</sup> 10 <sup>dk</sup> 34 <sup>sn</sup>	23 <sup>sa</sup> 10 <sup>dk</sup> 32 <sup>sn</sup> .14	23 <sup>sa</sup> 10 <sup>dk</sup> 34 <sup>sn</sup> .42
$\delta(2000)$	31° 42' 54"	31° 47' 00".4	31° 47' 13".6
V	12 <sup>m</sup> .34	12 <sup>m</sup> .50	11 <sup>m</sup> .09

İndirgemeler gerçekleştirilirken mukayese yıldızı olarak GSC 2751-1883 ve denet yıldızı olarak da GSC 2751-0129 kullanılmıştır. Yıldızlara ait katalog bilgileri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Mukayese-Denet parlaklık değişimi incelenmiş ve herhangi bir değişime rastlanmamıştır. Ortalama olarak gözlemlerin standart sapması B, V ve R bandlarında sırasıyla  $\pm 0.03$ ,  $\pm 0.04$  ve  $\pm 0.03$  olduğu denet yıldızının gözlemleri kullanılarak belirlenmiştir

Şekil 5.1'de yukarıda belirtilen işlemler sonucunda elde edilen B, V ve R bandları ile (B-V) ve (V-R) renkleri aşağıda verilen ışık elemanları kullanılarak grafike edilmiştir.

$$\text{Min I (HJD)}=2453301.4459(4) + 0.417451 \times E \quad (5.1)$$



Şekil 5.1 GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde gözlenen ışık ve (B-V), (V-R) renk eğrileri

**Çizelge 5.2** GSC 2751-1007 sisteminin ışık eğrisine ilişkin özellikler

Evre	$\Delta B$	$\Delta V$	$\Delta R$
0.00	1.711	1.635	1.625
0.25	1.225	1.191	1.179
0.5	1.647	1.609	1.613
0.75	1.181	1.170	1.166
I. Min Derinliği	0.486	0.444	0.446
II. Min Derinliği	0.466	0.439	0.447
$\Delta_{\max}$ (Max I – Max II)	0.044	0.021	0.013
$\Delta_{\min}$ (Min I – Min II)	0.064	0.026	0.012

Tipik bir W UMa türü ışık eğrisine sahip olan GSC 2751-1007 sisteminin ışık eğrisinin özellikleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

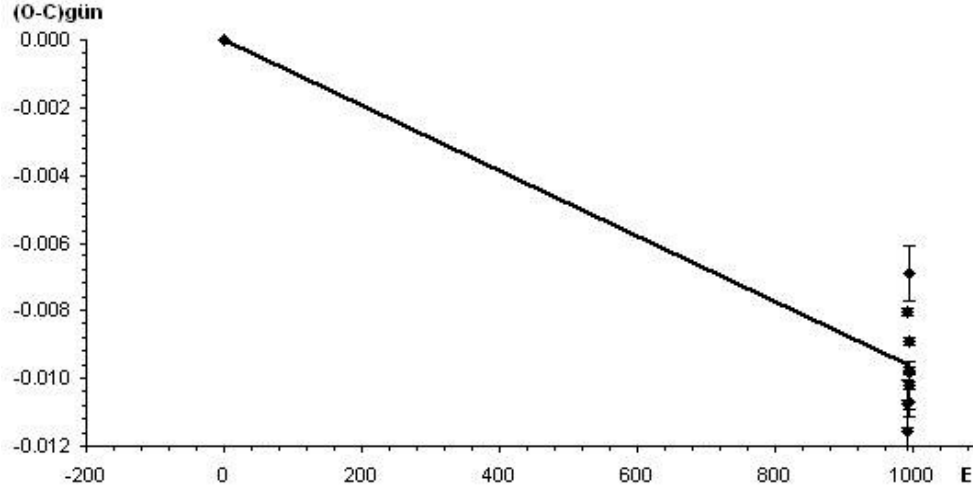
### 5.1.2 Dönem analizi

Sistemin 20 ve 23 Ekim 2004 tarihleri arasında yapılan gözlemlerinden altı adet birinci minimum (Min I) ve üç adet ikinci minimum (Min II) olmak üzere toplam dokuz adet minimum zamanı, Kwee and van Woerden (1956) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.3’de hesaplanan minimum zamanları hataları ile birlikte listelenmiştir.

**Çizelge 5.3** GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan yeni minimum zamanları

HJD Min	Hata ( $\pm\sigma$ )	Min. Türü	Filtre
2453300.4038	0.0001	I	B
2453300.4011	0.0007	I	V
2453300.4003	0.0009	I	R
2453301.2370	0.0001	I	B
2453301.2398	0.0008	I	V
2453301.2378	0.0001	I	R
2453301.4453	0.0007	II	B
2453301.4456	0.0003	II	V
2453301.4447	0.0004	II	R





Şekil 5.2 GSC 2751-1007 sistemi için çizilen (O-C) değişimi. Geçmiş zamanlara ilişkin sadece tek bir minimum zamanı bulunmaktadır. Bütün minimum zamanları dikkate alınarak gerçekleştirilen fit şeklinde verilmiştir

Şekil 5.2’de Maciejewski *et al.* (2004) tarafından verilmiş olan minimum zamanları ve Çizelge 5.3’de hesaplanan minimum zamanları kullanılarak çizilen O-C değişimi gösterilmiştir. Maciejewski *et al.* (2004) tarafından verilen ışık elemanları

$$\text{Min I (HJD)}=2452885.2469+0.417461 \times E \quad (5.2)$$

kullanılarak çizilen O-C değişiminden, ışık eğrisi analizinin gerçekleştirilmeden önce sistemin ışık elemanlarının düzeltilmesi gerektiği görülmektedir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen doğru fit’i ve bu fit’e ilişkin katsayılar aşağıdaki gibidir,

$$(O-C) \text{ gün}=-0.000001 \times E-0.000002 \quad (R^2=0.831)$$

Yukarıda bulunan katsayılardan yararlanarak Maciejewski *et al.* (2004) tarafından verilen ışık elemanları aşağıdaki gibi düzeltilmiştir,

$$\text{Min I (HJD)}=2453301.44590 + 0.417451 \times E \quad (5.3)$$

### 5.1.3 Işık eğrisi analizi

GSC 2751-1007 sisteminin tayf türü,  $Ge$ , ve dönemi dışında hakkında literatürde başka bir bilgi bulunmamaktadır. Sistemin ışık eğrisi analizinin gerçekleştirilebilmesi için başlangıç parametrelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgi parametreleri çok iyi bilinen W UMa türü sistemler üzerinde gerçekleştirilen çalışmalardan elde edilebilir.

Wang (1994), yaptığı inceleme sonucunda W UMa türü sistemlerde, yörünge dönemleri ile sistemin öz renkleri arasında bir bağıntının bulunduğunu ortaya koymuştur. Wang (1994) tarafından verilen bağıntı bileşenleri merkezi hidrojenini yakan normal yıldızlar olan ve anakol yıldızları için oluşturulmuş kütle-ışınım gücü bağıntısına uyan sistemler için aşağıdaki gibidir,

$$(B-V)_0 = 0.077 - 1.003 \log P(\text{gün}) \quad (R^2=0.78) \quad (5.4)$$

Bu bağıntıdan yararlanarak sistemin kızarmaya uğramamış öz rengine ilişkin bir değer elde edilebilir. Burada  $(B-V)_0$  sistemin öz rengini ve  $P(\text{gün})$  ise sistemin yörünge dönemini göstermektedir. Denklem (5.4) ile verilen ifadenin korelasyon katsayısının yeterince yüksek olması, bu tür sistemler için öz rengin yeterli bir doğrulukla elde edilebileceğini göstermektedir.

Sistemin bir önceki kesimde düzeltilmiş dönem değeri kullanılarak hesaplanan öz rengi  $(B-V)_0=0.4575$ 'dir. Şekil 5.1'den de görülebileceği gibi birinci ve ikinci minimumlar arasındaki parlaklık farkının  $\Delta(\text{Min.I}-\text{Min.II}=0.072)$  küçük olması, bileşen yıldızların ışınım güçleri arasındaki farkın küçük olduğunu gösterir. W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların ortak bir zarf içerisinde buldukları ve her iki bileşenin de hemen hemen aynı sıcaklığa sahip oldukları bilindiğinden, bu öz renk değerinin sistemde bulunan daha sıcak bileşene ait olduğunu söyleyebiliriz.

Şekil 5.1'de özellikle örtme ve örtülmenin gerçekleştiği 0.0 ve 0.5 evrelerinde sistemin  $(B-V)$  renginde herhangi bir değişim görülmemektedir. Birinci minimumda ışınım gücü daha yüksek olan bileşenin örtüldüğü doğru olmasına rağmen, renk değişimi

incelendiğinde örtülen bileşenin daha sıcak olan bileşen mi, yoksa soğuk olan bileşen mi olduğunu söylemek mümkün değildir.

W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların geç tayf türünden olduğu kesim 2.3.3’de bahsedilmişti. Sekiguchi and Fukigita (2000) tarafından F0-K5 tayf türünden cüce ve dev yıldızlar için teorik olarak hesaplanmış *öz renk-sıcaklık* arasındaki bağıntıdan yararlanarak sistemin sıcaklığı 6386 K olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplanan sıcaklık değerinin denetlenmesi amacıyla Rucinski and Duerbeck (1997) tarafından uzaklığı bilinen degen çift yıldızlar için verdikleri kalibrasyon ifadesi kullanılabilir. Denklem (5.5) ile verilen kalibrasyon ifadesi, sistemin öz rengi ile yörünge döneminden, sistemin mutlak parlaklığını hesaplamak mümkündür.

$$M_{\text{vcal}} = - 4.44 \log P (\text{gün}) + 3.02(B-V)_0 + 0.12 \quad (5.5)$$

GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan  $(B-V)_0=0.4575$  ve  $P(\text{gün})=0.417451$  değerleri kullanıldığında, sistemin mutlak parlaklığının  $3^{\text{m}}.17 \pm 0.1$  olduğu görülmüştür. Hata değeri Denklem (5.5) için Rucinski and Duerbeck (1977) tarafından verilen hata değeridir. Bu mutlak parlaklığa sahip bir sistemde iki adet birbirine benzer yıldız bulunduğu kabul edilirse, bileşen yıldızlardan birinin mutlak parlaklığı bu değerden sayısal olarak daha büyük olmalıdır. Bu durumda, hata boyutunu da dikkate alarak,  $M_v=3^{\text{m}}.18$  ve  $3^{\text{m}}.16$ , değerleri için hesaplama yapıldığında; sistemin mutlak parlaklıkları  $3^{\text{m}}.93$  ve  $3^{\text{m}}.91$  olan iki adet yıldızdan oluşabileceği düşünülebilir. Bileşen yıldızların normal anakol yıldızları oldukları kabul edildiğinde, bu mutlak parlaklığa sahip yıldızların tayf türlerini ve sıcaklıklarını oluşturulmuş çeşitli kalibrasyon tablolarından elde edebiliriz. Bu amaçla Allen tarafından yayınlanan “Astrofiziksel Parametreler” (Cox 2000) tablolarından yararlanarak, anakol yıldızları için oluşturulmuş *mutlak parlaklık-sıcaklık* tablosundan, sıcaklık değerleri sırasıyla 6306 K ve 6322 K olarak hesaplanmıştır. Bu sıcaklığa sahip yıldızların tayf türü F7V-F8V aralığındadır (Cox 2000). Straizys and Kuriliene (1981)’in çalışmasından ise bu mutlak parlaklığa karşılık gelen tayf türünün F7V olduğu ve bu tayf türüne karşılık gelen sıcaklık değerinin 6266 K olduğu hesaplanmıştır.

Yukarıda hesaplanan sıcaklık değerleri sistemi oluşturan bileşen yıldızların mutlak parlaklıklarının birbirlerine eşit olduğu kabulü ile gerçekleştirilmiştir, fakat W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların ışınım güçlerinin birbirine yakın görülmesinin temel nedeninin sistemi saran ortak zarftan kaynaklandığı bilinmektedir. Doğru bir kabul olmamasına karşın bileşen yıldızlardan birinin en azından hesaplanan bu sıcaklık değerine yakın sıcaklığa sahip olduğu kabul edilebilir ve sistemin ışık eğrisi çözümünde başlangıç parametresi olarak kullanılabilir. Bu düşüncemizi destekleyen bir başka bulgu Maciejewski *et al.* (2004) tarafından yapılan sistemin tayfsal gözlemi olmaktadır. Sistem için Maciejewski *et al.* (2004) tarafından tahmin edilen tayf türü, *Ge'*dir ve çalışmalarında inceledikleri diğer sistemlere ilişkin tayflar ve tayf türleri dikkate alındığında GSC 2751-1007 sisteminin G5 ile F5 tayf türleri arasında bulunduğu söylenebilir. Şekil 4.1'de görülen soğurma çizgileri incelendiğinde, GSC 2751-1007 sisteminin F5 tayf türüne daha yakın özellikler gösterdiği söylenebilir. Bu bilgi yıldızların tayf türlerinin gözlenen soğurma çizgilerinden belirlendiği dikkate alınarak çıkarılmıştır. Özellikle HI ( $\lambda 4960\text{\AA}$ ) soğurma çizgisi GSC 2750-0854 (F5V) sistemine ait soğurma çizgisine çok benzer özellikler taşımaktadır. GSC 2751-1007 sisteminin tayfında görülen çok sayıda salma çizgisi ve sistem için alınan tayfsal gözlemlerde gürültünün fazla olması, tayf türünün belirlenmesindeki hatanın yüksek olmasının temel nedenidir. Bu bilgi ışığında GSC 2751-1007 sisteminin *G* tayf türünden çok *F* tayf türünden bir sistem olduğunu, söyleyebiliriz. Bu ise yukarıda hem dönem hemde mutlak parlaklık değerleri dikkate alınarak hesaplanan sıcaklık ve tayf türü tahminlerini desteklemektedir.

Sistemin tayfında görülen salma çizgileri, sistemi saran sıcak bir zarfın varlığına işaret etmektedir. İncelenen sistemin uzaklığı ve yıldızlararası ortamın soğurucu etkisi bilinmediğinden, hangi oranda kızarmaya uğradığını belirlemek mümkün değildir. Bu nedenle gözlemsel olarak hesaplanan (B-V) renk ölçeği değerinin yıldızın gerçek renk ölçeğini veremeyeceği ve yıldızlararası ortamın kızarma etkisinin giderilmesi gerektiği açıktır.

Tayf türünün belirlenmesindeki problem nedeniyle ışık eğrisi analizi gerçekleştirilirken baş bileşenin (veya yoldaş bileşenin) sıcaklığı, yukarıda farklı iki yöntemle hesaplanan

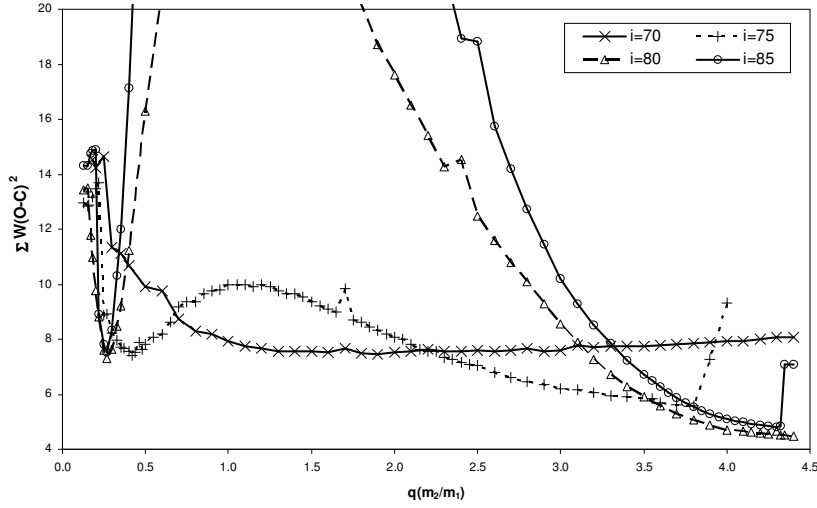
sıcaklık değerleri dikkate alınarak  $T_1=6350$  K alınarak kullanılacaktır. Gözlenen ışık eğrisini temsil edecek bir çözüme yaklaşıldığında, bu sıcaklık değeri serbest parametre olarak seçilerek daha iyi bir sıcaklık değerinin bulunup bulunmadığı incelenecektir.

B, V ve R bandlarında sırasıyla 349, 355 ve 356 adet gözlemsel parlaklık değeri öncelikle ışınım gücü değerlerine dönüştürülerek 0.25 evresine normalize işlemi gerçekleştirilmiştir. Wilson-Devinney programı eş zamanlı olarak birden fazla ışık eğrisi üzerinde eşzamanlı işlem yapabilme özelliğine sahip bir programdır. Bu nedenle normalize edilmiş üç banda ilişkin ışık eğrisi Wilson-Devinney programına girdi verisi olarak hazırlanmıştır.

Işık eğrisi analizine girdi parametresi olarak kullanılacak bir başka önemli parametre sistemin kütle oranına ilişkin bilgidir. Kütle oranı değeri, çift çizgili tayfsal çift yıldızlarda doğrudan dikine hız eğrisinin incelenmesi sonucu çok güvenilir bir şekilde hesaplanabilen bir parametredir. Tek çizgili tayfsal çift yıldızlarda ise kütle oranı değil fakat sistem için kütle fonksiyonu elde edilebilmekte ve bu kütle fonksiyonundan yararlanarak diğer bileşen hakkında bilgiye ulaşılmaya çalışılır. Sisteme ilişkin dikine hız eğri bulunmadığından, sistemin kütle oranının yukarıdaki yöntemlerden biri kullanılarak belirlenmesi mümkün değildir. Bu amaçla bu tür sistemler için literatürde en çok uygulanan yöntem olan q-taraması yöntemi uygulanacaktır. q-taraması yöntemi ile sistemin fotometrik kütle oranı değeri elde edilebilmektedir ve Kesim 2.3.3'de gördüğümüz gibi genel olarak fotometrik kütle oranı değerinin, tayfsal kütle oranı ile uyumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir.

Işık eğrisi analizi gerçekleştirebilmek için başlangıç parametresi olarak dikkate almamız gereken bir diğer parametre ise sistemin yörünge eğimine ilişkin açısız değerdir. W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların birbirlerine çok yakın, hatta değme durumunda olmaları, çok büyük bir yörünge eğim açısı aralığı için örtme ve örtülme gösterebileceklerini bize gösterir. Hem sistemin kütle oranı hemde yörünge eğim açısının birlikte bilinmemesi nedeniyle i-q taramasının bu türlü sistemlerde yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde farklı i yörünge eğim açılarına göre olası q değerlerinin taraması gerçekleştirilir ve sistemin ışık eğrisini en iyi temsil edecek i-q

çifti aranır. Bu amaçla geniş bir aralığa dağılmış  $i$  yörünge eğim açısının taranması gerekmektedir. Sistemde tam tutulmanın görülmemesi  $i < 90^\circ$  olduğunun bir göstergesidir.  $i$ - $q$  taraması için degen çift yıldızların analizinde kullanılan Mod 3 seçilmiş ve farklı yörünge eğim açıları ( $i=70^\circ, 75^\circ, 80^\circ$  ve  $85^\circ$ ) için  $q$ -taraması  $0.13 \leq q \leq 5.0$  aralığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.3'de GSC 2751-1007 sistemi için  $i$ - $q$  taramasının sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.3 GSC 2751-1007 sistemi için farklı yörünge eğim açıları ve  $q$  (kütle oranı) değerleri dikkate alınarak B, V ve R bandı için gerçekleştirilen  $i$ - $q$  taraması sonucu

Şekilden dikkati çeken iki farklı  $q$  değeri için  $\Sigma W(O-C)^2$  değerinin minimuma gitmesidir. Sistem için uygun yörünge eğim açısının  $75^\circ$  ile  $85^\circ$  arasında ve kütle oranı için  $q=0.27-0.42$  aralığı ile  $q > 4.0$  değerlerinin araştırılması gerektiği görülmektedir.  $i=80^\circ$  ve  $85^\circ$  için yapılan analizlerde çok sınırlı kütle oranı aralığı için sistemin degen bir sistem olarak kaldığı dikkati çekmiştir.  $i=75^\circ$  için yapılan çözümlerde ise sistem sürekli olarak degen mod'da kalmıştır. Bu bilgiler dikkate alındığında sistem için yörünge eğim açısının  $75^\circ \leq i \leq 80^\circ$  aralığı ve  $q \approx 0.3$  ile  $4.0$  için iki farklı çözümün gerçekleştirilmesi gerektiğini sonucu çıkarılmıştır.

Sistemin ışık eğrisi analizi için gerekli olan başlangıç parametrelerini  $T_1=6350$  K,  $i=80^\circ$ ,  $q=0.3$  ve  $4.0$  olarak iki farklı çözüm gerçekleştirilecektir. Başlangıç için  $T_2$

sıcaklığı baş bileşenin sıcaklığı ile aynı olarak alınacak ve iterasyon gerçekleştirilecektir. Logaritmik kenar kararma katsayıları  $T_1$  sıcaklığında anakol yıldızları için uygun olacak şekilde Van Hamme (1993)'dan alınmıştır. Her iki bileşenin konvektif zarfa sahip olduğu kabul edilerek ( $T < 7200$  K) çekim kararma katsayısı 0.32 ve bolometrik albedo değeri 0.50 olarak alınmıştır. Işık eğrisi analizi W UMa türü sistemler için uygun olan Mod 3'de gerçekleştirilmiştir. Yıldızların yüzeylerini temsil etmek için seçilen grid sayıları  $N_1, N_2, N_{1L}, N_{2L}$  sırasıyla 30, 30, 15, 15 olarak alınmış, ayrıca üçüncü ışık etkisinin olmadığı ( $I_3=0$ ) varsayılmıştır. Çözümlerde yıldız atmosferleri modelleri (IFAT1=IFAT2=1) kullanılmıştır.

Mod 3'de ışık eğrisi analizinde serbest bırakılabilir parametreler sistemin yörünge eğim açısı  $i$ , yoldaş bileşenin yüzey sıcaklığı  $T_2$ , sistemin kütle oranı  $q=m_2/m_1$ , baş bileşenin kesirsel ışınım gücü  $L_1$ , baş bileşenin yüzey potansiyeli  $\Omega_1$  dir. Wilson-Devinney programının bir parçası olan DC (Differential Correction) programı kullanılarak, serbest bırakılan parametreler üzerinde herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duymayana kadar (parametre için hesaplanan düzeltme değerinin parametrenin standart sapma değerlerinden küçük olması durumu) işlemler tekrarlanmıştır. İyi bir çözüm parametresi elde edildikten sonra baş bileşenin sıcaklığı serbest bırakılarak daha iyi  $T_1$  sıcaklığı elde edilmesi yoluna gidilmiştir. Bu şekilde baş bileşen ile yoldaş bileşenin sıcaklık ve ışınım güçleri değerlerinin birbirlerine uyumlu olması sağlanmıştır.

Yapılan çok sayıda analizler sonucunda, ışık eğrisinin dikkate alınan parametreler ile iyi bir şekilde çözülemediği ortaya çıkmıştır. Işık eğrilerinde özellikle maksimumlar civarında anormalliklerin bulunduğu dikkati çekmektedir. Maksimumlarda görülen bu tür anormallikler, genellikle O'Connell etkisi olarak bilinen ve yıldız yüzeylerinde olabilecek sıcak veya soğuk lekelerin varlığı ile açıklanmaktadır. Bu konuda literatür bilgisine Binnendijk 1960, Hilditch 1981, Linnell 1982, Van Hamme and Wilson 1985, Milone *et al.* 1987, van't Veer and Maceroni 1988, 1989, Maceroni *et al.* 1990'den ulaşılabilir.

Özellikle 0.6 evresinde başlayan ve 0.7 evresi civarında biten bir parlaklık artışı dikkati çekmektedir. Böyle bir parlaklık artışını sağlayabilmek için küçük boyutlu ve sıcak bir

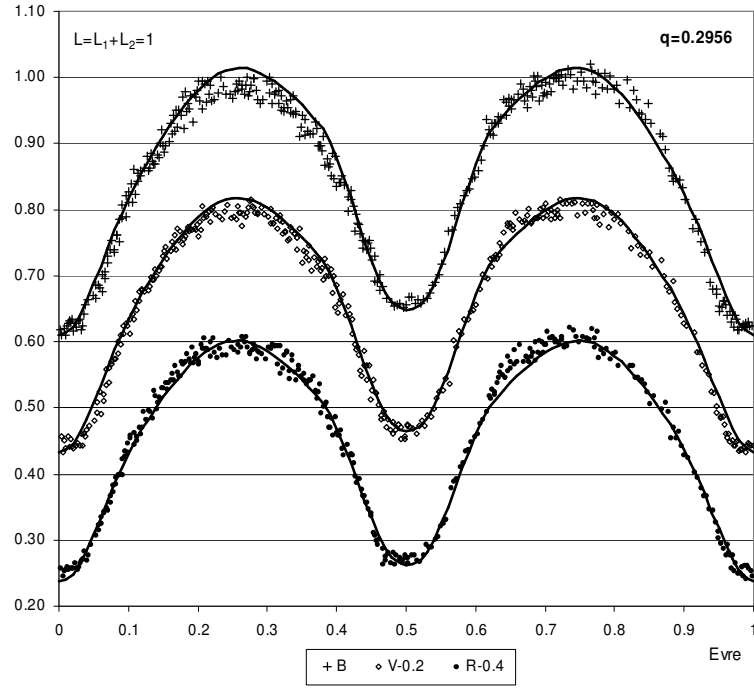
lekenin, bileşen yıldızlardan birinin yüzeyine yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu tür bir leke, bileşen yıldızlardan biri tarafından atılan maddenin diğer bileşenin yüzeyine çarptığı bölgede meydana gelebilir. Bu amaçla baş bileşen ve yoldaş bileşen üzerine ayrı ayrı sıcak leke yerleştirerek daha iyi ışık eğrisi çözümlerine ulaşıp ulaşılamadığı incelenmiştir. Fakat böyle bir leke modeli ile iyi çözümler elde edilemediği ve ışık eğrisindeki anormalliklerin ikinci minimuma giriş ve çıkışlarda bulunduğu görülmüştür. Sistemin tayfında salma çizgilerinin görülmesi, bileşen yıldızlardan biri veya her ikisinin yüzey parlaklıklarındaki anormalliklerin sebebi olabilir. Rafert and Twigg (1980) inceledikleri çok sayıda ışık eğrisinden W UMa türü sistemlerde albedo değerinin 1'den büyük olabileceğini göstermişlerdir. Benzer bir durum Gürol (2005) tarafından W UMa türü bir sistem olan AU Ser sisteminin ışık eğrisinin çözümünde yüksek albedo değeri kullanarak ışık eğrisinin çözülebildiğini göstermesi olmuştur. Bu amaçla ışık eğrisi analizi, yoldaş bileşenin albedo değeri serbest parametre alınarak gerçekleştirilmiş ve çok daha iyi çözümlerin elde edilebildiği görülmüştür.

Çizelge 5.4'de iki farklı kütle oranı için GSC 2751-1007 sistemine ait ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen parametreler verilmiştir. Şekil 5.4'te sistemin kütle oranını 0.3 olarak yapılan çözüm sonucu B,V ve R bantlarında elde edilen ışık eğrileri verilirken, Şekil 5.5'te sistemin kütle oranını 4.0'dan büyük olarak yapılan çözüm sonucu B,V ve R bantlarında elde edilen ışık eğrileri verilmektedir. Şekil 5.6'da ise bu sistem için hesaplanan her iki çözümün Roche geometrisine ilişkin şekilleri verilmiştir.

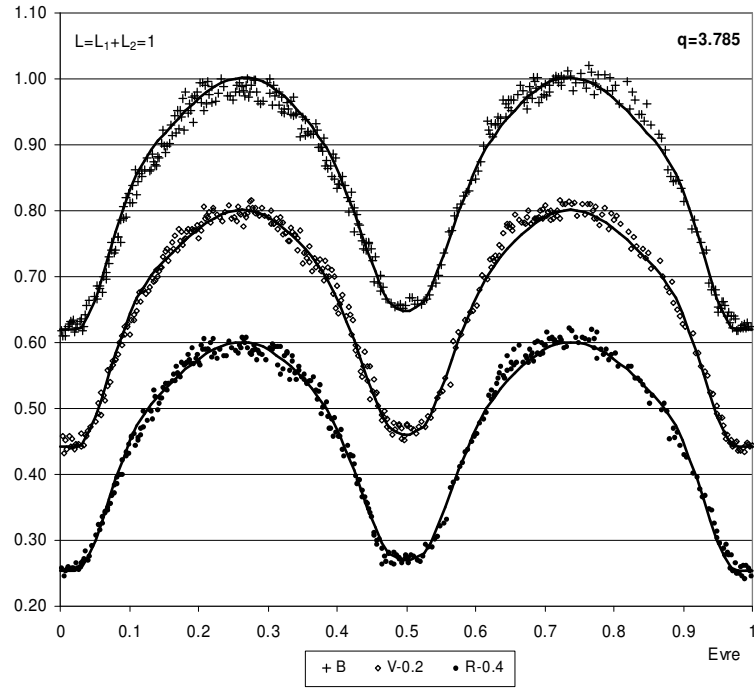


**Çizelge 5.4** GSC 2751-1007 sisteminin iki farklı kütle oranı dikkate alınarak elde edilen çözüm parametreleri

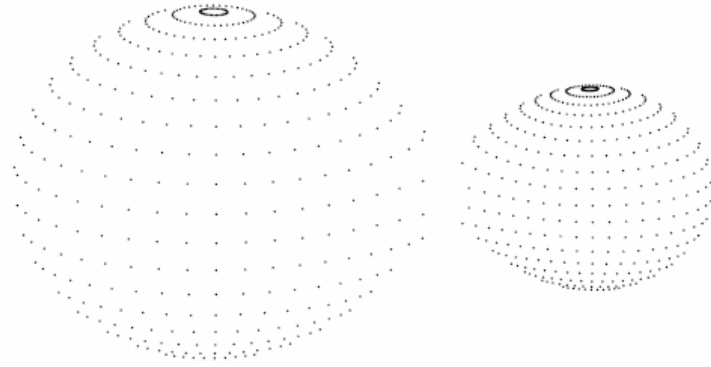
Parametreler	B, V, R Çözümü A-türü W UMa	B, V, R Çözümü W-türü W UMa
$i$ (°)	75.7511±0.2002	81.2955±0.3007
$A_1$	0.570	0.101
$A_2$	3.507±0.130	0.709±0.048
$g_1 = g_2$	0.32	0.32
$l_3$	0.00	0.00
$T_1$ (°K)	6105±13	6351±5
$T_2$ (°K)	5935±12	6099±3
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.41321±0.00504	7.59537±0.0096
$q = m_2/m_1$	0.2956±0.0029	3.7851±0.0075
Fillout(%)	23.44	6707
$L_1$ (B)	9.0319±0.0355	3.3429±0.0025
$L_1$ (V)	9.1051±0.0313	3.2205±0.0026
$L_1$ (R)	8.9886±0.0291	3.1355±0.0028
$L_2$ (B)	2.5765	8.7382
$L_2$ (V)	2.7120	8.9760
$L_2$ (R)	2.7448	9.0602
$X_{1bol}$	0.647	0.109
$X_{2bol}$	0.500	0.135
$Y_{1bol}$	0.221	0.612
$Y_{2bol}$	0.267	0.584
$r_1$ (pole)	0.465826±0.001209	0.254627±0.000992
$r_1$ (side)	0.503483±0.001725	0.265364±0.001182
$r_1$ (back)	0.531848±0.002382	0.300054±0.002091
$r_2$ (pole)	0.270775±0.002499	0.468319±0.000767
$r_2$ (side)	0.283390±0.003085	0.505793±0.001065
$r_2$ (back)	0.324691±0.006200	0.530913±0.001330
$\Sigma w(O-C)^2$ (B)	0.0796	0.0882
$\Sigma w(O-C)^2$ (V)	0.1358	0.0601
$\Sigma w(O-C)^2$ (R)	0.0674	0.0506



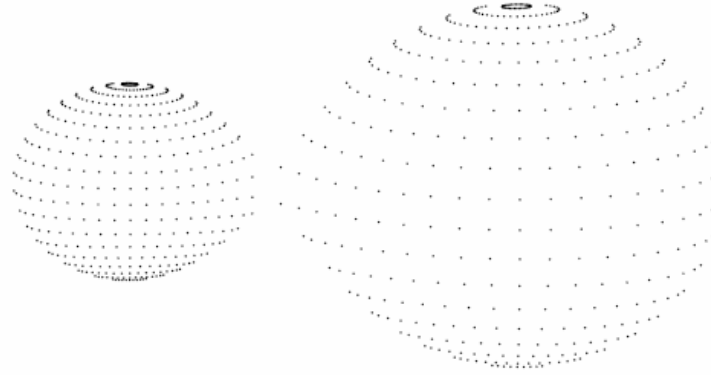
Şekil 5.4  $q=0.296$  için elde edilen gözlemsel ve teorik ışık eğrisi



Şekil 5.5  $q=3.785$  için çözüm elde edilen gözlemsel ve teorik ışık eğrisi



(a)



(b)

Şekil 5.6.a  $q=0.296$  için, b.  $q=3.785$  için elde edilen Roche geometrisi

#### 5.1.4 Mutlak parametreler

Sistemin mutlak parametrelerini hesaplayabilmek için öncelikle bileşenler arasındaki uzaklığın bilinmesi gerekir. Bu bilgi ise dikine hız eğrisinin elde edilmiş olması durumunda hesaplanabilen bir büyüklüktür. Sistem hakkında dikine hız eğrisi bulunmuyorsa bu durumda W UMa türü sistemler için kullanılabilen çeşitli

yöntemlerden yararlanır. Keplerin üçüncü yasası bir çift sistemde yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a: AB$ ) ve yörünge dönemi ( $P: gün$ ) ile sistemi oluşturan kütlelerin toplamı ( $M_1+M_2=M_T$ ) arasındaki bir bağıntıdır;

$$a^3=74.55P^2M_T \quad (5.6)$$

Sistemin dikine hız eğrisi mevcut olmadığından, mutlak parametreleri iyi bir şekilde belirlenmiş ve GSC 2751-1007 sisteminin dönemine yakın döneme sahip sistemler dikkate alınarak bir kestirimde bulunulacaktır. Işık eğrisi analizi sonucunda  $q=3.785$  için yapılan analizin daha küçük fark kareleri toplamı verdiği dikkate alınarak sistemin W-türü bir W UMa sistemi olduğu kabul edilmiştir. Bu nedenle literatürde W-türü sistemler arasından dönemi GSC 2751-1007 sisteminin dönemine yakın sistemler taranmış ve Çizelge 5.5’de yer alan sistemlere ilişkin kütleler alınmıştır. Çizelge 5.5 dikkate alındığında benzer döneme sahip sistemler için ortalama toplam kütle değerlerinin ortalaması  $1.678\pm 0.228 M_\odot$  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.5’de en büyük kütleyle sahip olan sistem dikkate alınmadığında ortalama toplam kütle değeri  $1.614\pm 0.130 M_\odot$  olarak hesaplanmıştır. Toplam kütle olarak en aykırı değere sahip olan bu sistem dikkate alınmadığında standart hata değeri çok daha küçük değer almaktadır. Benzer döneme sahip sistemler için hesaplanan bu ortalama toplam kütle değeri ve sistemin dönemi dikkate alındığında, denklem 5.6’dan yararlanarak yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu  $a(R_\odot)=2.756\pm 0.074$  olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda benzer döneme sahip sistemler dikkate alınarak hesaplanan ortalama toplam kütle değeri ve ışık eğrisi çözümünden hesaplanan kütle oranı değerleri kullanılarak

**Çizelge 5.5** Yörünge dönemi GSC 2751-1007 sisteminin yörünge dönemine yakın olan W-türü W UMa sistemleri (Maceroni and van’t Veer 1996)

Yıldız Adı	P(gün)	$M_1(M_\odot)$	$M_2(M_\odot)$	$M_T(M_\odot)$
V752 Cen	0.3702	1.20	0.36	1.56
U Peg	0.3748	1.06	0.35	1.41
RT LMi	0.3749	1.16	0.45	1.61
TX Cnc	0.3829	1.37	0.82	2.19
EM Lac	0.3891	1.06	0.67	1.73
V396 Mon.	0.3963	1.20	0.47	1.67
SS Ari	0.4060	1.16	0.35	1.51
AH Vir	0.4075	1.18	0.41	1.59
ER Ori	0.4234	1.14	0.69	1.83

bileşen yıldızların ayrı ayrı kütlelerini hesaplamak mümkündür.

$$M_1 = \frac{M_T}{1+q} = 1.276 \pm 0.103 M_{\odot} \text{ ve } M_2 = M_T - M_1 = 0.338 \pm 0.027 M_{\odot} \quad (5.7)$$

Işık eğrisi çözümünden elde edilen ve bileşen yıldızların birbirlerine bakan yüzeylerine ilişkin kesirsel yarıçaplar ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu dikkate alındığında, bileşen yıldızların ayrı ayrı yarıçapları,

$$R_1 = a \times r_1 = 1.393 \pm 0.037 R_{\odot} \text{ ve } R_2 = a \times r_2 = 0.731 \pm 0.020 R_{\odot} \quad (5.8)$$

olarak hesaplanmıştır. Bileşen yıldızların ışınım güçleri bileşen yıldızlara ilişkin yarıçaplar ve sıcaklık değerleri kullanılarak,

$$L_1 = 4\pi R_1^2 \sigma T_1^4 = 2.374 \pm 0.128 L_{\odot} \text{ ve } L_2 = 4\pi R_2^2 \sigma T_2^4 = 0.768 \pm 0.041 L_{\odot} \quad (5.9)$$

hesaplanmıştır. Bileşen yıldızların bolometrik parlaklıkları da yine onların yarıçapları ve sıcaklıklarından yararlanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M_{bol1} = 42.369 - 5 \log R_1 / R_{\odot} - 10 \log T_1 / T_{\odot} = 3.797 \pm 0.058 \quad \text{ve}$$

$$M_{bol2} = 42.369 - 5 \log R_2 / R_{\odot} - 10 \log T_2 / T_{\odot} = 5.022 \pm 0.058 \quad (5.10)$$

Bileşenlerin yüzey çekim ivmeleri ise daha önce bulunan kütle ve yarıçaplarından elde edilir.

$$\log g_1 = 4.438 + \log M_1 / M_{\odot} - 2 \log R_1 / R_{\odot} = 4.255 \pm 0.012 \quad \text{ve}$$

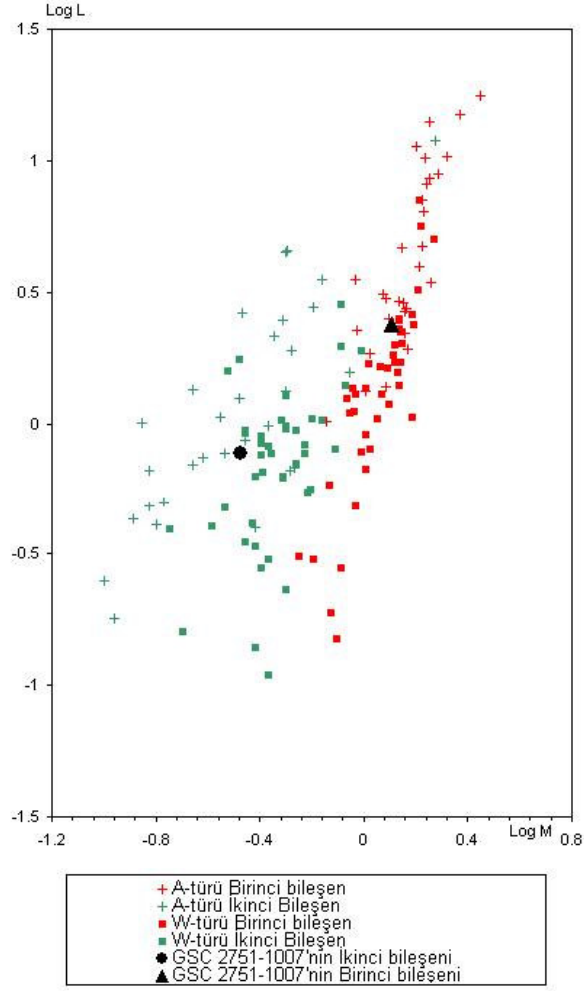
$$\log g_2 = 4.438 + \log M_2 / M_{\odot} - 2 \log R_2 / R_{\odot} = 4.238 \pm 0.012 \quad (5.11)$$

Çizelge 5.6'da GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan fiziksel parametreler toplu bir şekilde hataları ile birlikte verilmiştir.

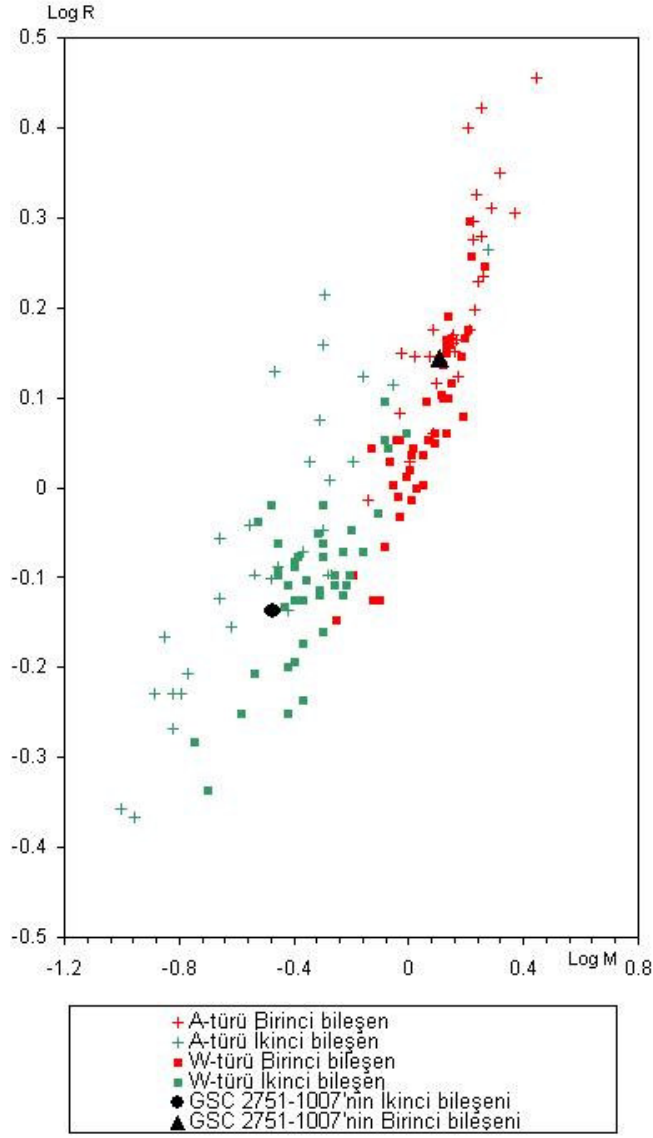
**Çizelge 5.6** GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan fiziksel parametreler

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
$M_1(M_{\odot})=$	$1.276\pm 0.103$
$M_2(M_{\odot})=$	$0.338\pm 0.027$
$R_1(R_{\odot})=$	$1.393\pm 0.037$
$R_2(R_{\odot})=$	$0.731\pm 0.019$
$L_1(L_{\odot})=$	$2.374\pm 0.128$
$L_2(L_{\odot})=$	$0.768\pm 0.041$
$M_{bol1}=$	$3.797\pm 0.058$
$M_{bol2}=$	$5.022\pm 0.058$
$\text{Log } g_1=$	$4.255\pm 0.012$
$\text{Log } g_2=$	$4.238\pm 0.012$

GSC 2751-1007 sistemi için hesaplanan mutlak parametrelere ilişkin değerler, Yakut and Eggleton (2005)'in çalışmasında verilen ve düşük sıcaklıklı değen sistemlere ilişkin kütle-yarıçap ve kütle-ışınım gücü dağılımına ilişkin grafikler üzerinde gösterilmiştir. Şekil 5.7.'de kütle-ışınım gücü ve Şekil 5.8'de kütle-yarıçap dağılımında W-türü sistemler kare sembolü ile, A-türü sistemler artı sembolüyle ve her iki türünde birinci bileşeni siyah, ikinci bileşeni gri renk ile gösterilmiştir. GSC 2751-1007 sisteminin birinci bileşeni üçgen, ikinci bileşeni daire sembolü ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7 W UMa türü sistemler için kütle-ışınım gücü dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde GSC 2751-1007 sisteminin konumu



Şekil 5.8 W UMA türü sistemler için kütle-yarıçap dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde GSC 2751-1007 sisteminin konumu

Şekil 5.7 - 5.8 dikkate alındığında GSC 2751-1007 sistemi için elde edilen fiziksel parametrelerin W-türü sistemlere ilişkin dağılımlar üzerinde aykırı konumlarda bulunmadığı görülmektedir. Böylece sistemin bileşenlerinin kütle-ışınım gücü ve kütle-yarıçap değerlerinin kabul edilebilir değerler olduğunu söyleyebiliriz.



## 5.2 FI Bootis Çift Yıldız Sistemiyle İlgili Bulgular

### 5.2.1 Gözlemler

FI Bootis sisteminin gözlemleri 7 ve 13 Ağustos 2004 ve 10 ve 13 Mayıs 2005 tarihleri arasında TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) T40 teleskopu ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde dedektör olarak AP7p CCDsi kullanılmış ve gözlemler B, V ve R filtrelerinde yapılmıştır. Teleskop sisteminin takip mekanizmasının iyi olmaması nedeniyle bazı gözlemsel veriler kullanılamamıştır. Yapılan gözlemlerde B bandında 141, V bandında 147 ve R bandında 154 adet kullanılabilir gözlemsel verinin bulunduğu indirgemeler sonucunda ortaya çıkmıştır.

CCD gözlemleri *MaxIm DL* programı kullanılarak önce bias ve dark etkisinden arındırılmış ve ardından flat düzeltilmesi gerçekleştirilmiştir. Bazı gözlemlerde takip mekanizmasından kaynaklanan problemler nedeniyle yıldızların armutlaşmış görüntülerinin olduğu görülmüştür. Temel olarak CCD görüntüsü içerisinde bulunan değişen, mukayese ve denet yıldızlarında aynı etki görüleceğinden bu verilerin de kullanılmasına karar verilmiştir. Fakat bu tür görüntülerden elde edilecek verilerin ışık eğrisinde saçılmaya neden olacağı ve bunun da sonuçlarımızı etkileyeceği kesindir.

*MaxIm DL* programı aynı gözlem gecesine ait gözlemsel verileri kullanarak seçilen değişen, mukayese ve denet yıldızları için kadir biriminde parlaklık değerlerini hesaplayabilmektedir. Dikkate alınan her görüntü kullanılarak seçilen yıldızlara ilişkin ham parlaklıkları değerleri elde edilmiş ve elde edilen bu verilerden yararlanarak diferansiyel parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Aynı CCD görüntüsü içerisinde bulunan yıldızlar, aynı atmosferik koşullardan etkilendiği için (yıldızların renkleri birbirine yakın ise) atmosferik sönmeme etkisinin giderilmesine gerek duyulmaz. Sonuç olarak gözlem zamanına (JD), değişen yıldızın koordinatları ve gözlemevinin konumu dikkate alınarak bilinen hesaplama yöntemleri kullanılarak Güneş Merkezli Jülyen Günü (HJD) zamanlarına dönüştürülmüştür.

**Çizelge 5.7** Değişen, mukayese ve denet yıldızına ait parametreler

<b>Parametreler</b>	<b>Değişen</b>	<b>Mukayese</b>	<b>Denet</b>
Katalog İsmi	FI Bootis	GSC 3488-0636	GSC 3488-0793
$\alpha(2000)$	15 <sup>sa</sup> 22 <sup>dk</sup> 05 <sup>sn</sup> .97	15 <sup>sa</sup> 22 <sup>dk</sup> 36 <sup>n</sup> .057	15 <sup>sa</sup> 22 <sup>dk</sup> 10 <sup>n</sup> .03
$\delta(2000)$	51° 10' 55".3	51° 14' 14".28	51° 13' 24".24
V	9 <sup>m</sup> .53	11 <sup>m</sup> .15	14 <sup>m</sup> .30

İndirgemeler gerçekleştirilirken mukayese yıldızı olarak GSC 3488-0636 ve denet yıldızı olarak da GSC 3488-0793 kullanılmıştır. Yıldızlara ait katalog bilgileri Çizelge 5.7’de verilmiştir. Mukayese-Denet parlaklık farklarının değişimi incelenmiş ve herhangi bir değişime rastlanmamıştır. Gözlemlerimizdeki standart sapma değerleri denet yıldızı kullanılarak B, V ve R bandlarında sırasıyla  $\pm 0^m.017$ ,  $\pm 0^m.023$  ve  $\pm 0^m.012$  olarak hesaplanmıştır.

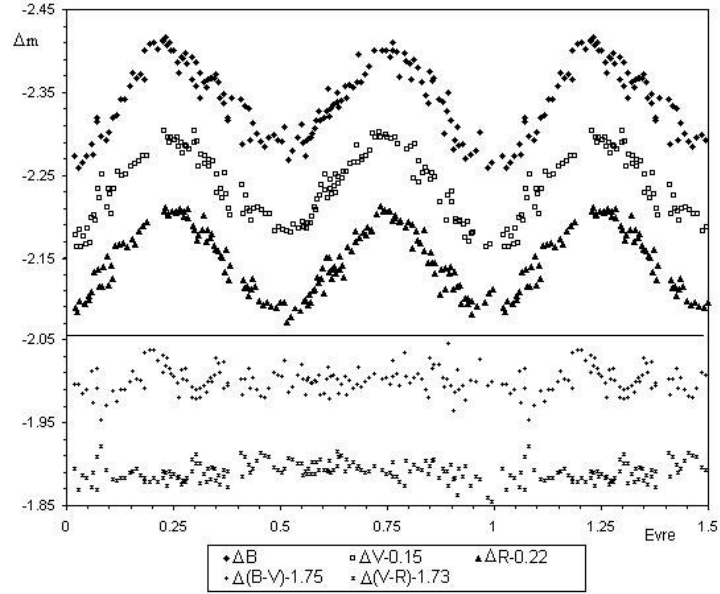
Şekil 5.9’de yukarıda belirtilen işlemler sonucunda elde edilen B, V ve R bandları ile (B-V) ve (V-R) renkleri grafike edilmiştir. Grafik oluşturulurken kullanılan ışık elemanları bu çalışmada elde edilmiştir (bkz. Kesim 5.2.2 Dönem Analizi) ve aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min I (HJD)}=2453502.4462+0.389999x\text{E} \quad (5.12)$$

W Uma türü ışık eğrisine sahip olan FI Boo sisteminin ışık eğrisinin özellikleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Sistemin ışık değişim genliği çok küçüktür ve en büyük parlaklık

**Çizelge 5.8** FI Boo sisteminin ışık eğrisine ilişkin özellikler

<b>Evre</b>	<b><math>\Delta B</math></b>	<b><math>\Delta V</math></b>	<b><math>\Delta R</math></b>
0.00	-2.274	-2.028	-1.870
0.25	-2.400	-2.145	-1.987
0.5	-2.291	-2.034	-1.876
0.75	-2.392	-2.145	-1.986
I. Min Derinliği	0.126	0.117	0.117
II. Min Derinliği	0.101	0.111	0.110
$\Delta_{\text{max}}$ (Max I – Max II)	-0.008	0.000	-0.001
$\Delta_{\text{min}}$ (Min I – Min II)	0.017	0.006	0.006



Şekil 5.9 FI Bootis sisteminin B, V ve R filtrelerinde gözlenen ışık ve (B-V), (V-R) renk eğrileri

değişimi B bandında yaklaşık olarak  $0^{m}.126$  kadardır. Bu büyüklükte genliğe sahip sistemlerde görel olarak gözlemsel hatalar dikkate alındığında ışık eğrisindeki saçılmanın büyük olması normaldir.

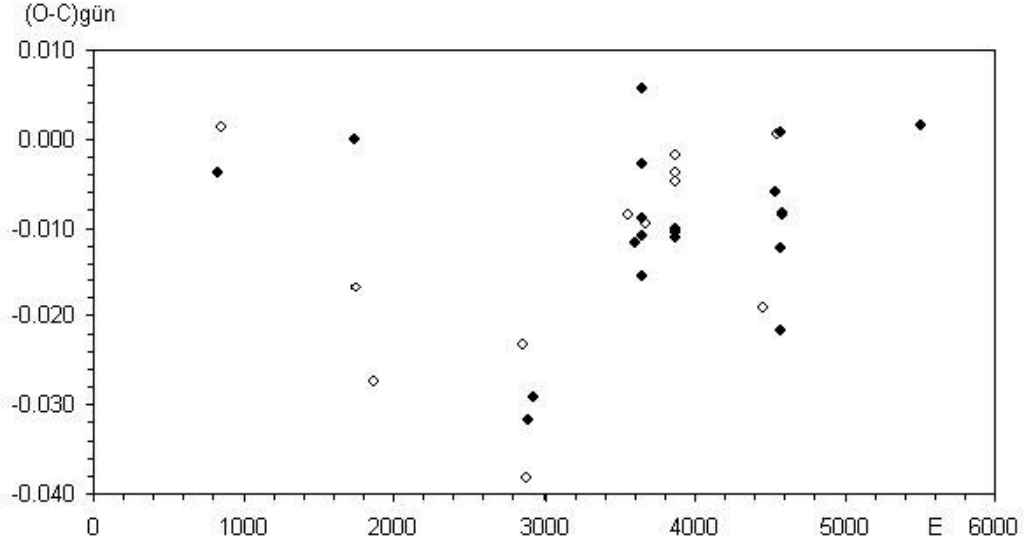
### 5.2.2 Dönem analizi

Pribulla *et al.* (2002) tarafından verilen ışık elemanları kullanıldığında FI Boo sisteminin ışık eğrisinde minimumların kaymış olduğu dikkati çekmiştir. Yeni ışık elemanlarının belirlenebilmesi amacıyla literatür taraması gerçekleştirilmiş ve sisteme ilişkin minimum zamanları toplanmıştır. Kendi gözlemlerimizden altı adet birinci minimum (Min I) ve üç adet ikinci minimum (Min II) olmak üzere toplam dokuz adet minimum zamanı elde edilmiştir. Minimum zamanlarının hesaplamasında Kwee and van Woerden (1956) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada elde edilen ve literatürden toplanan minimum zamanları Çizelge 5.9'de verilmiştir.

**Çizelge 5.9** FI Bootis sistemine ilişkin hesaplanan ve literatürden toplanan tüm minimum zamanları

<b>HJD Min (2400000+)</b>	<b><math>\pm\sigma</math></b>	<b>Min. Türü</b>	<b>Filtre</b>	<b>Referans</b>
52043.4593	0.0030	II	BV	1
52053.4095	0.0020	I	B	1
52400.3133	0.0011	II	V	2
52400.4915	0.0009	I	V	2
52450.4010	0.0001	II	V	3
52831.4353	0.0003	II	V	3
52842.3404	0.0005	II	V	3
52846.4419	0.0002	II	V	3
52859.3145	0.0010	II	V	3
53104.4504	0.0003	II	BV	4
53124.1422		II	V	5
53139.7384	0.0053	II	V	6
53139.7430	0.0091	II	R	6
53139.7450	0.0048	II	B	6
53139.7512	0.0032	II	U	6
53139.7596	0.0070	II	Ic	6
53149.2994		I	-	7
53229.4428	0.0034	II	R	8
53229.4434	0.0060	II	B	8
53229.4439	0.0009	II	V	8
53230.4242	0.0050	I	R	8
53230.4251	0.0099	I	B	8
53230.4271	0.0011	I	V	8
53455.4399		I	-	9
53486.8480	0.0007	II	Ic	6
53492.8997	0.0015	I	V	6
53502.4324	0.0087	I	B	8
53502.4418	0.0021	I	R	8
53502.4548	0.0060	I	V	8
53506.7357	0.0007	II	B	6
53506.9306	0.0008	I	B	6
53867.1058	0.0003	II	V	10

Referans: 1) Pribulla et al. (2002); 2) Karska and Maciejewski (2003); 3)Yeşilyaprak and Şahin (2004); 4) Pribulla (2005); 5) Nagai (2005); 6) Terrell (2006); 7) Krajci (2005); 8) Bu çalışma; 9) Hübscher (2005); 10) Nakajima (2006).



Şekil 5.10 FI Boo sistemine ait minimum zamanlarından hesaplanan (O–C) değışımi (içi boş noktalar birinci minimumu, içi dolu noktalar ikinci minimumu göstermektedir.)

Şekil 5.10’da Pribulla *et al.* (2002) tarafından aşağıda verilen ışık elemanları kullanılarak hesaplanan O-C değışımi gösterilmiştir.

$$\text{Min I (HJD)}= 2451718.3979+0.3899978 \times E \quad (5.13)$$

O-C değışımi dikkate alındığında özellikle minimum zamanlarındaki büyük saçılma dikkati çekmektedir. Yeşilyaprak and Şahin (2004) tarafından verilen minimum zamanlarının çok aykırı konumlarda çıkması bu minimum zamanlarının hatalı hesaplanmış olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 5.10’da gösterilmemiştir). Diğer minimum zamanları dikkate alındığında ortaya çıkan yüksek saçılma sistemin ışık değışim genliğinin küçük ve gözlemsel verilerdeki saçılmanın yüksek olmasından kaynaklanabileceğini düşündürmektedir. Sistemin gerçek dönem değışiminin ortaya çıkarılabilmesi için çok daha duyarlı ışık eğrilerinin elde edilmesi gerekmektedir.

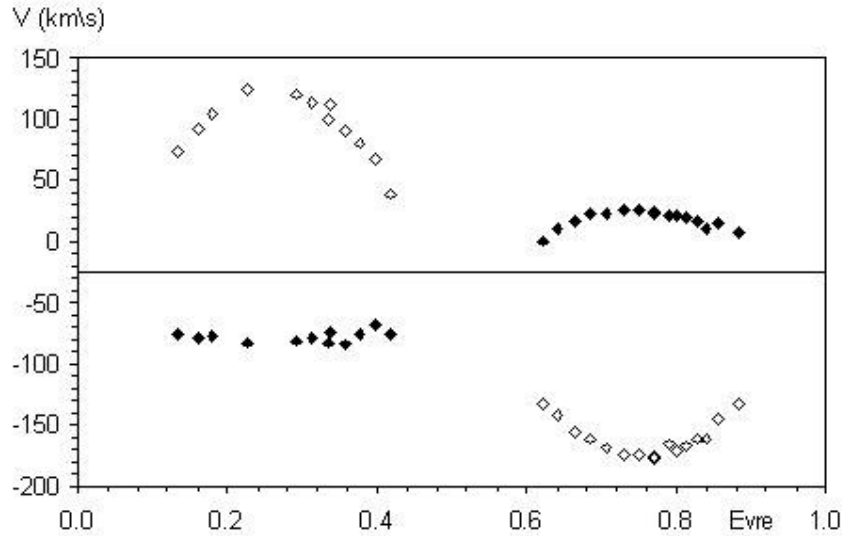
Sistem, Pribulla and Rucinski (2006) tarafından üçüncü cisme sahip sistemler arasında listelenmiştir. Çevrim aralığının kısa olması ve duyarlı minimum zamanlarının olmaması nedeniyle böyle bir bilginin O-C değışiminden şimdilik çıkarılması mümkün

görülmemektedir. Üçüncü bileşene sahip sistemlerde O-C değişiminin çevrimli (sinüsel) bir yapıda olması beklenir.

Lu *et al.* (2001) çalışmalarında FI Boo sistemin W-türü bir W UMa olduğunu belirtmişlerdir. Terrell *et al.* (2006) tarafından yapılan son çalışmada sistemin A-türü bir W UMa olduğu ortaya çıkmıştır. Pribulla *et al.* (2002) tarafından yayınlanan ışık elemanları kullanılarak sistemin evrelendirilmesi yapıldığında daha derin minimumun 0.5 evresinde olduğu bu nedenle yukarıda denklem 5.13 ile verilen ışık elemanlarının ikinci minimuma ilişkin ışık elemanları olduğu söylenebilir. Bu durumda şekil 5.10'da verilen birinci ve ikinci minimumlara ilişkin semboller yer değiştirmelidir. Sistemin yeni ışık elemanlarının belirlenmesi amacıyla gözlemlerimizden hesaplanan birinci minimum zamanlarından biri ve Pribulla *et al.* (2002) tarafından dönem değerleri kullanılarak O-C değişimi tekrar incelenmiş ve yeni ışık elemanları aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Min I (HJD)}=2453502.4462+0.389999xE \quad (5.14)$$

Hesaplanan bu yeni ışık elemanları kullanılarak Lu *et. al.* (2001) tarafından yayınlanan



Şekil 5.11 FI Boo sistemi için Lu *et al.* (2001) tarafından yayınlanan dikine hız eğrisinin Denk. 5.8'de verilen ışık elemanları kullanılarak hesaplanan dikine hız değişimi

dikine hız eğrisi verileri Şeil 5.11'deki gibi evrelendirilmiştir. Şekil 5.11'den birinci minimumdan hemen sonra büyük kütleli bileşenin bize doğru yaklaştığı, küçük kütleli bileşenin ise bizden uzaklaştığı görülmektedir. Bu ise bize birinci minimumda küçük kütleli bileşenin, büyük kütleli bileşen tarafından örtüldüğünü gösterir. Buradan Lu *et al.* (2001) tarafından verilen W-türü W UMa sistem tanımlamasının hatalı olduğunu söyleyebiliriz.

### 5.2.3 Işık eğrisi analizi

FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilen ışık eğrileri ve Lu *et al.* (2001) tarafından yayınlanan dikine hız gözlemleri, Wilson-Devinney (1971) yönteminin 2003 sürümü kullanılarak eş zamanlı olarak çözülmüştür. Analizlerde FI Boo sistemine ait B, V ve R filtrelerinde sırasıyla 141, 147 ve 154 adet gözlemsel nokta kullanılmıştır. Bu gözlemsel veriler Ek 2'de verilmiştir.

Sistemin tayf türü ve kütle oranı Lu *et al.* (2001) tarafından G3V ve  $q=0.372\pm 0.004$  olarak verilmiştir. G3V tayf türüne karşılık Strazys and Kuriliene (1981)'nin vermiş oldukları etkin sıcaklık değeri 5695°K olarak alınmıştır.

Başlangıç olarak  $T_2$  sıcaklığı baş bileşenin sıcaklığı ile aynı değerde alınarak analizlere başlanmıştır. Logaritmik kenar kararma katsayıları  $T_1$  sıcaklığında anakol yıldızları için uygun olacak şekilde Van Hamme (1993)'dan alınmıştır. Her iki bileşenin konvektif zarfa sahip olduğu kabul edilerek ( $T < 7200$  K) çekim kararma katsayısı 0.32 ve bolometrik albedo değeri 0.50 olarak alınmıştır. Yıldızların yüzeylerini temsil etmek için seçilen grid sayıları  $N_1, N_2, N_{1L}, N_{2L}$  sırasıyla 30, 30, 15, 15 olarak alınmış, ayrıca üçüncü ışık etkisinin olmadığı ( $l_3=0$ ) varsayılmıştır. Çözümlerde yıldız atmosferleri modelleri (IFAT1=IFAT2=1) kullanılmıştır. Her ne kadar Pribulla and Rucinski (2006) sistemi üçüncü bileşene sahip sistemler arasında listelemesine rağmen, bu bilgili destekleyecek başka bir kaynak veya delil bulunamamıştır.

Sistemin ışık ve dikine hız eğrisi analizi Mod 3'de gerçekleştirilmiştir. Mod 3'de yapılan analizlerde serbest bırakılabilir parametreler; sistemin yörünge eğim açısı  $i$ ,

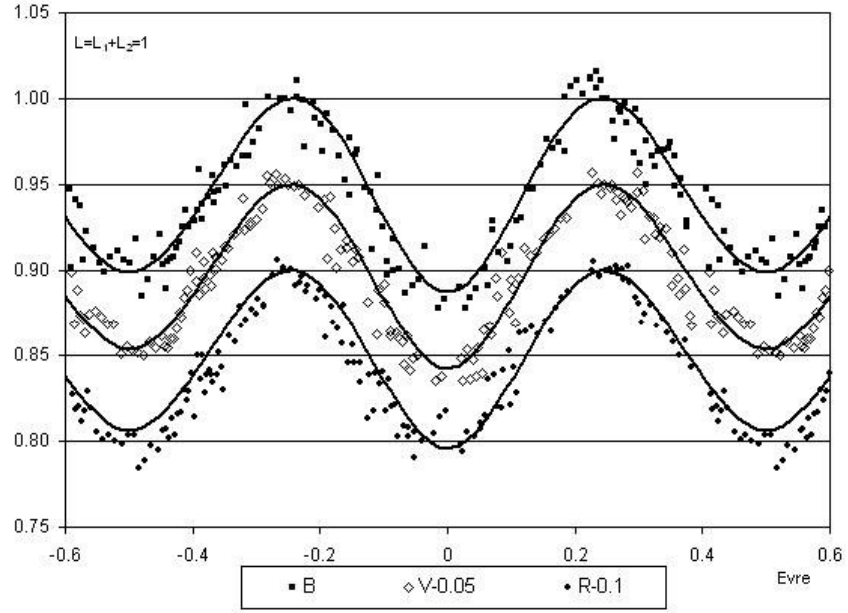
ikinci bileşen yıldızın yüzey sıcaklığı  $T_2$ , sistemin kütle oranı  $q=m_2/m_1$ , bileşen yıldızların kesirsel ışınım güçleri  $L_{1,2}$ , birinci bileşen yıldızın yüzey potansiyeli  $\Omega_1$  parametreleridir. Wilson-Devinney programının bir parçası olan DC (Differential Correction) programı kullanılarak, serbest bırakılan parametreler üzerinde herhangi bir düzeltmeye ihtiyaç duymayana kadar (parametre için hesaplanan düzeltme değerinin parametrenin standart sapma değerlerinden küçük olması durumu) işlemler tekrarlanmıştır.

Işık eğrisi analizi sonucunda ulaşılan çözüm parametreleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Çizelge 5.10'de verilen sonuç parametreleri ile elde edilen kuramsal ışık eğrisi ve gözlemsel ışık eğrisi Şekil 5.12'de, Roche geometrisi Şekil 5.13'de verilmiştir. Işık ve dikine hız eğrilerinin analizi sonucunda baş bileşen ile yoldaş bileşenin sıcaklıkları arasında  $\approx 350K$  bir farkın olduğu görülmektedir. Bu düşük sıcaklık farkı W UMa türü sistemlerdeki ortak zarfın varlığını açıkça ortaya koymaktadır. İkinci bileşenin sistemin daha soğuk bileşeni olması ve ortalama yüzey çekiminin birinci bileşene nazaran daha düşük olması da A-türü W UMa sistemlerinin gösterdiği ortak özelliklerdendir. Elde edilen düşük yörünge eğimi, sistemin düşük genlikli ışık eğrisinin temel nedenidir.

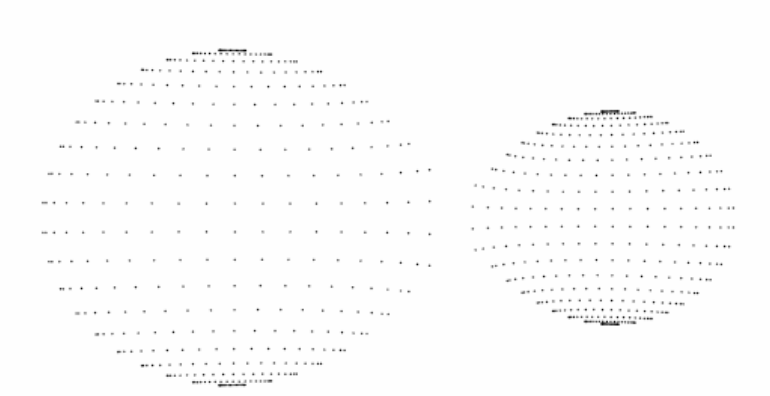


**Çizelge 5.10** FI Bootis çift yıldız sisteminin çözüm parametreleri

Parametreler	BVR
$i$ (°)	$45.225 \pm 0.788$
$A_1 = A_2$	0.5
$g_1 = g_2$	0.32
$I_3$	0
$T_1$ (°)	5695
$T_2$ (°)	$5353 \pm 21.08$
$\Omega_1 = \Omega_2$	$2.5975 \pm 0.0074$
$q = m_2/m_1$	0.372
$L_1$ (B)	$8.77952 \pm 0.04547$
$L_1$ (V)	$8.71365 \pm 0.03977$
$L_1$ (R)	$8.62453 \pm 0.03621$
$X_{1bol}$	0.203
$X_{2bol}$	0.287
$Y_{1bol}$	0.510
$Y_{2bol}$	0.409
$X_1A$ (B)	0.557
$X_1A$ (V)	0.275
$X_1A$ (R)	0.135
$X_2A$ (B)	0.822
$X_2A$ (V)	0.495
$X_2A$ (R)	0.296
$Y_1A$ (B)	0.325
$Y_1A$ (V)	0.564
$Y_1A$ (R)	0.620
$Y_2A$ (B)	0.033
$Y_2A$ (V)	0.344
$Y_2A$ (R)	0.474
$a$ ( $R_\odot$ )	$2.34 \pm 0.04$
$V_\gamma$ (km/s)	$-30.4 \pm 0.1$
$r_1$ (pole)	$0.442980 \pm 0.001416$
$r_1$ (side)	$0.474617 \pm 0.001887$
$r_1$ (back)	$0.502574 \pm 0.002414$
$r_2$ (pole)	$0.281606 \pm 0.001496$
$r_2$ (side)	$0.294106 \pm 0.001778$
$r_2$ (back)	$0.330119 \pm 0.002927$
$\Sigma w(O-C)^2$ (B)	0.020109
$\Sigma w(O-C)^2$ (V)	0.016412
$\Sigma w(O-C)^2$ (R)	0.017602



Şekil 5.12 B,V ve R bantlarında elde edilen gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri



Şekil 5.13 Sistemin 0.24 evresindeki Roche geometrisi

#### 5.2.4 Mutlak parametreler

Sistemin ışık eğrisi, dikine hız eğrisi ile birlikte analizi edildiğinde, sisteme ilişkin mutlak parametrelerin hesaplanması çok daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Çizelge 5.8’de verilen parametrelerden yararlanarak sistemin yörünge yarıbüyük eksen uzunluğunun,

$$a = a_1 + a_2 = (2.34 \pm 0.04) R_{\odot}$$

olduğu bulunmuştur-. Bileşen yıldızların kütle merkezine olan uzaklıkları oranı aynı zamanda kütle oranına eşit olduğundan

$$a_1/a_2 = 0.372 \quad (5.15)$$

yazabiliriz. Bileşenler arası uzaklık değerini ve denklem (5.15)'i birlikte kullanarak  $a_1$  ve  $a_2$  değerleri sırasıyla,

$$a_1 = 0.000793 \text{ AB}$$

$$a_2 = 0.000295 \text{ AB}$$

olarak hesap edilmiştir. Bileşen yıldızların kütleleri aşağıdaki denklemden yararlanarak ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$m_1 \sin^3 i = \frac{(a_2 \sin i)(a \sin i)^2}{P^2} \quad \text{ve} \quad m_2 \sin^3 i = \frac{(a_1 \sin i)(a \sin i)^2}{P^2} \quad (5.16)$$

Işık eğrisi çözümünden elde edilen ve bileşen yıldızların birbirlerine bakan yüzeylerine ilişkin kesirsel yarıçaplar ve yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu dikkate alındığında, bileşen yıldızların ayrı ayrı yarıçapları,

$$R_1 = a \times r_1 = 1.11 \pm 0.02 R_{\odot} \quad \text{ve} \quad R_2 = a \times r_2 = 0.65 \pm 0.01 R_{\odot} \quad (5.17)$$

olarak hesaplanmıştır. Bileşenlerin ışınımgücü değerleri daha önce bulunan yarıçap ve çözümlerde bulunan sıcaklık değerlerinden yararlanarak

$$L_1 = 4\pi R_1^2 \sigma T_1^4 = 1.15 \pm 0.04 L_{\odot} \quad \text{ve} \quad L_2 = 4\pi R_2^2 \sigma T_2^4 = 0.34 \pm 0.01 L_{\odot} \quad (5.18)$$

denkleminde hesaplanmıştır.

Bileşenlerin bolometrik parlaklıkları da yine onların yarıçapları ve sıcaklık değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} M_{bol1} &= 42.369 - 5 \log R_1 / R_\odot - 10 \log T_1 / T_\odot = 4.59 \pm 0.04 & \text{ve} \\ M_{bol2} &= 42.369 - 5 \log R_2 / R_\odot - 10 \log T_2 / T_\odot = 5.89 \pm 0.04 \end{aligned} \quad (5.19)$$

Bileşenlerin yüzey çekim ivmeleri ise daha önce bulunan kütle ve yarıçap değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} \log g_1 &= 4.438 + \log M_1 / M_\odot - 2 \log R_1 / R_\odot = 4.26 \pm 0.01 & \text{ve} \\ \log g_2 &= 4.438 + \log M_2 / M_\odot - 2 \log R_2 / R_\odot = 4.25 \pm 0.01 \end{aligned} \quad (5.20)$$

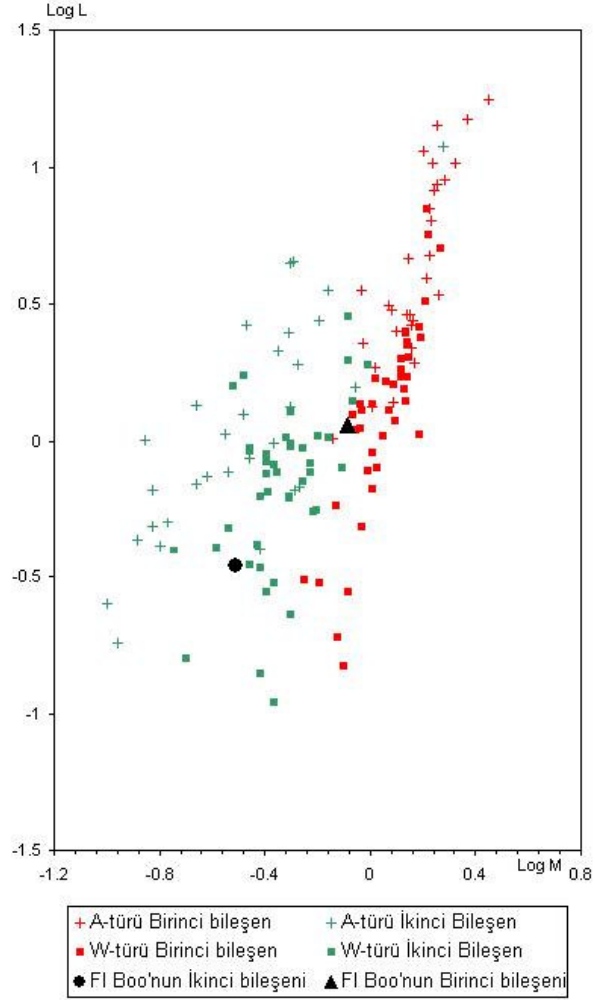
Çizelge 5.11’de FI Bootis sistemi için hesaplanan fiziksel parametreler ve değerleri verilmiştir.

**Çizelge 5.11** FI Bootis sistemin mutlak parametreleri

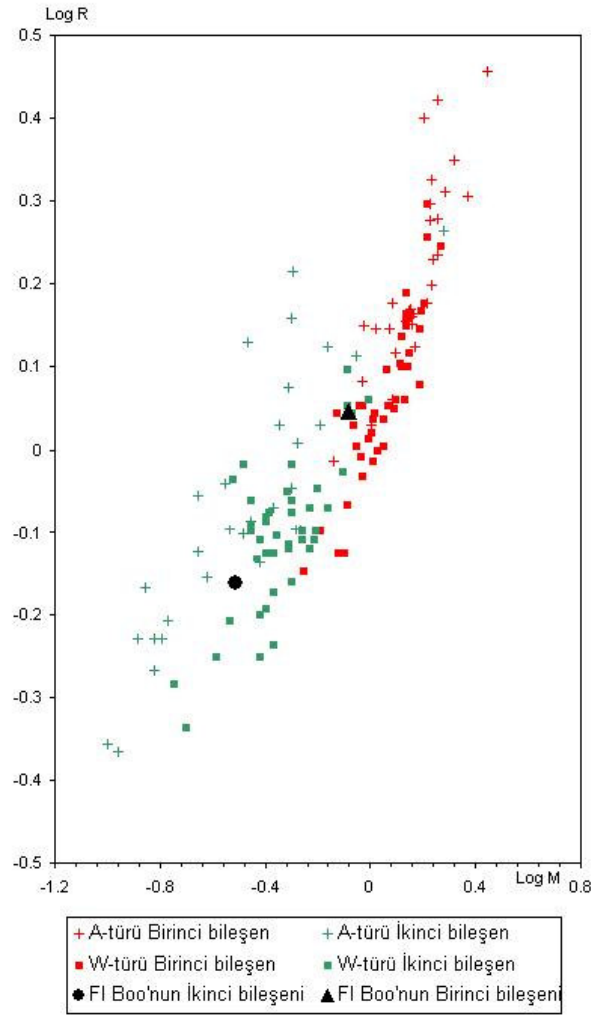
<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
$M_1(M_\odot)=$	$0.83 \pm 0.04$
$M_2(M_\odot)=$	$0.31 \pm 0.02$
$R_1(R_\odot)=$	$1.11 \pm 0.02$
$R_2(R_\odot)=$	$0.69 \pm 0.01$
$L_1(L_\odot)=$	$1.15 \pm 0.04$
$L_2(L_\odot)=$	$0.34 \pm 0.01$
$M_{bol1}=$	$4.59 \pm 0.04$
$M_{bol2}=$	$5.89 \pm 0.04$
<b>Log <math>g_1</math>=</b>	$4.26 \pm 0.01$
<b>Log <math>g_2</math>=</b>	$4.25 \pm 0.01$

FI Boo sisteminin elde edilen mutlak parametreler dikkate alınarak Yakut and Eggleton (2005)’in çalışmasından verilen sistemler arasındaki konumu Şekil 5.14’de gösterilmiştir. Kütle-yarıçap ve kütle-ışınım gücü dağılımlarının çok aykırı konumlarda

bulunmadığı görülmektedir. Şekil 5.14 - 5.15'de kullanılan semboller bir önceki kesimdeki semboller ile aynıdır ve şekil altlarında da verilmiştir.



Şekil 5.14 W UMA türü sistemler için kütle-ışınım gücü dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde FI Bootis sisteminin konumu



Şekil 5.15 W UMA türü sistemler için kütle-yarıçap dağılımı (Yakut and Eggleton 2005) üzerinde FI Bootis sisteminin konumu

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada GSC 2751-1007 sisteminin ilk kez çok renk CCD gözlemleri gerçekleştirilerek ışık eğrilerinin analizi yapılmıştır. Sistem için yeni ışık elemanları hesaplanarak bu çalışmada verildi. Sistemin fiziksel ve geometrik parametreleri, W UMa türü sistemler için literatürde bulunan bağıntılardan yararlanılarak belirlendi. Analizler sonucunda sistemin kütle oranı 3.78 olan W-türü bir W UMa sistemi olduğu ortaya çıktı. Sistem için hesaplanan fiziksel parametreler W UMa türü sistemleri için oluşturulmuş kütle-ışınım gücü ve kütle-yarıçap bağıntılarına uygun değerlere sahip olduğu görülmüştür. Çözümler sonucunda sistemin ışık eğrisinin beklenenden farklı albedo değerleri ile modellenemediği görülmüştür. Tayfında görülen güçlü salma çizgileri sistemi saran sıcak bir gazın varlığına işaret etmektedir. Işık eğrisinde özellikle 0.5 evresinden hemen sonra görülen hafif bir parlamanın gelecekte elde edilecek ışık eğrilerinde olup olmadığı incelenmelidir. Işık eğrilerinde özellikle maksimumlarda saçılmanın fazla olması O'Connell etkisinin olup olmadığı konusunda bir bilgi vermemektedir. Daha ayrıntılı çalışma gerçekleştirilebilmek amacıyla sistemin tayfsal ve yeni ışık eğrisi gözlemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gözlemleri gerçekleştirilen ve ışık eğrisi analizi yapılan bir diğer sistem FI Boo sistemidir. B, V ve R bandlarında elde edilen ışık eğrileri sistemin düşük genlikli değişim göstermesi nedeniyle büyük saçılma göstermektedir. Daha önce Pribulla *et al.* (2002) tarafından verilen ışık elemanlarının ikinci minimuma ait olduğu görüldü ve yeni ışık elemanları hesaplandı. Lu *et al.* (2001) tarafından yayınlanan dikine hız eğrileri ve gözlemlerimizden elde edilen üç band ışık eğrileri kullanılarak sistemin ışık ve dikine hız eğrisi analizi gerçekleştirilerek fiziksel ve geometrik parametreler hesaplandı. Terrell *et al.* (2006) tarafından belirtildiği gibi sistemin A-türü bir W UMa sistemi olduğu görüldü. Sistem için incelenen O-C değişimindeki saçılmanın temel nedeninin ışık değişim genliğinin çok küçük olması nedeniyle ortaya çıkan saçılma olduğunu düşünmekteyiz. Daha sağlıklı dönem analizi yapabilmek için çok daha duyarlı minimum zamanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sistemin analizinde verilen tayf türüne karşılık seçilen baş yıldız sıcaklığı Terrell *et al.* (2006)'in vermiş olduğu sıcaklıktan

biraz daha yüksek olarak alındığı için hesaplanan fiziksel parametrelerde küçük farklılıklar ortaya çıkmıştır. Sistem için hesaplanan kütle-yarıçap ve kütle-ışınım gücü değerleri literatürde W UMa türü sistemler için verilen değerler ile uyumludur.



## KAYNAKLAR

- Agarar, F. and Hubscher, J. 1999. Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries. IBVS, 4711.
- Allen, C.; Poveda, A. and Herrera, M.A. 2000. Catalogue of wide binaries (Allen+2000) Cat..33560529.
- Al-Naimy, H.M. 1978. Linearized Limb-Darkening Coefficients for Use in Analysis of Eclipsing Binary Light Curves. AP&SS, 53; 181.
- Awadalla, N.S. and Hanna, M.A. 2005. Absolute Parameters and Mass-Radius-Luminosity Relations for the Sub-Types of W UMa Binaries. JKAS, 38; 43A.
- Bilir, S., Karatas, Y. and Demircan, O., Eker, Z. 2005. Kinematics of W Ursae Majoris type binaries and evidence of the two types of formation. MNRAS, 357; 497B.
- Binnendijk, L. 1960. Properties of double stars; a survey of parallaxes and orbits. QB821.B56.
- Binnendijk, L. 1970. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. VA, 12; 217.
- Binnendijk, L. 1977. Synthetic light curves for contact binaries. VA, 21; 359.
- Bond, H.E. 1975. PASP Eclipsing binaries found spectroscopically. II. HD 128141, 87; 877.
- Bradstreet, D.H. 1993. Light curve modeling of eclipsing binary stars, Springer-Verlag, 151.
- Claret, A., Diaz-Cordoves, J. and Gimenez, A. 1995. Linear and non-linear limb-darkening coefficients for the photometric bands R I J H K. A&AS, 114; 247.
- Copeland, H., Jensen, J.O. and Jorgensen, H.E. 1970. Homogeneous Models for Population I and Population II Compositions. A&A, 5; 12.
- Csizmadia, Sz. and Klagyivik, P. 2004. On the properties of contact binary stars. A&A, 426,1001.
- D'Angelo, C., van Kerkwijk, Marten H. and Rucinski, S.M. 2006. Contact Binaries with Additional Components. II. A Spectroscopic Search for Faint Tertiaries AJ,132; 650.
- Diaz-Cordoves, J., Claret, A. and Gimenez, A. 1995. Linear and non-linear limb-darkening coefficients for LTE model atmospheres. A&As, 110; 329.

- Duerbeck, H.W. 1997. True and Possible Contact Binaries in the Hipparcos Catalogue. IBVS, 4513;1.
- Dworak, T.Z. 1975. A catalogue of photometric parallaxes of eclipsing binaries. AcA, 25; 383D.
- Dworak, T.Z., Kurpinska, M. 1975. Photoelectric Observations of the Variable AW UMa. AcA, 25; 417.
- Eaton, J.A. 1973. An Ultraviolet Analysis of Algol. BAAS, 5; 387.
- Eaton, J.A., Wu, C.C. and Rucinski, S. M. 1980. Low Color Temperature Variations Over the Common Envelope of W-Ursae and the Cause of its W-Type Lightcurve. IAUS, 88;501.
- Eaton, J.A. 1983. Chromospheric emission of W Ursae Majoris-type stars and its relation to the structure of their common envelopes. APJ, 268; 800.
- Eaton, J.A. 1986 Implications of the light curve of the A-type W UMa binary V566 Ophiuchi. AcA, 36; 275.
- Gonzalez, J.F. and Lapasset, E. 1996. Astrophysical Characteristics of Contact Binaries Revisited. RMxAC, 4Q; 100.
- Guthnick, P. and Prager, R. 1917. Eine neue Klasse von Veränderlichen. AN, 203;63G.
- Gürol, B. 2005. "Long term photometric and period study of AU Serpentis". NewA, 10; 653G.
- Gürol, B., Müyesseroglu, Z. and Özdemir, T. 2006, "Light curve and period study of V Trianguli", 327; 698.
- Haberts, G.M. and Heintze, J. R. W. 1981. Empirical bolometric corrections for the main-sequence. A&AS, 46; 193.
- Hack, M. 1963. Evoluzione delle Stelle, Ed. L. Gratton, Academic Press, New York.
- Hazlehurst T. 1970. The nature of contact binaries. MNRAS, 149; 129H.
- Heintz, W. D. 1978. Stellar Mass Calibration. moas.coll;82H.
- Herchel, J.S. 1831. Catalogue of 364 double stars. MNRAS, 2; 38.
- Hilditch, R.W. 1981. The Massive Interacting Binary Systems DH CEP and CC CAS. Iue, prop; 940.
- Hilditch, R.W. 1981. A Study of Four Contact Binary Systems Using the DDO Photometric System. MNRAS, 196; 305.

- Hilditch, R.W., King, D.J. and McFarlane, T.M. 1988. The evolutionary state of contact
- Hill, G. 1979. Description of an Eclipsing Binary Light Curve Computer Code with Application to Y- Sextus and the W-Ursae Code of Rucinski. PDAO, 15; 297.
- Hill, G. and Hutchings, J. B. 1970. The Synthesis of Close-Binary Light Curves. I. The Hoffmann, M. 1978. The W Ursae Majoris system TZ Bootis. A&AS, 33; 63.
- Huang, S.S. 1956. A dynamical problem in binary systems and its bearing on stellar evolution. AJ, 61; 49.
- Huang, S.S. and Struve, O. 1956. The radii and masses of eclipsing binary stars. AJ, 61; 300H.
- Hubscher, J., Paschke, A and. Walter, F. 2005. Photoelectric Minima of Selected Eclipsing Binaries and Maxima of Pulsating Stars. IBVS,5657; 1.
- İbanoğlu C. ve Akan C. 2002. Değişen Yıldızlar. 185.
- Kaehler, H. 1986. Theory of Contact Binaries. MitAG, 67; 85.
- Kaehler, H. 2002a. The structure equations of contact binaries. A&A, 395; 899.
- Kaehler, H. 2002b. On the structure of contact binaries. A&A, 395; 907.
- Kaehler, H. 2004. The structure of contact binaries. A&A, 414; 317.
- Kaehler, H., Matranka, B. and Weigert, A. 1986. Contact binaries. I - A computational scheme, thermal stability, and linear series. A&A, 159; 317.
- Kaehler, H., Matranka, B. and Weigert, A. 1987. Contact binaries. III - A survey of the equilibrium solutions and their stability. A&A, 172; 179.
- Kaehler, H., Matranka, B. and Weigert, A.1986. Contact binaries. II - Metastable systems and limit cycles. A&A, 161; 296K.
- Kalimeris, A., Rovithis-Livaniou, H. and Rovithis, P. 1994. On the orbital period changes in contact binaries. A&AS, 282; 775.
- Kalimeris, A.; Rovithis-Livaniou, H. 2001. Observed Properties of Contact Binary Systems. OAP, 14; 33.
- Karska, A. and Maciejewski, G. 2003. CCD Times of Minima of Some Eclipsing Binaries in 2002. IBVS, 5380;1.
- Kazarovets, A.V., Samus, N.N. and Durlevich, O.V., Frolov, M.S., Antipin, S.V. and Kireeva, N.N., Pastukhova, E.N. 1999. The 74th Special Name-list of Variable Stars. IBVS, 4659; 1.

- Kippenhahn, R. and Weigert, A. 1989. *Stellar Structure and Evolution*. Springer, Berlin,
- Kopal, Z. 1942. *Proc. Am. Phils. Soc*, 85; 399.
- Kopal, Z. 1955. The classification of close binary systems. *AnAp*, 18; 379.
- Kopal, Z. 1959. *Close Binary Systems*. cbs. book. Wiley, New York
- Krajci, T. 2005. Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars. *IBVS*,5592;1.
- Kuiper, G.P. 1941. On the Interpretation of beta Lyrae and Other Close Binaries. *ApJ*, 93; 133.
- Kurucz, R.L. 1993. New Atmospheres for Modelling Binaries and Disks, in E., F.,
- Kwee, K.K. and van Woerden, H. 1956. A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable. *BAN*, 12; 327.
- Kwee, K. K. and van Woerden, H. 1956. A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable. *BAN*, 12; 327.
- Lejuene, T., Cuisiner, F. and Buser, R. 1997. Standard stellar library for evolutionary
- Lejuene, T., Cuisiner, F. and Buser, R. 1998. A standard stellar library for evolutionary
- Leung, K.C. and Wilson, R.E. 1977. The early-type contact system V1010 Oph. *ApJ*, 211; 853L.
- Linnell, A.P. 1982. A note on atmospheric extinction corrections. *PASP*, 94; 374L.
- Lu, W., Rucinski, S.M. and Ogloza, W. 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. IV. *AJ*, 122; 402.
- Lucy, L.B. 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. *ZA*, 65; 89.
- Lucy, L.B. 1968a. The Structure of Contact Binaries. *APJ*, 151; 1123.
- Lucy, L.B. 1968b. The Light Curves of W Ursae Majoris Stars. *ApJ*, 153; 877.
- Lucy, L.B. 1973. The Common Convective Envelope Model for W Ursae Majoris Systems and the Analysis of their Light Curves. *AP&SS*, 22; 381.
- Lucy, L.B. and Wilson, R.E. 1979. Observational tests of theories of contact binaries. *APJ*, 231; 502.
- Lucy, L. B., Sweeney, M. A. 1973. Spectroscopic binaries with circular orbits. *Obs*, 93; 37.
- Maceroni, C., Milano, L. and Russo, G. 1985. General properties of W Ursae Majoris systems. *MNRAS*, 217; 843.
- Maceroni, C., Bianchini, A. and Rodono, M., van't Veer, F., Vio, R. 1990. Magnetic cycles in solar-type single and close binary stars. *A&A*, 237; 395M.

- Maceroni, C. and van't Veer, F. 1996. The properties of W Ursae Majoris contact binaries: new results and old problems. *A&A*, 311; 523.
- Maciejewski, G., Czart, K. and Niedzielski, A. 2003. 28 New Variable Stars from SAVS. *IBVS*, 5518; 1.
- Merrill, J. E. 1950. Book reviews: Tables for Solution of Light Curves of Eclipsing Binaries. *PA*, 58; 475.
- Milone, E. F. 1986. Light Curve Modelin of Eclipsing Binary Stars. pp93-102,
- Milone, E.F., Fry, D.J.I. and Grillmair, C. 1987. Spectroscopy of TY Bootis: Radial Velocities and Emission at Ca II H and K. *BAAS*, 19; 643.
- Mochnecki, S.W. 1981. Contact binary stars. *APJ*, 245; 650.
- Moss, J. and Whelan D. 1970. The structure of W UMa systems. *MNRAS*, 149; 147M.
- Moss, J. 1971. The evolution of contact binary systems of moderate mass. *MNRAS*, 153; 41.
- Mullan, D.J. 1975. On the possibility of magnetic starspots on the primary components of W Ursae Majoris type binaries. *APJ*, 198; 563.
- Nagai, K. 2005. Visual and CCD minima of eclipsing binaries during 2004. *VSB*, 43.
- Nakajima, 2006 özel görüşme.
- Nelson, B. and Davis, W.D. 1972. Eclipsing-Binary Solutions by Sequential Optimization of the Parameters. *ApJ*, 174; 617.
- Osaki, Y. 1965. Mass-Luminosity Relationship in Close Binary Systems of W Ursae Majoris Type. *PASJ*, 17; 970.
- Parenago, A.G. and Masevitch Und P. P. 1951. Untersuchung der Masse-Leuchtkraft-Radius-Beziehung. Teil II, *asa2.conf*, 45.
- Petrie, R.M. 1939. Celestial Kinematography (with Plates I, II). *JRASC*, 33; 33.
- Popper, D.M. 1980. Stellar masses. *ARA&A*, 18; 115.
- Pribulla, T., Vanko, M. and Parimucha, S., Chochol, D. 2002. New Photoelectric and CCD Minima and Updated Ephemerides of Selected Eclipsing Binaries. *IBVS*, 5341;1.
- Pribulla, T., Kreiner, J.M. and Tremko, J. 2003. Catalogue of the field contact binary stars. *CoSka*, 33; 38.

- Pribulla, T., Baludansky, D. and Chochol, D., Chrastina, M. and Parimucha, S., Petrik, K.; Szasz, G. and Vanko, M., Zboril, M. 2005. New Minima of Selected Eclipsing Close Binaries. *IBVS*, 5668; 1.
- Pribulla, T. and Rucinski, S.M. 2006 Contact Binaries with Additional Components. I. The Extant Data *AJ*, 131; 2986P.
- Rafert, J.B. and Twigg, L.W. 1980. Anomalous limb darkening coefficients of eclipsing binary systems. *MNRAS*, 193; 775.
- Rovithis-Livaniou, H., Rovithis, P. and Bitzaraki, O. 1992. Evolutionary state of W UMa-type systems. *Ap&SS*, 189; 237.
- 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. 1973. a The W UMa-type Systems as Contact Binaries. I. Two Methods of Geometrical Elements Determination. Degree of Contact. *AcA*, 23; 79.
- Rucinski, S.M. 1974. Binaries. II. A- and W-type Systems. The W UMa-type Systems as Contact. *AcA*, 24; 119.
- Rucinski, S.M. and Duerbeck, H.W. 1997. Absolute Magnitude Calibration for the W UMa-Type Systems Based on HIPPARCOS Data. *PASP*, 109; 1340.
- Rucinski, S.M., Lu, M. and Mochnacki, S.W. 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. V. *AJ*, 122; 1974 .
- Rucinski, S.M. 1993. A simple description of light curves of W UMa systems. *PASP*, 105; 1433.
- Rucinski, S.M. and Lu, W. 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. II. *AJ*, 118; 2451.
- Russell, H. N. 1912a. On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing Variable Stars. I. *APJ*, 35; 315.
- Russell, H. N. 1912b. On the Determination of the Orbital Elements of Eclipsing Variable Stars. II. *ApJ*, 36; 54.
- Russell, H.N. and Shapley, H. 1912. On Darkening at the Limb in Eclipsing Variables. II. *ApJ*, 36; 385.
- Russell, H.N. 1939. Notes on Ellipticity in Eclipsing Binaries. *ApJ*, 90; 641.

- Russell, H.N. and Moore, C.E. 1940. Book Reviews: The Masses of the Stars. PA, 48; 285.
- Russell, H.N. 1942. Notes on Eclipsing Variables. ApJ, 95; 345.
- Russell, H.N. 1945. Intermediary Elements for Eclipsing Binaries. ApJ, 102; 1.
- Russell, H.N. 1948. Idealized Models and Rectified Light-Curves for Eclipsing Variables. ApJ, 108; 388 .
- Russell, H. N., Merrill, J. E. 1952. The determination of the elements of eclipsing binaries. PC, 26; 1.
- Sekiguchi, M. and Fukugita, M. 2000. A Study of the B-V Color-Temperature Relation. AJ, 120; 1072S.
- Selam, S.O. and Demircan, O. 1994. Some Statistical Results On Contact And Near Contact Binaries. MmSAI, 65; 405S.
- Selam, S.O. 2004. Key Parameters Of W UMa-Type Contact Binaries Discovered By HIPPARCOS. A&A, 416;1097.
- Smith, R.C. 1983. An empirical stellar mass-luminosity relationship. Obs, 103; 29S.
- Smith, R.C. 1984. The Theory of Contact Binaries. QJRAS, 25; 405S.
- Stepien, K. 1980. Some Remarks About Models Of Starspots. IzYer; 181S.
- Straizys, V. and Kuriliene, G. 1981. Fundamental Stellar Parameters Derived From The Evolutionary Tracks. ApSS, 80; 353.
- Terrell, D., Osborn, W. and Smolinski, J., Gross, J. 2006. The Absolute Dimensions of the Overcontact Binary FI Bootis. AJ, 132; 1153.
- van Hamme, W. 1982. Estimated absolute dimensions and the inferred lifetime and angular momentum of W Ursae Majoris contact binaries. A&A, 116; 27.
- van Hamme, W. 1982. On the evolutionary state of the W Ursae Majoris contact binaries. A&A, 105; 389.
- van Hamme, W. and Wilson, R.E. 1985. Proximity effects and radial velocity solutions for W UMa contact binaries. BAAS, 17; 519.
- van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. AJ, 106; 2096.
- van't Veer, F. 1979. The angular momentum controlled evolution of solar type contact binaries. A&A, 80; 287.

- van't Veer, F. and Maceroni, C. 1988. The angular momentum loss of rapidly rotating late-type main sequence binaries. *A&A*, 199; 183.
- van't Veer, F. and Maceroni, C. 1989. The angular momentum loss for late-type stars. *A&A*, 220; 128.
- Vandenbroere, J. 1993. NSV 7457 Her: a Probable W UMa Star. *IBVS*, No, 3946.
- von Zeipel, H. 1924a. Radiative equilibrium of a double-star system with nearly spherical components. *MNRAS*, 84; 702.
- von Zeipel, H. 1924a. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses. *MNRAS*, 84; 665.
- von Zeipel, H. 1924b. The radiative equilibrium of a slightly oblate rotating star. *MNRAS*, 84; 684.
- von Zeipel, H. 1924c. Radiative equilibrium of a double-star system with nearly spherical components. *MNRAS*, 84; 702.
- Wang, J.M. 1994. The thermal relaxation oscillation states of contact binaries. *ApJ*, 434; 277.
- Wade, R.A. and Rucinski, S.M. 1985. Linear and quadratic limb-darkening coefficients for a large grid of LTE model atmospheres. *A&AS*, 60; 471.
- Webbink, R.F. 1976. The Evolution of Low-Mass Close Binary Systems. II.  $1.50 M_{\text{sun}} + 0.75 M_{\text{sun}}$ : Evolution Into Contact. *ApJS*, 32; 583.
- Wilson, R.E. 1978. On the A-type W Ursae Majoris systems. *ApJ*, 224; 885.
- Wilson, R.E. 1979. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. *ApJ*, 234; 1054.
- Wilson, R.E. 1990. Accuracy and efficiency in the binary star reflection effect. *ApJ*, 356; 613.
- Wilson, R.E. 1993. Computation Methods and Organization for Close Binary Observables. *ASPC*, 38; 91.
- Wilson, R.E., Biermann, P. 1976. TX CANCRI - Which component is hotter. *A&A*, 48; 349.
- Wilson, R.E. and Devinney, E.J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *ApJ*, 166; 605.
- Wilson, R. E. and Devinney, E.J. 1973. Fundamental data for contact binaries : RZ Com, RZ Tau and AW UMa. *APJ*, 182; 539.



- Wilson, R.E., de L., M. and Johnston, K., Mango, S.A. 1972. Photometry and Differential Corrections Analysis of Algol. *ApJ*, 177; 191.
- Wilson, R.E. and Sofia, S. 1976. Effects of tidal distortion on binary-star velocity curves and ellipsoidal variation. *ApJ*, 203;182.
- Wilson, R.E., van Hamme W. 2004. Computing Binary Star Observables
- Wood, D. B. 1971. An analytic model of eclipsing binary star systems. *AJ*, 76; 701.
- Yakut, K. and, Eggleton, P P. 2005. Evolution of Close Binary Systems. *ApJ*, 629; 1055Y.
- Yeşilyaprak, C. and Şahin, T. 2004. Variable Star Section Circular. *BAVS*, 121; 11.
- Zejda, M. 2002. CCD Times of Minima of Faint Eclipsing Binaries in 2000. *IBVS*, 5287; 1.

## **E K L E R**

Ek 1 GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri

Ek 2 FI Bootis sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri

No	HJD+2453300	$\Delta B$	No	HJD+2453300	$\Delta B$
1	0.242	0.921	176	1.262	0.701
2	0.244	0.932	177	1.264	0.707
3	0.245	0.930	178	1.265	0.730
4	0.247	0.932	179	1.267	0.753
5	0.249	0.939	180	1.269	0.739
6	0.252	0.942	181	1.271	0.761
7	0.254	0.957	182	1.272	0.786
8	0.256	0.967	183	1.274	0.787
9	0.257	0.967	184	1.276	0.820
10	0.259	0.975	185	1.278	0.811
11	0.263	0.964	186	1.279	0.839
12	0.265	0.972	187	1.281	0.861
13	0.267	0.980	188	1.283	0.843
14	0.269	1.002	189	1.285	0.860
15	0.270	0.986	190	1.290	0.859
16	0.272	0.964	191	1.291	0.886
17	0.274	0.972	192	1.293	0.869
18	0.276	0.993	193	1.295	0.882
19	0.279	0.979	194	1.297	0.901
20	0.281	0.998	195	1.298	0.897
21	0.282	0.999	196	1.300	0.897
22	0.284	0.994	197	1.302	0.902
23	0.286	0.989	198	1.304	0.915
24	0.304	1.010	199	1.305	0.919
25	0.306	0.975	200	1.307	0.924
26	0.353	0.844	201	1.309	0.943
27	0.355	0.846	202	1.311	0.922
28	0.356	0.846	203	1.313	0.949
29	0.358	0.833	204	1.314	0.952
30	0.360	0.814	205	1.316	0.933
31	0.364	0.772	206	1.318	0.970
32	0.366	0.786	207	1.320	0.994
33	0.368	0.768	208	1.322	0.994
34	0.370	0.752	209	1.323	0.991
35	0.371	0.736	210	1.325	0.995
36	0.373	0.739	211	1.327	0.988
37	0.375	0.689	212	1.342	0.991
38	0.377	0.680	213	1.344	0.994
39	0.378	0.672	214	1.346	0.982
40	0.380	0.646	215	1.348	0.989
41	0.383	0.661	216	1.350	0.973
42	0.385	0.655	217	1.351	0.989
43	0.386	0.646	218	1.353	0.998
44	0.388	0.640	219	1.355	0.966
45	0.390	0.640	220	1.357	0.961
46	0.392	0.619	221	1.358	0.966
47	0.393	0.623	222	1.362	0.977
48	0.395	0.622	223	1.364	0.960

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta B$	No	HJD+2453300	$\Delta B$
49	0.397	0.621	224	1.366	0.975
50	0.399	0.625	225	1.368	0.960
51	0.403	0.609	226	1.369	0.951
52	0.404	0.609	227	1.371	0.948
53	0.406	0.627	228	1.373	0.964
54	0.408	0.630	229	1.375	0.966
55	0.410	0.615	230	1.376	0.944
56	0.412	0.629	231	1.378	0.949
57	0.413	0.635	232	1.382	0.925
58	0.415	0.625	233	1.383	0.938
59	0.417	0.656	234	1.385	0.920
60	0.419	0.664	235	1.387	0.915
61	0.423	0.666	236	1.389	0.915
62	0.425	0.686	237	1.390	0.922
63	0.427	0.677	238	1.392	0.896
64	0.428	0.695	239	1.394	0.890
65	0.430	0.720	240	1.396	0.868
66	0.432	0.739	241	1.398	0.865
67	0.434	0.737	242	1.399	0.851
68	0.436	0.761	243	1.401	0.848
69	0.437	0.752	244	1.403	0.835
70	0.439	0.807	245	1.405	0.841
71	0.441	0.790	246	1.408	0.837
72	0.443	0.826	247	1.409	0.820
73	0.445	0.812	248	1.411	0.814
74	0.447	0.824	249	1.413	0.805
75	0.448	0.855	250	1.415	0.794
76	0.450	0.851	251	1.416	0.778
77	0.452	0.863	252	1.418	0.754
78	0.454	0.881	253	1.420	0.752
79	0.455	0.862	254	1.422	0.750
80	0.457	0.873	255	1.423	0.742
81	0.459	0.869	256	1.425	0.691
82	0.461	0.879	257	1.427	0.690
83	0.463	0.921	258	1.429	0.678
84	0.464	0.887	259	1.431	0.684
85	0.468	0.930	260	1.432	0.667
86	0.470	0.944	261	1.436	0.661
87	0.471	0.951	262	1.437	0.654
88	0.473	0.951	263	1.439	0.656
89	0.475	0.971	264	1.441	0.658
90	0.477	0.979	265	1.443	0.653
91	0.478	0.961	266	1.444	0.656
92	0.480	0.973	267	1.446	0.669
93	0.482	0.975	268	1.448	0.668
94	0.484	0.981	269	1.450	0.657
95	0.486	0.965	270	1.452	0.664
96	0.487	0.952	271	1.453	0.658

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta B$	No	HJD+2453300	$\Delta B$
97	0.489	0.962	272	1.455	0.664
98	0.491	0.975	273	1.457	0.667
99	0.493	0.964	274	1.459	0.673
100	0.495	0.966	275	1.460	0.685
101	0.496	0.977	276	1.462	0.690
102	0.498	1.001	277	1.464	0.703
103	0.500	0.987	278	1.466	0.718
104	0.502	0.975	279	1.467	0.735
105	0.503	0.974	280	1.470	0.768
106	0.505	0.968	281	1.472	0.770
107	0.507	0.979	282	1.474	0.792
108	0.509	0.981	283	1.475	0.804
109	0.510	0.988	284	1.477	0.809
110	0.512	0.975	285	1.479	0.822
111	0.514	1.001	286	1.481	0.829
112	0.516	0.979	287	1.482	0.831
113	0.518	0.998	288	1.484	0.846
114	0.519	0.980	289	1.486	0.849
115	0.526	0.994	290	1.488	0.859
116	0.528	1.001	291	1.490	0.874
117	0.529	0.991	292	1.491	0.897
118	0.531	0.979	293	1.493	0.937
119	0.533	0.981	294	1.495	0.915
120	0.535	0.972	295	1.497	0.913
121	0.536	0.955	296	1.498	0.932
122	0.538	0.954	297	1.500	0.941
123	0.540	0.946	298	1.503	0.967
124	0.542	0.973	299	1.504	0.963
125	0.543	0.945	300	1.506	0.968
126	0.545	0.911	301	1.508	0.952
127	0.547	0.942	302	1.513	0.990
128	0.549	0.914	303	1.515	0.982
129	0.551	0.919	304	1.517	0.954
130	0.555	0.932	305	1.519	0.987
131	0.557	0.896	306	1.520	0.971
132	0.558	0.896	307	1.522	0.995
133	0.560	0.910	308	1.524	1.002
134	0.562	0.877	309	1.526	0.988
135	0.564	0.869	310	1.528	0.976
136	0.565	0.886	311	1.529	0.975
137	0.567	0.881	312	1.531	0.990
138	0.569	0.841	313	1.533	1.000
139	0.571	0.852	314	1.535	1.004
140	0.575	0.797	315	1.536	1.003
141	0.577	0.829	316	1.538	1.004
142	0.578	0.768	317	1.540	1.000
143	0.580	0.779	318	1.542	1.012
144	0.582	0.764	319	1.543	1.004

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta B$	No	HJD+2453300	$\Delta B$
145	0.584	0.742	320	1.545	0.982
146	0.586	0.739	321	1.547	0.994
147	0.587	0.753	322	1.550	1.008
148	0.589	0.724	323	1.551	0.994
149	0.591	0.730	324	1.553	0.985
150	0.594	0.703	325	1.555	1.020
151	1.213	0.679	326	1.557	0.994
152	1.215	0.654	327	1.558	0.992
153	1.217	0.652	328	1.560	1.006
154	1.219	0.661	329	1.562	0.984
155	1.220	0.639	330	1.564	1.006
156	1.222	0.631	331	1.566	0.982
157	1.224	0.623	332	1.567	1.002
158	1.226	0.635	333	1.569	0.983
159	1.227	0.619	334	1.571	0.989
160	1.229	0.625	335	1.573	0.961
161	1.231	0.628	336	1.578	0.996
162	1.233	0.630	337	1.579	0.955
163	1.235	0.625	338	1.581	0.981
164	1.237	0.619	339	1.583	0.967
165	1.239	0.621	340	1.585	0.946
166	1.240	0.623	341	1.586	0.945
167	1.242	0.632	342	1.588	0.936
168	1.244	0.633	343	1.590	0.961
169	1.246	0.622	344	1.592	0.930
170	1.247	0.632	345	1.597	0.915
171	1.249	0.617	346	1.599	0.910
172	1.251	0.643	347	1.601	0.891
173	1.256	0.670	348	1.602	0.863
174	1.258	0.686	349	1.604	0.852
175	1.260	0.682			

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta V$	No	HJD+2453300	$\Delta V$
1	0.243	0.926	179	1.252	0.658
2	0.244	0.927	180	1.257	0.680
3	0.246	0.932	181	1.259	0.708
4	0.248	0.949	182	1.261	0.690
5	0.250	0.944	183	1.262	0.711
6	0.253	0.979	184	1.264	0.735
7	0.254	0.974	185	1.266	0.739
8	0.256	0.976	186	1.268	0.771
9	0.258	0.994	187	1.270	0.773
10	0.260	0.985	188	1.271	0.799
11	0.264	0.980	189	1.273	0.811
12	0.266	1.001	190	1.275	0.824
13	0.268	0.980	191	1.277	0.825
14	0.269	0.987	192	1.278	0.834
15	0.271	0.988	193	1.280	0.842
16	0.273	1.001	194	1.282	0.861
17	0.275	1.003	195	1.284	0.877
18	0.276	0.992	196	1.285	0.878
19	0.279	0.986	197	1.290	0.883
20	0.281	0.996	198	1.292	0.893
21	0.283	0.993	199	1.294	0.909
22	0.285	0.987	200	1.296	0.909
23	0.305	1.000	201	1.297	0.914
24	0.307	1.006	202	1.299	0.938
25	0.354	0.861	203	1.301	0.925
26	0.355	0.850	204	1.303	0.938
27	0.357	0.840	205	1.304	0.942
28	0.359	0.829	206	1.306	0.940
29	0.361	0.823	207	1.308	0.953
30	0.365	0.814	208	1.310	0.948
31	0.367	0.785	209	1.311	0.959
32	0.368	0.785	210	1.313	0.973
33	0.370	0.765	211	1.315	0.972
34	0.372	0.756	212	1.317	0.971
35	0.374	0.750	213	1.319	0.977
36	0.376	0.724	214	1.321	0.981
37	0.377	0.722	215	1.322	1.006
38	0.379	0.703	216	1.324	0.993
39	0.381	0.686	217	1.326	0.997
40	0.383	0.674	218	1.328	1.000
41	0.385	0.654	219	1.343	1.006
42	0.387	0.649	220	1.345	0.994
43	0.389	0.642	221	1.347	0.994
44	0.391	0.649	222	1.348	0.996
45	0.392	0.636	223	1.350	1.014

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta V$	No	HJD+2453300	$\Delta V$
46	0.394	0.636	224	1.352	1.005
47	0.396	0.633	225	1.354	0.996
48	0.398	0.647	226	1.356	0.993
49	0.399	0.642	227	1.357	1.004
50	0.403	0.632	228	1.359	0.993
51	0.405	0.639	229	1.363	0.979
52	0.407	0.641	230	1.365	0.979
53	0.409	0.641	231	1.366	0.988
54	0.410	0.645	232	1.368	0.983
55	0.412	0.647	233	1.370	0.982
56	0.414	0.661	234	1.372	0.966
57	0.416	0.661	235	1.374	0.953
58	0.418	0.667	236	1.375	0.974
59	0.419	0.673	237	1.377	0.964
60	0.424	0.692	238	1.379	0.939
61	0.426	0.724	239	1.382	0.920
62	0.427	0.720	240	1.384	0.927
63	0.429	0.758	241	1.386	0.923
64	0.431	0.761	242	1.388	0.908
65	0.433	0.766	243	1.389	0.928
66	0.434	0.774	244	1.391	0.921
67	0.436	0.782	245	1.393	0.909
68	0.438	0.796	246	1.395	0.895
69	0.440	0.811	247	1.396	0.900
70	0.442	0.828	248	1.398	0.899
71	0.443	0.812	249	1.400	0.873
72	0.446	0.833	250	1.402	0.852
73	0.447	0.848	251	1.404	0.845
74	0.449	0.861	252	1.405	0.864
75	0.451	0.880	253	1.408	0.840
76	0.453	0.875	254	1.410	0.853
77	0.454	0.877	255	1.412	0.811
78	0.456	0.899	256	1.414	0.796
79	0.458	0.895	257	1.415	0.792
80	0.460	0.899	258	1.417	0.756
81	0.461	0.914	259	1.419	0.765
82	0.463	0.930	260	1.421	0.763
83	0.465	0.943	261	1.422	0.765
84	0.469	0.952	262	1.424	0.726
85	0.470	0.961	263	1.426	0.722
86	0.472	0.972	264	1.428	0.705
87	0.474	0.968	265	1.429	0.689
88	0.476	0.956	266	1.431	0.685
89	0.477	0.968	267	1.433	0.672
90	0.479	0.968	268	1.436	0.660
91	0.481	0.970	269	1.438	0.667
92	0.483	0.970	270	1.440	0.674
93	0.484	0.959	271	1.442	0.670



Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta V$	No	HJD+2453300	$\Delta V$
94	0.486	0.970	272	1.443	0.653
95	0.488	0.988	273	1.445	0.675
96	0.490	0.990	274	1.447	0.670
97	0.492	0.982	275	1.449	0.668
98	0.493	1.004	276	1.450	0.661
99	0.495	0.994	277	1.452	0.673
100	0.497	0.989	278	1.454	0.680
101	0.499	0.984	279	1.456	0.673
102	0.501	0.997	280	1.458	0.688
103	0.502	1.007	281	1.459	0.686
104	0.504	0.987	282	1.461	0.698
105	0.506	0.990	283	1.463	0.715
106	0.508	0.984	284	1.465	0.724
107	0.509	0.995	285	1.466	0.726
108	0.511	0.975	286	1.468	0.745
109	0.513	0.989	287	1.471	0.736
110	0.515	1.004	288	1.473	0.802
111	0.516	1.016	289	1.474	0.791
112	0.518	1.004	290	1.476	0.817
113	0.520	0.996	291	1.478	0.813
114	0.526	0.989	292	1.480	0.835
115	0.528	1.001	293	1.481	0.834
116	0.530	0.979	294	1.483	0.846
117	0.532	0.972	295	1.485	0.848
118	0.534	0.991	296	1.487	0.857
119	0.535	0.964	297	1.488	0.881
120	0.537	0.966	298	1.490	0.902
121	0.539	0.955	299	1.492	0.898
122	0.541	0.967	300	1.494	0.896
123	0.542	0.963	301	1.496	0.915
124	0.544	0.958	302	1.497	0.925
125	0.546	0.971	303	1.499	0.926
126	0.548	0.937	304	1.501	0.932
127	0.549	0.936	305	1.503	0.966
128	0.551	0.945	306	1.505	0.975
129	0.555	0.915	307	1.507	0.979
130	0.557	0.926	308	1.509	0.969
131	0.559	0.911	309	1.514	0.982
132	0.561	0.925	310	1.516	0.983
133	0.563	0.914	311	1.518	0.991
134	0.564	0.910	312	1.519	0.981
135	0.566	0.899	313	1.521	0.984
136	0.568	0.886	314	1.523	0.988
137	0.570	0.858	315	1.525	0.990
138	0.571	0.873	316	1.526	0.987
139	0.576	0.843	317	1.528	1.008
140	0.577	0.833	318	1.530	0.997
141	0.579	0.788	319	1.532	1.000

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş  
diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta V$	No	HJD+2453300	$\Delta V$
142	0.581	0.781	320	1.533	0.987
143	0.583	0.747	321	1.535	0.999
144	0.584	0.786	322	1.537	1.016
145	0.586	0.742	323	1.539	1.009
146	0.588	0.713	324	1.541	1.010
147	0.590	0.743	325	1.542	1.014
148	0.592	0.723	326	1.544	1.010
149	0.595	0.682	327	1.546	1.012
150	0.596	0.695	328	1.548	0.992
151	0.598	0.684	329	1.550	1.009
152	0.600	0.667	330	1.552	0.994
153	0.602	0.679	331	1.554	1.010
154	0.605	0.675	332	1.556	1.010
155	0.607	0.653	333	1.557	0.988
156	0.608	0.657	334	1.559	0.987
157	0.610	0.674	335	1.561	0.978
158	1.214	0.692	336	1.563	0.994
159	1.216	0.685	337	1.565	1.004
160	1.218	0.686	338	1.566	0.973
161	1.219	0.661	339	1.568	0.996
162	1.221	0.660	340	1.570	0.986
163	1.223	0.652	341	1.572	0.993
164	1.225	0.644	342	1.573	0.980
165	1.226	0.650	343	1.578	0.967
166	1.228	0.637	344	1.580	0.942
167	1.230	0.641	345	1.582	0.959
168	1.232	0.643	346	1.584	0.946
169	1.233	0.645	347	1.585	0.932
170	1.236	0.643	348	1.587	0.941
171	1.238	0.658	349	1.589	0.929
172	1.239	0.652	350	1.591	0.936
173	1.241	0.658	351	1.592	0.913
174	1.243	0.653	352	1.598	0.924
175	1.245	0.638	353	1.599	0.900
176	1.246	0.644	354	1.601	0.883
177	1.248	0.643	355	1.603	0.877
178	1.250	0.643	356	1.605	0.891

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta R$	No	HJD+2453300	$\Delta R$
1	0.243	0.917	179	1.252	0.669
2	0.245	0.923	180	1.258	0.708
3	0.247	0.942	181	1.259	0.715
4	0.248	0.958	182	1.261	0.735
5	0.250	0.953	183	1.263	0.741
6	0.253	0.960	184	1.265	0.745
7	0.255	0.974	185	1.266	0.768
8	0.257	0.993	186	1.268	0.785
9	0.258	0.974	187	1.270	0.797
10	0.260	0.999	188	1.272	0.801
11	0.265	0.979	189	1.274	0.801
12	0.266	0.994	190	1.275	0.836
13	0.268	0.988	191	1.277	0.848
14	0.270	1.004	192	1.279	0.860
15	0.272	1.006	193	1.281	0.865
16	0.273	1.004	194	1.282	0.858
17	0.275	0.999	195	1.284	0.873
18	0.277	1.020	196	1.286	0.873
19	0.280	1.011	197	1.291	0.898
20	0.282	1.008	198	1.293	0.930
21	0.283	1.003	199	1.294	0.900
22	0.285	1.007	200	1.296	0.920
23	0.305	0.995	201	1.298	0.934
24	0.307	1.020	202	1.300	0.941
25	0.354	0.857	203	1.301	0.941
26	0.356	0.866	204	1.303	0.944
27	0.358	0.845	205	1.305	0.944
28	0.359	0.831	206	1.307	0.957
29	0.361	0.826	207	1.308	0.951
30	0.365	0.804	208	1.310	0.970
31	0.367	0.797	209	1.312	0.974
32	0.369	0.779	210	1.314	0.978
33	0.371	0.767	211	1.316	0.995
34	0.372	0.768	212	1.318	0.979
35	0.374	0.747	213	1.319	0.974
36	0.376	0.745	214	1.321	1.000
37	0.378	0.726	215	1.323	1.009
38	0.380	0.704	216	1.325	0.994
39	0.381	0.696	217	1.326	1.004
40	0.384	0.678	218	1.328	1.009
41	0.386	0.682	219	1.344	0.999
42	0.387	0.658	220	1.345	1.012
43	0.389	0.653	221	1.347	1.004
44	0.391	0.649	222	1.349	0.995
45	0.393	0.648	223	1.351	0.985

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta R$	No	HJD+2453300	$\Delta R$
46	0.395	0.644	224	1.353	1.000
47	0.396	0.641	225	1.354	0.978
48	0.398	0.657	226	1.356	0.988
49	0.400	0.644	227	1.358	0.986
50	0.404	0.652	228	1.360	0.977
51	0.406	0.659	229	1.363	0.994
52	0.407	0.656	230	1.365	0.998
	0.409	0.658	231	1.367	0.969
54	0.411	0.657	232	1.369	0.956
55	0.413	0.658	233	1.370	0.963
56	0.414	0.668	234	1.372	0.987
57	0.416	0.684	235	1.374	0.960
58	0.418	0.676	236	1.376	0.976
59	0.420	0.692	237	1.378	0.958
60	0.424	0.723	238	1.379	0.968
61	0.426	0.726	239	1.383	0.946
62	0.428	0.743	240	1.385	0.940
63	0.430	0.750	241	1.386	0.944
64	0.431	0.757	242	1.388	0.951
65	0.433	0.773	243	1.390	0.930
66	0.435	0.786	244	1.392	0.928
67	0.437	0.801	245	1.393	0.895
68	0.438	0.823	246	1.395	0.907
69	0.440	0.829	247	1.397	0.890
70	0.442	0.834	248	1.399	0.873
71	0.444	0.857	249	1.400	0.860
72	0.446	0.846	250	1.402	0.865
73	0.448	0.853	251	1.404	0.861
74	0.450	0.862	252	1.406	0.840
75	0.451	0.898	253	1.409	0.846
76	0.453	0.884	254	1.411	0.829
77	0.455	0.899	255	1.412	0.829
78	0.457	0.887	256	1.414	0.799
79	0.458	0.920	257	1.416	0.794
80	0.460	0.911	258	1.418	0.777
81	0.462	0.918	259	1.419	0.767
82	0.464	0.933	260	1.421	0.757
83	0.465	0.931	261	1.423	0.741
84	0.469	0.955	262	1.425	0.711
85	0.471	0.967	263	1.426	0.700
86	0.473	0.952	264	1.428	0.702
87	0.474	0.973	265	1.430	0.687
88	0.476	0.971	266	1.432	0.675
89	0.478	0.985	267	1.433	0.680
90	0.480	0.972	268	1.437	0.681
91	0.481	0.971	269	1.439	0.677
92	0.483	0.985	270	1.440	0.670
93	0.485	0.969	271	1.442	0.665

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta R$	No	HJD+2453300	$\Delta R$
94	0.487	0.994	272	1.444	0.677
95	0.489	0.994	273	1.446	0.673
96	0.490	0.993	274	1.447	0.677
97	0.492	0.981	275	1.449	0.676
98	0.494	0.987	276	1.451	0.670
99	0.496	0.979	277	1.453	0.667
100	0.497	0.994	278	1.454	0.676
101	0.499	0.984	279	1.456	0.693
102	0.501	0.984	280	1.458	0.690
103	0.503	1.006	281	1.460	0.689
104	0.505	0.995	282	1.462	0.702
	0.506	0.992	283	1.463	0.706
106	0.508	0.987	284	1.465	0.722
107	0.510	0.996	285	1.467	0.726
108	0.512	1.010	286	1.469	0.732
109	0.513	1.012	287	1.471	0.780
110	0.515	0.988	288	1.473	0.789
111	0.517	0.992	289	1.475	0.794
112	0.519	0.994	290	1.477	0.813
113	0.520	0.991	291	1.478	0.819
114	0.527	0.996	292	1.480	0.836
115	0.529	1.001	293	1.482	0.839
116	0.530	0.998	294	1.484	0.851
117	0.532	0.997	295	1.485	0.859
118	0.534	0.997	296	1.487	0.863
119	0.536	0.984	297	1.489	0.880
120	0.538	0.989	298	1.491	0.886
121	0.539	0.947	299	1.493	0.897
122	0.541	0.984	300	1.494	0.922
123	0.543	0.946	301	1.496	0.932
124	0.545	0.962	302	1.498	0.926
125	0.546	0.951	303	1.500	0.949
126	0.548	0.956	304	1.501	0.968
127	0.550	0.944	305	1.504	0.949
128	0.552	0.944	306	1.506	0.983
129	0.556	0.917	307	1.507	0.964
130	0.558	0.939	308	1.509	0.970
131	0.559	0.904	309	1.515	0.974
132	0.561	0.912	310	1.516	0.983
133	0.563	0.873	311	1.518	0.973
134	0.565	0.886	312	1.520	0.983
135	0.567	0.888	313	1.522	0.975
136	0.568	0.861	314	1.523	0.988
137	0.570	0.869	315	1.525	0.986
138	0.572	0.830	316	1.527	0.987
139	0.576	0.832	317	1.529	0.999
140	0.578	0.818	318	1.530	1.009
141	0.580	0.787	319	1.532	1.010

Ek 1. GSC 2751-1007 sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453300	$\Delta R$	No	HJD+2453300	$\Delta R$
142	0.581	0.794	320	1.534	1.005
143	0.583	0.767	321	1.536	1.005
144	0.585	0.759	322	1.538	1.011
145	0.587	0.747	323	1.539	0.995
146	0.588	0.737	324	1.541	0.997
147	0.590	0.708	325	1.543	1.027
148	0.592	0.693	326	1.545	1.021
149	0.595	0.663	327	1.546	1.012
150	0.597	0.668	328	1.548	1.004
151	0.599	0.680	329	1.551	1.012
152	0.600	0.665	330	1.553	1.010
153	0.602	0.663	331	1.554	1.008
154	0.605	0.674	332	1.556	1.023
155	0.607	0.669	333	1.558	1.010
156	0.609	0.674	334	1.560	0.980
	0.611	0.665	335	1.561	0.993
158	1.214	0.713	336	1.563	0.985
159	1.216	0.696	337	1.565	0.994
160	1.218	0.687	338	1.567	0.978
161	1.220	0.693	339	1.569	0.986
162	1.222	0.677	340	1.570	0.988
163	1.223	0.677	341	1.572	0.967
164	1.225	0.665	342	1.579	0.967
165	1.227	0.651	343	1.580	0.967
166	1.229	0.658	344	1.582	0.950
167	1.230	0.661	345	1.584	0.949
168	1.232	0.661	346	1.586	0.944
169	1.234	0.653	347	1.588	0.938
170	1.236	0.658	348	1.589	0.928
171	1.238	0.646	349	1.591	0.909
172	1.240	0.655	350	1.593	0.922
173	1.242	0.655	351	1.598	0.901
174	1.243	0.658	352	1.600	0.911
175	1.245	0.665	353	1.602	0.898
176	1.247	0.655	354	1.603	0.856
177	1.249	0.664	355	1.605	0.873
178	1.250	0.671			

Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri

No	HJD+2453000	$\Delta B$	No	HJD+2453000	$\Delta B$
1	226.365	0.914	72	229.478	0.910
2	226.368	0.929	73	229.483	0.905
3	226.372	0.931	74	230.385	0.947
4	226.376	0.947	75	230.388	0.941
5	226.379	0.947	76	230.392	0.938
6	226.384	0.961	77	230.396	0.923
7	226.387	0.976	78	230.400	0.913
8	226.391	0.971	79	230.403	0.904
9	226.394	0.975	80	230.407	0.900
10	226.398	0.969	81	230.410	0.908
11	226.414	1.011	82	230.415	0.911
12	226.417	1.016	83	230.419	0.906
13	226.421	1.010	84	230.422	0.904
14	226.424	1.000	85	230.426	0.919
15	226.428	0.987	86	230.429	0.886
16	226.431	0.994	87	230.433	0.895
17	226.435	0.997	88	230.437	0.908
18	226.441	0.994	89	230.440	0.921
19	226.445	0.987	90	230.444	0.890
20	226.448	0.975	91	230.447	0.907
21	226.452	0.967	92	230.451	0.913
22	226.455	0.969	93	230.454	0.926
23	226.459	0.970	94	230.458	0.926
24	226.462	0.975	95	230.461	0.929
25	226.466	0.949	96	230.466	0.930
26	226.469	0.944	97	230.473	0.955
27	226.473	0.929	98	230.477	0.946
28	226.486	0.902	99	502.294	0.959
29	226.494	0.906	100	502.304	0.939
30	229.272	0.904	101	502.311	0.949
31	229.275	0.905	102	502.323	0.996
32	229.279	0.908	103	502.344	1.000
33	229.282	0.917	104	502.354	1.010
34	229.286	0.935	105	502.359	0.972
35	229.293	0.935	106	502.365	0.998
36	229.297	0.938	107	502.370	0.969
37	229.300	0.943	108	502.386	0.944
38	229.304	0.945	109	502.391	0.970
39	229.310	0.961	110	502.400	0.912
40	229.314	0.964	111	502.404	0.955
41	229.317	0.960	112	502.409	0.897
42	229.321	0.967	113	502.413	0.919
43	229.324	0.967	114	502.425	0.891
44	229.328	0.975	115	502.429	0.895
45	229.332	0.983	116	502.433	0.914

Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453000	$\Delta B$	No	HJD+2453000	$\Delta B$
46	229.337	1.001	117	502.440	0.878
47	229.347	1.000	118	502.444	0.883
48	229.351	0.993	119	502.457	0.878
49	229.354	1.001	120	502.469	0.902
50	229.358	0.999	121	502.474	0.929
51	229.366	0.989	122	502.518	1.001
52	229.369	0.985	123	502.522	1.007
53	229.373	0.991	124	502.525	1.010
54	229.376	0.982	125	502.529	1.003
55	229.380	0.967	126	502.534	1.012
56	229.383	0.952	127	502.537	1.006
57	229.387	0.977	128	502.541	1.000
58	229.390	0.967	129	502.548	0.976
59	229.396	0.948	130	502.552	0.992
60	229.399	0.945	131	502.556	0.986
61	229.403	0.935	132	502.560	0.968
62	229.406	0.926	133	502.564	0.962
63	229.410	0.905	134	502.568	0.950
64	229.413	0.900	135	502.573	0.960
65	229.417	0.901	136	502.577	0.970
66	229.421	0.887	137	502.581	0.971
67	229.453	0.890	138	502.585	0.967
68	229.460	0.884	139	502.589	0.953
69	229.464	0.890	140	502.593	0.926
70	229.471	0.891	141	502.597	0.949
71	229.474	0.924			

No	HJD+2453000	$\Delta V$	No	HJD+2453000	$\Delta V$
1	226.366	0.939	75	229.476	0.945
2	226.370	0.945	76	229.479	0.960
3	226.373	0.963	77	229.484	0.926
4	226.377	0.959	78	229.488	0.920
5	226.380	0.960	79	230.386	0.949
6	226.385	0.968	80	230.390	0.938
7	226.389	0.971	81	230.393	0.922
8	226.392	0.975	82	230.397	0.925
9	226.396	0.981	83	230.401	0.926
10	226.399	0.981	84	230.405	0.923
11	226.415	1.007	85	230.408	0.919
12	226.419	1.001	86	230.412	0.919
13	226.422	1.000	87	230.416	0.901
14	226.426	0.998	88	230.420	0.905
15	226.429	0.991	89	230.423	0.903
16	226.433	0.983	90	230.427	0.902



Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453000	$\Delta V$	No	HJD+2453000	$\Delta V$
17	226.436	0.990	91	230.430	0.900
18	226.443	1.007	92	230.434	0.908
19	226.446	0.996	93	230.438	0.904
20	226.450	0.982	94	230.442	0.911
21	226.453	0.971	95	230.445	0.904
22	226.457	0.975	96	230.449	0.909
23	226.460	0.975	97	230.452	0.926
24	226.464	0.941	98	230.456	0.934
25	226.467	0.945	99	230.459	0.950
26	226.471	0.962	100	230.463	0.944
27	226.474	0.924	101	230.467	0.955
28	226.488	0.919	102	230.471	0.947
29	226.491	0.924	103	230.474	0.958
30	226.495	0.913	104	230.478	0.956
31	229.273	0.905	105	502.293	0.960
32	229.277	0.909	106	502.297	0.945
33	229.280	0.916	107	502.302	0.960
34	229.284	0.923	108	502.309	0.964
35	229.287	0.938	109	502.321	0.992
36	229.294	0.936	110	502.326	0.976
37	229.298	0.939	111	502.335	1.006
38	229.301	0.941	112	502.342	1.000
39	229.305	0.951	113	502.347	1.004
40	229.312	0.963	114	502.373	0.957
41	229.315	0.971	115	502.378	0.951
42	229.319	0.974	116	502.384	0.967
43	229.322	0.974	117	502.390	0.962
44	229.326	0.978	118	502.403	0.912
45	229.329	0.980	119	502.408	0.942
46	229.333	0.986	120	502.412	0.911
47	229.338	1.001	121	502.415	0.910
48	229.342	1.006	122	502.419	0.895
49	229.349	1.000	123	502.423	0.891
50	229.352	0.999	124	502.427	0.900
51	229.356	1.000	125	502.439	0.886
52	229.359	0.994	126	502.443	0.888
53	229.367	0.987	127	502.456	0.886
54	229.371	0.991	128	502.460	0.886
55	229.374	0.993	129	502.464	0.888
56	229.378	0.975	130	502.468	0.890
57	229.381	0.962	131	502.472	0.912
58	229.385	0.963	132	502.476	0.935
59	229.388	0.955	133	502.485	0.945
60	229.392	0.958	134	502.540	0.994
61	229.397	0.932	135	502.547	1.000
62	229.404	0.938	136	502.551	0.995
63	229.408	0.932	137	502.555	0.992
64	229.411	0.914	138	502.559	0.987

Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453000	$\Delta V$	No	HJD+2453000	$\Delta V$
65	229.415	0.913	139	502.563	0.995
66	229.418	0.908	140	502.567	0.968
67	229.422	0.911	141	502.572	0.981
68	229.425	0.899	142	502.576	0.969
69	229.455	0.898	143	502.580	0.975
70	229.458	0.904	144	502.584	0.960
71	229.462	0.897	145	502.588	0.936
72	229.465	0.904	146	502.592	0.939
73	229.469	0.915	147	502.596	0.918
74	229.472	0.918			

No	HJD+2453000	$\Delta R$	No	HJD+2453000	$\Delta R$
1	226.367	0.943	78	230.387	0.927
2	226.371	0.963	79	230.391	0.920
3	226.374	0.964	80	230.394	0.918
4	226.378	0.966	81	230.398	0.920
5	226.382	0.962	82	230.402	0.905
6	226.386	0.970	83	230.406	0.901
7	226.390	0.964	84	230.409	0.904
8	226.393	0.978	85	230.413	0.900
9	226.397	0.984	86	230.417	0.899
10	226.400	0.988	87	230.421	0.904
11	226.416	1.006	88	230.425	0.904
12	226.420	0.996	89	230.428	0.884
13	226.423	1.000	90	230.432	0.889
14	226.427	0.999	91	230.435	0.897
15	226.430	1.000	92	230.439	0.895
16	226.434	0.994	93	230.443	0.906
17	226.437	1.003	94	230.446	0.902
18	226.444	0.981	95	230.450	0.904
19	226.447	0.975	96	230.453	0.917
20	226.451	0.980	97	230.457	0.924
21	226.454	0.967	98	230.460	0.939
22	226.458	0.972	99	230.464	0.950
23	226.461	0.963	100	230.468	0.928
24	226.465	0.958	101	230.472	0.938
25	226.468	0.950	102	230.476	0.938
26	226.472	0.959	103	230.479	0.930
27	226.475	0.943	104	502.291	0.914
28	226.489	0.919	105	502.296	0.950
29	226.492	0.911	106	502.301	0.941

Ek 2. FI Boo sisteminin B, V ve R filtrelerinde elde edilmiş diferansiyel parlaklık değerleri (devam)

No	HJD+2453000	$\Delta R$	No	HJD+2453000	$\Delta R$
30	226.496	0.929	107	502.308	0.943
31	229.274	0.907	108	502.319	0.979
32	229.278	0.913	109	502.329	0.975
33	229.281	0.916	110	502.334	0.979
34	229.285	0.930	111	502.346	1.000
35	229.288	0.929	112	502.351	1.001
36	229.295	0.936	113	502.356	0.993
37	229.299	0.938	114	502.361	0.991
38	229.303	0.934	115	502.366	0.984
39	229.306	0.951	116	502.371	0.960
40	229.313	0.961	117	502.376	0.969
41	229.316	0.958	118	502.383	0.980
42	229.320	0.967	119	502.389	0.956
43	229.323	0.971	120	502.392	0.934
44	229.327	0.977	121	502.397	0.913
45	229.330	0.984	122	502.401	0.918
46	229.334	0.980	123	502.407	0.940
47	229.339	0.997	124	502.410	0.936
48	229.343	1.006	125	502.414	0.921
49	229.346	1.002	126	502.422	0.908
50	229.350	1.000	127	502.426	0.905
51	229.353	0.991	128	502.430	0.900
52	229.357	0.996	129	502.438	0.904
53	229.360	0.988	130	502.442	0.914
54	229.368	0.989	131	502.445	0.918
55	229.372	0.985	132	502.454	0.899
56	229.375	0.979	133	502.459	0.905
57	229.379	0.966	134	502.462	0.903
58	229.382	0.957	135	502.466	0.907
59	229.386	0.945	136	502.471	0.936
60	229.389	0.945	137	502.475	0.938
61	229.393	0.945	138	502.479	0.920
62	229.398	0.938	139	502.484	0.952
63	229.402	0.939	140	502.535	1.000
64	229.405	0.933	141	502.539	0.997
65	229.409	0.918	142	502.546	1.001
66	229.412	0.920	143	502.550	1.003
67	229.416	0.903	144	502.553	1.001
68	229.419	0.909	145	502.557	0.993
69	229.423	0.903	146	502.562	0.984
70	229.426	0.890	147	502.565	0.969
71	229.456	0.894	148	502.571	0.996
72	229.466	0.910	149	502.575	0.980
73	229.470	0.915	150	502.579	0.976
74	229.477	0.920	151	502.583	0.959
75	229.480	0.941	152	502.587	0.951
76	229.485	0.921	153	502.591	0.936
77	229.489	0.928	154	502.594	0.926

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı :** Nalan ÖZBEK

**Doğum Yeri :** Ankara

**Doğum Tarihi :** 17-05-1979

**Medeni Hali :** Bekar

**Yabancı Dili :** İngilizce

### **Öğrenim Durumu :**

Lise: Erzurum Atatürk Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı), (1993-1997)

Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü,  
(1997-2002)

Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay  
Bilimleri ABD, (2003-2006)

### **Katıldığı Bilimsel Toplantılar:**

2006, XV.Ulusal Astronomi Kongresi (Sözlü-bildiri).

2004, XIV.Ulusal Astronomi Kongresi (Poster-bildiri).