149815

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAZI ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN FOTOMETRİK ANALİZİ

HAKAN VOLKAN ŞENAVCI

149815

ASTRONOMİ ve UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2004

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Cemal AYDIN danışmanlığında Hakan Volkan ŞENAVCI tarafından hazırlanan bu çalışma 23/08/2004 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ümit KIZILOĞLU

Üye : Prof. Dr. Cemal AYDIN

Üye : Doç. Dr. Berahitdin ALBAYRAK

Yukarıdaki sonucu onaylarım

İmza

Prof. Dr. Metin OLGUN
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BAZI ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARIN FOTOMETRİK ANALİZİ

Hakan Volkan ŞENAVCI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Cemal AYDIN

Bu tez çalışması, V776 Cas ve V842 Her örten çift yıldızlarının ilk ayrıntılı fotometrik analizlerini içermektedir. Her iki yıldızın U, B ve V bandlarındaki ışık eğrileri TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) sırası ile 8-9 Ekim 2002 ve 3-4 Temmuz 2003 tarihlerinde elde edildi. V776 Cas'ın gözlemleri, çift yıldıza çok yakın olan bir üçüncü yıldızın ışık etkisini de içermektedir. Her iki çift sistemin ışık eğrilerinin kaba analizleri Binary Maker 2.0 programı yardımıyla gerçekleştirildi. Bu şekilde elde edilen parametreler ışık eğrilerinin ayrıntılı çözümünde ilk girdi parametreleri olarak kullanıldı. Literatürden alınan radyal hız eğrileri de kullanılarak V776 Cas Djurasevic'in (Djurasevic, 1992a, 1992b) programı, V842 Her ise Wilson-Devinney programının son sürümüyle (WD-2003) analiz edildi. Ulaşılan sonuçlar itibarıyla V776 Cas yüksek değme derecesine sahip tipik bir A-türü W UMa iken, V842 Her büyük kütleli bileşeninin üzerinde çevresine oranla %25 daha soğuk bir lekeye sahip W-türü bir W UMa çift yıldız sistemidir. Ayrıca elde edilen fiziksel parametreler ışığında her iki sistemin evrim durumu belirlenmeye çalışıldı.

2004, 61 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Örten değişen çift yıldızlar, ışık eğrisi analizi, V776 Cas, V842 Her

ABSTRACT

Master Thesis

THE PHOTOMETRIC ANALYSIS OF SOME ECLIPSING BINARY STARS

Hakan Volkan ŞENAVCI

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

Supervisor : Prof. Dr. Cemal AYDIN

The present thesis includes the first detailed photometric analysis of two eclipsing binary stars, V776 Cas and V842 Her. The light curves of each eclipsing binaries were obtained at the TÜBİTAK National Observatory (TUG) during the nights of 8-9 October 2002 and 3-4 July 2003, respectively. The light curves of V776 Cas were contaminated by the third light effect due to the proximity of a visual companion to the binary system. The Binary Maker 2.0 program were used to derive the priliminary parameters of each binary system. With the radial velocity data taken from the literature, V776 Cas were analyzed by using Djurasevic's (Djurasevic, 1992a, 1992b) program and V842 Her were analyzed by using the last version of the Wilson-Devinney code (WD-2003). The solutions indicate that V776 Cas is a A-type W UMa binary with a high degree of overcontact configuration and V 842 Her is a typical W-type W UMa with a dark spot 25% cooler than its surrounding photosphere on the surface of the more massive component of the system. Furthermore, the evolutionary status of each eclipsing binaries were determined with the guide of the derived physical parameters.

2004, 61 pages

Key Words: Eclipsing binary stars, Light curve analysis, V776 Cas, V842 Her

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince yoğun idari işlerine rağmen bana zaman ayıran danışman hocam Prof. Dr. Cemal AYDIN'a ilgi ve özverisinden dolayı teşekkür ederim.

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli faydalandığım ve bana her konuda yardımcı olan, başta Doç. Dr. Berahitdin ALBAYRAK ve Yrd. Doç. Dr. Selim O. SELAM olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Hakan Volkan ŞENAVCI
Ankara, Haziran 2004

İÇİNDEKİLER

ÖZET ii
ABSTRACT iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ ix
ÇİZELGELER DİZİNİ xii
1. GİRİŞ 1
1.1. Çift Yıldız Nedir? 1
1.2. Çift Yıldızlar Neden Önemlidir? 1
2. ÇİFT YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI 2
2.1. Optik Çift Yıldızlar 2
2.2. Görsel Çift Yıldızlar 2
2.3. Astrometrik Çift Yıldızlar 2
2.4. Tayfsal Çift Yıldızlar 3
2.5. Örten Çift Yıldızlar 5
3. ROCHE MODELİ ve ÇİFT YILDIZLARIN MORFOLOJİK SINIFLANDIRILMASI 9
3.1. Roche Modeli 9
3.2. Roche Modeline Göre Yıldızların Morfolojik Sınıflandırılması 14
4. YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR 17
4.1. Çekim Kararması 17
4.2. Kenar Karaması 18
4.3. Yansıma Etkisi 20
4.4. Basıklık ve Armutlaşma 21
5. IŞIK EĞRİSİ ANALİZ YÖNTEMLERİ 22
6. WILSON-DEVINNEY YÖNTEMİ 25
7. WILSON-DEVINNEY ANALİZ PROGRAMI 28
7.1. WD-2003 Sürümündeki Yenilikler 29
8. V776 CAS YILDIZININ FOTOMETRİK ANALİZİ 30
8.1. Giriş 30
8.2. Gözlemler 31

8.3. Dikine Hız Gözlemleri 34
8.4. Işık Eğrisi Analizi ve Sonuçları 35
9. V842 HER YILDIZININ FOTOMETRİK ANALİZİ 40
9.1. Giriş 40
9.2. Gözlemler 41
9.3. Dikine Hız Gözlemleri 43
9.4. Işık Eğrisi Analizi ve Sonuçları 43
10. HER İKİ SİSTEMİN EVRİM DURUMU 48
11. TARTIŞMA ve SONUÇLAR 52
KAYNAKLAR 54
EKLER 58
EK-1 59
EK-2 60
ÖZGEÇMİŞ 61

SİMGELER DİZİNİ

ϕ	Toplam gravitasyonel potansiyel
w	Açısal hız
q	Kütle oranı (m_2 / m_1)
G	Evrensel çekim sabiti
$M_{1,2}$	Bileşenlerin kütlesi
F	Eksen etrafında dönme hızının yörünge hızına oranı
g	Çekimsel ve merkezcil ivmeleri içeren etkin çekim ivmesi
F_l	Işımasal enerji akı vektörü
x_λ	Kenar kararma katsayısı
A_t	Bolometrik albedo
R	Yansıma katsayısı
F_S	Bolometrik ışınım akısı
F_T	Yansıma etkisini içermeyen ışınım akısı
$\Omega_{1,2}$	Eşpotansiyel yüzeyler
λ,ν	Yarıçap vektörü yön kosinüsleri
I_j	Yeğinlik
$T_{1,2}$	Bileşenlerin sıcaklıkları
$L_{1,2}$	Bilşenlerin kesirsel ışınım güçleri
$M_\odot$	Güneş kütlesi, 1.99×10^{33} gr
$R_\odot$	Güneş yarıçapı, 6.96×10^5 km
α	Yıldızın sağaçıklığı
δ	Yıldızın dikaçıklığı
L_3	Üçüncü ışık katkısı
Vr	Radyal hız
i	Yörünge eğim açısı
M_{bol}	Bolometrik parlaklık
a	Yörünge yarı büyük eksen uzunluğu
log g	Yüzey çekim ivmesi
$R_{c,h}$	Bileşenler arası uzaklık cinsinden kesirsel yarıçaplar
$a_{1,2,3,4}$	Kenar kararma katsayıları

$L_{h,c}$	Bileşenlerin kesirsel ışınım güçleri
$T_{h,c}$	Bileşenlerin sıcaklıkları
$A_{h,c}$	Bileşenlerin bolometrik albedoları
$V\gamma$	Çift sistemin kütle merkezinin dikine hızı
V	Çift sistemin V-bandındaki parlaklığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.1. Bileşenleri ortak kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız..... 1
Şekil 2.2.1. Görsel çift yıldızın yörüngesi..... 2
Şekil 2.3.1. Bir astrometrik çift yıldız olan Sirius'un sönük yoldaşının varlığını belirleyen konum gözlemleri..... 3
Şekil 2.4.1. Bir tayfsal çift yıldızın bileşenlerinden birinin yörünge hareketi sonucu tayf çizgilerinin konum değişimi..... 4
Şekil 2.4.2. Çift çizgili bir tayfsal çift yıldızın tayf çizgilerinin dönemli yer değiştirmesi..... 4
Şekil 2.5.1. Bir örten çift yıldızın bileşenlerinin yörünge hareketi sonucu meydana gelen ışık değişimi..... 5
Şekil 2.5.2. Algol (EA) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi..... 6
Şekil 2.5.3. β Lyr (EB) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi..... 6
Şekil 2.5.4. WUMa (EW) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi..... 8
Şekil 3.1.1. C ortak kütle merkezine sahip M_1 ve M_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. M_1 kütlesinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x-ekseni M_2 kütlesi boyunca uzanmıştır. y ekseni ve z ekseni yörünge düzlemine diktir. P(x,y,z) noktası M_1 den r_1 , M_2 den r_2 kadar uzaktadır..... 10
Şekil 3.1.2. q = 0.4 kütle oranına sahip bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri. ϕ_n 'in aldığı değerler iki noktasal kütleye en yakın olandan itibaren dışa doğru sırasıyla: 5.0, 3.9075 (L_1 de), 3.8, 3.559 (L_2 de), 3.2, 3.0, 2.8 ($L_{4,5}$ de) ve büyüyen uzaklıkla küçülmektedir..... 12
Şekil 3.1.3. Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki ϕ_n normalize potansiyel değerinin ızgara-yüzeyli gösterimi. Şekilde yıldızların potansiyel çukurları ile birlikte iç Lagrange noktası L_1 ve L_4, L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir. L_2 noktası merkez doğrultusunda, şeklin arkasında yer almaktadır..... 13
Şekil 3.2.1. Her iki bileşeninin de Roche lobunu doldurmadığı bir ayrık sistem..... 15
Şekil3.2.2. Bileşenlerinden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı-ayrık bir sistem.... 15
Şekil 3.2.3. Her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş durumdaki bir değen bir sistem..... 16
Şekil 3.2.4. Bileşenleri ortak bir zarf ile çevrilmiş aşırı-değen bir sistem..... 16
Şekil 4.1.1. Çekim kararması etkisinin sıcaklıkla olan değişimi..... 17

Şekil 4.2.1. r_s noktasındaki $n(r_s)$ yüzey normali ile ışınım salan keyfi bir e doğrultusu arasındaki γ açısı görülmektedir. Şeklin sağ tarafında atmosfer katmanlarının γ açısı ile değişimi görülmektedir..... 19
Şekil 4.3.1. Albedonun 0 dan 1 e değişimi ile değişen ışık eğrileri. Sıcaklıklar $T_1 = 20000$ ve $T_2 = 3600$ K..... 20
Şekil 4.4.1. Farklı değerlerle temsil edilen bileşenlerin çapı..... 22
Şekil 8.1.1. V776 Cas'ın HIPPARCOS Astrometri Uydusu tarafından elde edilen ilk fotometrik ışık eğrisi..... 31
Şekil 8.2.1. V776 Cas'a ait diferansiyel U, B, V ışık, U-B ve B-V renk eğrileri..... 32
Şekil 8.2.2. V776 Cas'ın üçüncü ışık katkısı içeren ve içermeyen V bandı ışık eğrileri..... 33
Şekil 8.3.1. V776 Cas'ın dikine hız eğrisi (Rucinski vd. 2001)..... 34
Şekil 8.4.1. V776 Cas'ın U-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları..... 37
Şekil 8.4.2. V776 Cas'ın B-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları..... 37
Şekil 8.4.3. V776 Cas'ın V-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları..... 38
Şekil 8.4.4..V776 Cas'ın 0.25 evresindeki geometrik modeli..... 38
Şekil 8.4.5. Bir çift sistemde olası üçüncü bileşenin sistemin ışık eğrisine etkisi..... 39
Şekil 9.2.1. V842 Her'in B ve V bandı ışık eğrileri, ve B-V renk eğrisi..... 42
Şekil 9.3.1. V842 Her'in dikine hız eğrisi (Rucinski vd 1999)..... 43
Şekil 9.4.1. V842 Her'in B-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları..... 46
Şekil 9.4.2. V842 Her'in V-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları..... 47
Şekil 9.4.3. V842 Her'in 0.75 evresindeki geometrik modeli..... 47
Şekil 10.1. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-yarıçap (MR) diyagramı..... 48

Şekil 10.2. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-parlaklık (ML) diyagramı 49
Şekil 10.3. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen H-R diyagramı... 49

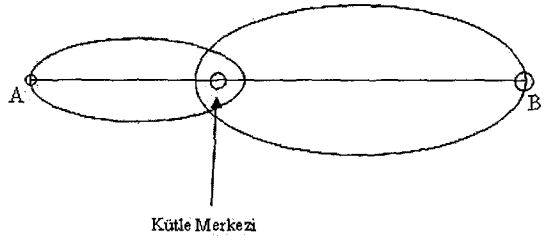
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 6.1. Wilson-Devinney yönteminde parametreler arasındaki ilişki..... 26
Çizelge 7.1. IBAND parametresine ilişkin bazı değerler..... 29
Çizelge 8.2.1. V776 Cas, ve gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarının katalog bilgileri.....31
Çizelge 8.2.2. V776 Cas'ın ışık eğrisi özellikleri..... 34
Çizelge 8.4.1. V776 Cas'ın ışık eğrisi analizi sonuçları..... 36
Çizelge 9.2.1. V842 Her, ve gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarının katalog bilgileri.....41
Çizelge 9.2.2. V842 Her'in ışık eğrisi özellikleri..... 43
Çizelge 9.4.1. V842 Her'in ışık eğrisi analizi sonuçları..... 45
Çizelge 9.4.2. V842 Her için belirlenen salt parametreler.....46
Çizelge 9.4.3. V842 Her için belirlenen yıldız leke parametreleri.....46

1. GİRİŞ

1.1. Çift Yıldız Nedir?

Çift yıldız, birbirlerine kütle çekim kuvvetiyle bağlı ve ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapan, iki veya daha çok yıldızdan oluşmuş sistemlerdir. "Çift Yıldız" terimi ilk olarak 1802 yılında Sir William Herschel tarafından kullanıldı. Günümüzde çift yıldızlar, onların gözlenme şekillerine göre sınıflandırılmakta olup optik çift, görsel çift, tayfsal çift, örten çift ve astrometrik çift yıldızlar şeklinde adlandırılır.



Şekil 1.1.1. Bileşenleri ortak kütle merkezi etrafında dolanan bir çift yıldız

1.2. Çift Yıldızlar Neden Önemlidir?

Çift yıldızlar astrofizikte, tek yıldızlara kıyasla daha çok bilgi sunmaları bakımından daha büyük bir öneme sahiptir. Örneğin herhangi bir gök cisminin kütlesinin doğrudan belirlenebilmesi, en az iki cisim arasında ölçülebilen bir kütlesel çekim kuvvetinin varlığını gerektirir. Kütle, yıldızların evriminin anlaşılabilmesi bakımından temel parametredir, dolayısıyla çift yıldızlar yardımıyla bileşen yıldızların kütleleri, bu sayede de evrim durumları hakkında bilgi sahibi olabilmekteyiz. Bununla birlikte bileşen yıldızların yarıçap, ışınım gücü gibi temel parametreleri de hesaplanabilmektedir. Çift yıldızlar yardımıyla belirlenen fiziksel parametreler ile tek yıldızların fiziksel özellikleri de belirlenebilmektedir. Çift yıldızlar ayrıca yıldız evriminin açıklanmasında, yakın galaksilerin uzaklıklarının belirlenmesinde, X-ışın çifleri, kataklizmik değişenler, novalar, simbiyotik yıldızlar ve bazı tür süpernovaların açıklanmasında da önemli rol oynamaktadır.

2. ÇİFT YILDIZLARIN SINIFLANDIRILMASI

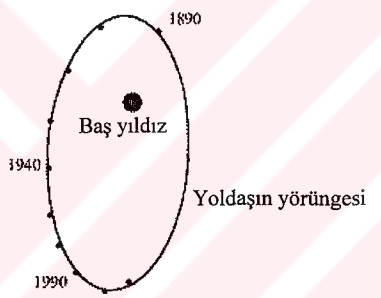
Çift yıldızlar keşfedilme veya gözlenme şekillerine göre:

2.1. Optik Çift Yıldızlar

Gerçekte birbirlerinden çok uzakta bulunan fakat gökyüzünde aynı doğrultuda göründükleri için çift yıldızmış gibi algılanan yıldızlardır. Bu tür yıldızlar gerçekte birbirlerine çekimsel olarak bağlı değildir.

2.2. Görsel Çift Yıldızlar

Teleskopla bakıldığında bileşenlerinin her ikisinin de ayırt edilebildiği, birbirlerine çekimsel olarak bağlı yıldızlardır. Görsel çiftlerde, bileşenlerin kütlelerinin ayrı ayrı hesaplanabilmesi mümkündür. Bu sistemlerin yörünge dönemleri göreli olarak daha uzun olup yıl mertebesindedir.

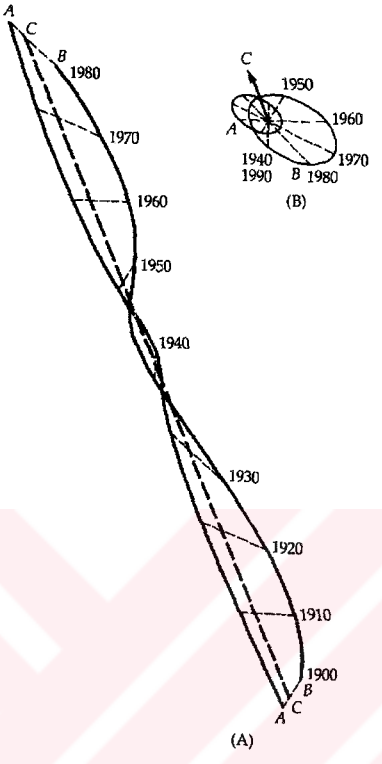


Şekil 2.2.1. Görsel çift yıldızın yörüngesi

2.3. Astrometrik Çift Yıldızlar

Eğer bir çift yıldız sisteminde bileşenlerden biri görünür, diğeri çok sönük veya parlak bileşene çok yakın ise sönük olan ayırt edilemez. Ancak parlak bileşen üzerindeki çekimsel etkiden bir çift sistem olduğu belirlenebilir. Kuzey yarıküreden en parlak

yıldız olarak görülen Sirius'da olduğu gibi parlak yıldızın gökyüzündeki konumunun zamana bağlı değişiminden (astrometrik gözlemler) hareketle çift oldukları belirlenen çift yıldızlardır.

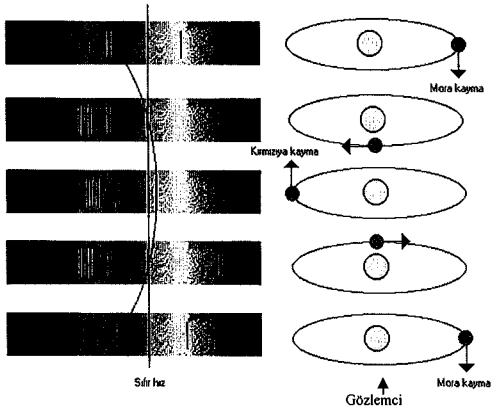


Şekil 2.3.1. Bir astrometrik çift yıldız olan Sirius'un sönük yoldaşının varlığını belirleyen konum gözlemleri

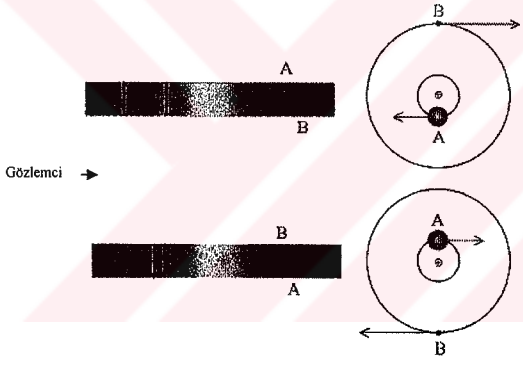
2.4. Tayfsal Çift Yıldızlar

Çift olduğu ancak tayfsal gözlemlerle belirlenebilen sistemlerdir. Kimi tayfsal çift yıldızlarda sisteme ait her iki bileşenin tayf çizgileri görülebilmektedir. Bu türlere çift çizgili tayfsal çift yıldızlar denir. Kimi tayfsal çift yıldızlarda ise bazı etkilerden dolayı

sadece bir bileşenin tayf çizgileri görülebilmektedir. Bunların çift olduğu ise görünen bileşenin tayf çizgilerinin dönemli yer değiştirmesinden anlaşılır. Bu türler ise tek çizgili tayfsal çift yıldızlar olarak isimlendirilir.



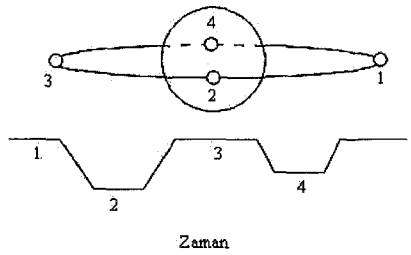
Şekil 2.4.1. Bir tayfsal çift yıldızın bileşenlerinden birinin yörünge hareketi sonucu tayf çizgilerinin konum değişimi



Şekil 2.4.2. Çift çizgili bir tayfsal çift yıldızın tayf çizgilerinin dönemli yer değiştirmesi

2.5. Örten Çift Yıldızlar

Yörünge düzlemi gözlemciye göre yeterli derecede eğik olan ve buna bağlı olarak zamana göre örtme-örtülmeden dolayı ışık değişimi gösteren çift yıldızlardır. Bu türden çift yıldızların yörünge dönemleri çoğunlukla 1 günden daha küçüktür.



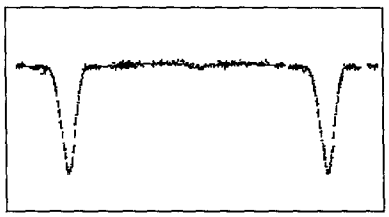
Şekil 2.5.1. Bir örten çift yıldızın bileşenlerinin yörünge hareketi sonucu meydana gelen ışık değişimi

Örten çift yıldız bileşenlerinin fiziksel özelliklerini belirlemek, fotometrik ve tayfsal yörünge elemanlarının birleştirilmesini gerektirir. Işık eğrisi analizi prensipte yörünge eğim açısını ve dış merkezliği, göreli yıldız boyutlarını ve şekillerini, kütle oranını ve kimi durumlarda yüzey parlaklık oranını ve dağılımını vermektedir. Eğer sisteme ait radyal hız değerleri de mevcut ise kütleler ve yarı-büyük eksen uzunlukları da elde edilebilir.

Örten çift yıldızlar, ışık eğrisi biçimlerine göre:
Algol (EA), β Lyrae (EB) ve W UMa (EW) olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar.

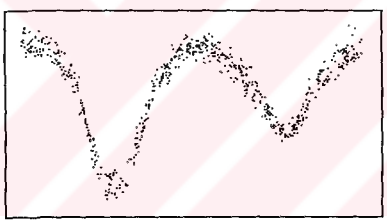
- **Algol türü örten çiftler:** Işık eğrilerinde, tutulmalar dışında önemli bir değişim yoktur, yani maksimumlar düzdür ki bu da bileşenler arasındaki yakınlık etkilerinin az olduğunu göstermektedir. Genelde her ikisi de küresel şekilli veya biri belirli düzeyde şekil bozulmasına uğramış bileşenlere sahiptir. Algol türü sistemler, sıcak bir anakol yıldızı ile soğuk bir dev ya da alt devden oluşan sistemlerdir. Her iki minimum derinliği arasında büyük farklılık gözlenmektedir.

Hatta bazı dalgaboylarında ikinci minimum gözlenemeyebilir. Minimumların sivri olması, tutulmaların parçalı olduğunu gösterir.



Şekil 2.5.2. Algol (EA) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

- **Beta Lyrae (β Lyr) Türü Sistemler:** Beta Lyrae türü sistemlere ait ışık eğrilerinde, yakınlık etkilerinden kaynaklanan şekil bozulmasından dolayı sürekli bir değişim gözlenmektedir. Işık eğrilerindeki minimumlar arasındaki fark, bileşenlerin farklı yüzey sıcaklıklarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. GCVS'ye göre Beta Lyrae (EB) ve W UMa (EW) türleri arasındaki ayırım, birinci ve ikinci minimum derinlikleri arasındaki farka bakılarak yapılmaktadır.



Şekil 2.5.3. β Lyr (EB) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

- **W UMa (EW) Türü Sistemler:** Işık eğrilerinde neredeyse eşit derinlikli iki minimum ve sürekli ışık değişimleri ile karakterize edilmektedir. Eşit minimum derinlikleri, bileşen yıldızların eşit yüzey sıcaklıklarına sahip olduklarının bir göstergesidir. "Değen Çiftler" olarak da bilinen bu sistemlerin bileşenleri

birbirine çok yakındır. Bunun doğal bir sonucu olarak birbirlerine uyguladıkları ileri düzeyde karşılıklı tedirginlik etkileriyle, küresellikten önemli ölçüde sapmış bileşenler içermektedirler. Yörünge dönemleri oldukça kısadır. Bu sistemler için hesaplanan kütle oranları daima 1 den farklıdır. Bu durumda merkezinde Hidrojen yakan anakol yıldızları için ortaya konan kütle-ışınım-yarıçap bağıntısı dikkate alındığında, iki bileşenin yüzey sıcaklıklarının farklı olması gerekmektedir. Bu koşul, ışık eğrisinde izlenen minimum derinliklerinin farklı olmasını ve bu türden çiftlerin EB türü olmasını gerektirir. Neredeyse eşit derinlikli minimumlara sahip ışık eğrileri veren W UMa'ların bu aykırı durumu ancak "değme olgusu"nun dikkate alınması ve bileşenlerin bir "ortak zarf" ile sarılmış olmaları halinde açıklanabilmektedir. Konvektif yapıya sahip bu zarf boyunca etkin bir ısı dağıtımının var olması sayesinde iki bileşen yaklaşık olarak aynı yüzey sıcaklığında görünmektedir. Bu sürecin modellenmesi oldukça güçtür (Lucy 1968). Teorik araştırmalar, W UMa zarflarında izlenen "ısısal değme" yapısının zaman zaman bozulduğunu göstermektedir. Bu durumun gerçekte var olduğuna dair en önemli kanıt, W UMa'larla yaklaşık aynı yörünge dönemine ve bileşen kütlelerine sahip Beta Lyrae türü sistemlerin gözlenmesidir. Göreli olarak kısa olan yörünge dönemleri, W UMa türü sistemleri fotometrik gözlemlerin en fazla tercih edilen hedefi haline getirmiştir. Mevcut ışık eğrisi sentez modelleriyle ışık eğrileri çözülebilmekte ve bileşenlere ait küresel geometrik parametrelerin yanısıra yörünge eğimi, kütle oranı ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları belirlenebilmektedir. Bu analiz sonuçlarının dikine hız çözümleri ile birleştirilmesi durumunda bileşenlere ait salt parametreler hesaplanabilmektedir.

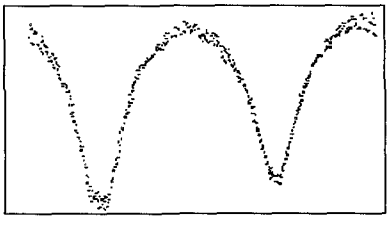
W UMa türü sistemler gösterdikleri belirgin fiziksel farklılıklara göre W ve A türü olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır. Bu iki türe ait özellikleri sıralamak gerekirse:

- A türü W UMa larda değme oranı daha fazla, yani ortak zarf daha kalın iken, W türlerinde değme oranı daha düşük, yani ortak zarf daha incedir.
- A türü W UMa lar daha büyük kütleli bileşenlere sahip iken W türleri daha küçük kütleli bileşenlere sahiptirler.

- A türü W UMa larda birinci minimum transit, yani ana bileşen daha büyük kütleli ve sıcak iken, W türlerinde birinci minimum örtme şeklinde, yani ana bileşen daha küçük kütlelidir.
- A türünden olanların kütle oranları daha küçük iken W türlerinin kütle oranları daha büyüktür. Bu da A türü W UMa ların W türüne göre daha fazla evrimleştiğinin bir göstergesidir.
- Daha kırmızı olan W türleri daha düşük yörünge dönemlerine sahipken (0.22 – 0.4 gün), daha mavi olan A türü sistemler daha uzun yörünge dönemlerine (0.4 – 0.8 gün) sahiptirler.
- A ve W türü arasında, bir kaç ay veya yıl zaman ölçeğinde (TZ Boo, 44i Boo gibi) tür değişimi gösteren örnekler de mevcuttur.

Hemen hemen tüm W UMa'larda dönem değişimi gözlenmektedir. Tespit edilebilen dönem değişimi büyük ölçüde baş bileşenden ana bileşene aktarılmakta olan kütleden kaynaklanmaktadır. Ayrıca görülmeyen bir üçüncü bileşenin varlığından kaynaklanan çevrimsel yapılı dönem değişimleri ve manyetik etkinlik kökenli kaotik değişimler de izlenmektedir. Düşük ışınım güçleri nedeniyle daha çok Güneş komşuluğundaki yakın galaktik örnekleri bilinmektedir. Ancak son yıllarda gelişen tekniklerle, küresel kümelerde ve yakın dış galaksilerdeki (LMC, SMC) örnekleri de keşfedilmeye başlandı.

W UMa türü çift sistemlerin çoğunda izlenen kütle ve açısal momentum kaybı, bu yıldızların ileride "Blue Stragglers" olarak adlandırılan yaşlı ve büyük kütleli anakol yıldızlarına veya hızlı dönen çift çekirdekli ve lekeli FK Com türü dev yıldızlara evrimleştiklerini düşündürmektedir.



Şekil 2.5.4. W UMa (EW) türü bir örten çift yıldızın ışık eğrisi

3. ROCHE MODELİ ve ÇİFT YILDIZLARIN MORFOLOJİK SINIFLANDIRILMASI

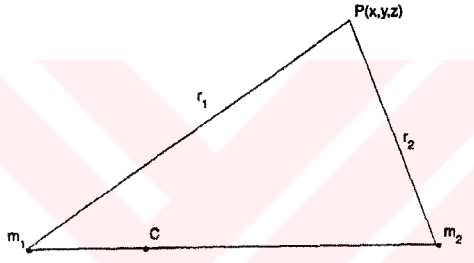
3.1. Roche Modeli

Eğer bütün çift yıldzlar ayrık sistemler olup evrimlerine de bu şekilde devam etselerdi, küresel yapıya sahip, minimum tedirginlik etkileri gösteren çift yıldızlar olarak kabul edilebilirlerdi. Bu durumda "Legendre Polinomları" bu sistemlerin geometrisini ifade etmek için yeterli olacaktı. Ancak, HR diyagramında sıfır yaş anakolu üzerinde bulunan, fiziksel olarak birbirlerine temas eden ve bunun sonucu olarak yüksek tedirginlik etkilerinden dolayı küresellikten önemli derecede sapmış, "değen çiftler" olarak adlandırılan sistemler mevcuttur. Bundan dolayı küresellikten sapmış ve çeşitli tedirginlik etkilerini modelleyebilen alternatif bir formülasyona ihtiyaç duyulmaktadır. Bu formülasyon "Roche Modeli" dir. Roche Modeli dairesel yörüngelerde, kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütlenin oluşturduğu sistemin toplam çekimsel potansiyelini temel almıştır.

Çift yıldızlar için olan Roche Modeli, kısıtlanmış üç cisim problemini araştıran 19. yüzyıl ünlü Fransız matematikçi Edouard Roche'un adıyla anılmaktadır. Kendi çekim alanlarının etkisi altındaki üç cismin hareketine ait bir analitik çözüm üretmek olanaksızdır. Böyle bir çözüm için matematikçiler, ortak kütle merkezi etrafında dairesel yörügelerde dolanan iki cisim ve bu iki cismin kütlesel çekim alanı içinde hareket eden bir üçüncü cisimden oluşan kısıtlı üç cisim probleminden yararlandılar. Üçüncü cismin maruz kaldığı ϕ toplam kütlesel çekim potansiyelin bir değeri için, iki noktasal kütle etrafındaki üç boyutlu kuramsal bir yüzeyin, dairesel bir yörüngede üniform olarak iki kütle ile birlikte dönen bir koordinat sistemine göre, üçüncü cismin hareketinin sıfır olduğu bir bölgeyi, yani sıfır hız yüzeylerini temsil ettiği bulundu. Bu sıfır hız yüzeyleri, çift sistemlerdeki sabit kütlesel çekim potansiyel yüzeylerine benzemektedir. Bir yıldızın yüzeyi bir eşpotansiyel yüzeydir ve bu yüzeylerin tanımı, bir çift sistemdeki yüzeylerin belirlenmesine olanak sağlar.

Eşpotansiyel yüzeyleri anlamak için detaylı matematiğe inmeye gerek yoktur. Günlük hayattan bir örnekle gayet iyi bir şekilde izah edilebilir. Banyodaki bir küveti düşünelim. Belirli miktarda su küvete doldurulduğunda, su musluğun hemen altında birikmek yerine yüzeyi düz olacak bir şekilde küvetin şeklini alır. Bu yüzey bir eşpotansiyel yüzeydir ve kütlenin herhangi bir yerine bir kütle aktarımı veya alımı yüzey şeklini bozmaz ancak düzeyde bir değişiklik yaratır. Çift yıldızlarda da durum aynen böyledir.

Ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan iki nokta kütleyi saran eşpotansiyel yüzeylerin hesabını belirlemek gerekirse: yörüngenin dairesel olduğu varsayımı altında; daha büyük kütleli M_1 bileşeninin kütle merkezindeki bir referans noktası çift sistemle birlikte sabit bir ω açısal hızı ile dönsün. Daha düşük kütleli M_2 yıldızı, merkezden $a \cong 1$ uzaklığındadır. Bu dönen koordinat sisteminde iki yıldız sırası ile (0,0,0) ve (1,0,0) konumlarındadır. Bu sistem aşağıdaki şekilde (Şekil 3.1.1.) gösterilmiştir



Şekil 3.1.1. C ortak kütle merkezine sahip M_1 ve M_2 kütleleri birbirlerinden a birim uzaklığı ile ayrılmıştır. M_1 kütlesinde merkezlenmiş koordinat sisteminde x-ekseni M_2 kütlesi boyunca uzanmıştır. y ekseni ve z ekseni yörünge düzlemine diktir. P(x,y,z) noktası M_1 den r_1, M_2 den r_2 kadar uzaktadır.

P(x,y,z) noktasına etkiyen ϕ kütle çekim potansiyeli, iki noktasal kütlenin potansiyelleri ve rotasyonel potansiyelin bir toplamıdır.

Yani,

$$\phi = -\frac{GM_1}{r_1} - \frac{GM_2}{r_2} - \frac{w^2}{2}\left[\left(x - \frac{M_2}{M_1 + M_2}\right)^2 + y^2\right]$$

burada;

$$r_1 = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \quad \text{ve} \quad r_2 = \left[(x-1)^2 + y^2 + z^2\right]^{1/2} \quad \text{dir.}$$

a ≅ 1 ve eş dönme durumunda;

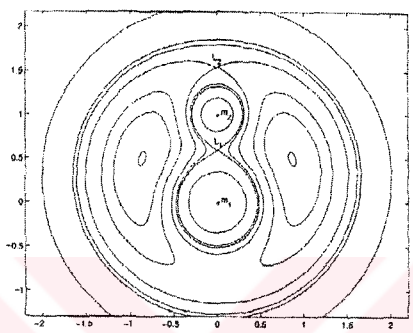
$$w^2 = \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 = \frac{G(M_1 + M_2)}{a^3} = G(M_1 + M_2) \quad \text{olur.}$$

$$\phi_n = \frac{-2\phi}{G(M_1 + M_2)} \quad \text{ve} \quad q = \frac{M_2}{M_1}, \ (0 < q \leq 1) \ \text{niceliklerini tanımlarsak;}$$

$$\phi_n = \frac{2}{(1+q)r_1} + \frac{2q}{(1+q)r_2} + \left(x - \frac{q}{(1+q)}\right)^2 + y^2 \quad \text{denklemini elde etmiş oluruz.}$$

Burada ϕ_n niceliği normalize potansiyeldir ve noktasal kütleler etrafındaki herhangi bir (x,y,z) konumundan hesaplanabilir. Dolayısıyla dönen bir koordinat sistemindeki q kütle oranına sahip ve uzaklık birimi a ile ifade edilebilen eşpotansiyel yüzeyler bu ifade yardımı ile elde edilebilir. Şekil 3.1.2.'de q = 0.4 ve z = 0 için bu yüzeylerin bir kısmı gösterilmektedir. M_1 ve M_2 noktasal kütlelerine yakın olan yüzeyler bu (x,y) düzleminde daireseldir. Aynı durum (y,z) ve (x,z) düzlemleri için de geçerlidir. Tam-ayrık sistemlerdeki bileşenler küresel şekillere sahiptirler. Bileşenlerden diğerine daha da yaklaşıldığında özellikle iki kütleyi birleştiren merkez doğrultusu boyunca yüzeyler daha kararsız hale gelir, öte yandan bileşenlerin birbirlerine bakmayan yüzleri yaklaşık olarak küresel şekillerini korurlar. Sonunda iki noktasal kütleyi saran bağımsız yüzeyler birbirlerine L_1, birinci Lagrange noktası olarak adlandırılan noktada değerler. Bu noktaya "iç Lagrange noktası" da denilmektedir. L_1 noktasında birbirine değen iki

yüzey, çift sistemin bileşenlerinin "Roche Limitleri" olarak adlandırılır. Bu üç boyutlu sınır hacimleri "Roche Lobları" olarak da isimlendirilir. Bu hacimlerin limit olmalarının sebebi, onların bir çift sistemdeki bileşenlerin ulaşabilecekleri maksimum hacimleri tanımlamalarındandır. Her sınırlayıcı hacmin fiziksel boyutu birincil olarak a bileşenler arası uzaklığa ve ikincil olarak da q kütle oranına bağlıdır. Kütle oranı eşit olan bir çift sistemde her iki bileşene ait Roche lobları da aynı büyüklüğe sahip olacaktır. Kütle oranı düştükçe daha büyük kütleli yıldızın Roche Lobu genişlemekte iken daha küçük kütleli yıldızınki daralmaktadır.

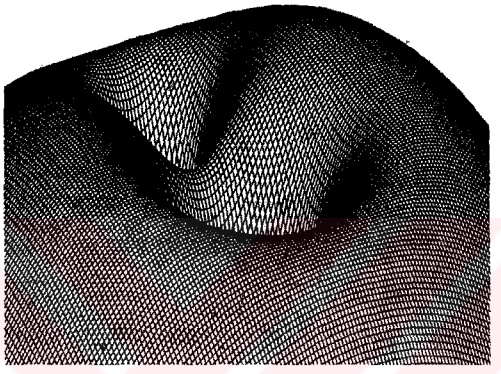


Şekil 3.1.2. q = 0.4 kütle oranına sahip bir çift sistem için eş potansiyel yüzeyleri. ϕ_n 'in aldığı değerler iki noktasal kütleye en yakın olandan itibaren dışa doğru sırasıyla: 5.0, 3.9075(L_1 de), 3.8, 3.559 (L_2 de), 3.2, 3.0, 2.8 ($L_{4,5}$ de) ve artan uzaklıkla küçülmektedir

Şekil 3.1.2.'deki gibi sistemlerde iki bileşen boyun bölgesinde birbirlerine fiziksel olarak temas etmektedir. Sistem Roche limitini kaplayan bir ortak zarf ile çevrilidir. Bu bölgenin ötesinde ikincil bir eşpotansiyel yüzey mevcuttur. Bu yüzey tüm sistemi sarmış ve L_2 noktasında bir kesim noktası göstermektedir. Bu nokta maddenin, sistemin kütle çekim alanından dışarı çıkabileceği dış Lagrange noktasıdır. Şekil 3.1.2.'de görülemeyen, M_1 ve M_2'ye göre L_2 noktasının karşı tarafında, L_2 den daha yüksek potansiyeldeki maddenin kaçış noktası olarak bilinen L_3 noktası bulunmaktadır. İki

kütleden daha da uzakta potansiyel maksimumları olarak adlandırılan L_4 ve L_5 noktaları yer almaktadır.

Şekil 3.1.3'de (x,y) düzleminde görülen ve iki noktasal kütleyi saran normalize potansiyel değeri ızgara-yüzeyler şeklinde gösterilmektedir. Şekilde bileşenlere ait potansiyel çukurları görülmektedir. L_1 noktası iki bileşen arasındaki yarıkta (geçitte) bulunmaktadır. Her bileşen hacmini genişlettikçe kendisine ait yüzey potansiyel çukurunu doldurmaya başlar. Bir bileşenin yüzeyi Roche limitine ulaştığında, madde L_1 yarığından diğer bileşenin potansiyel çukuruna kolaylıkla geçebilir.



Şekil 3.1.3. Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki ϕ_n normalize potansiyel değerinin ızgara-yüzeyli gösterimi. Şekilde yıldızların potansiyel çukurları ile birlikte iç Lagrange noktası L_1 ve L_4, L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir. L_2 noktası merkez doğrultusunda, şeklin arkasında yer almaktadır

Diğer yönlerdeki potansiyel bariyerleri daha büyüktür ve bu nedenle madde için bu bariyerleri aşmak, L_1 noktasındakine nazaran daha fazla enerjiyi gerektirmektedir. L_1 noktasının üç boyutlu etkisini düşünecek olursak; L_1 noktası maddenin bir sistemdeki bir bileşenden diğerine en kolay şekilde geçiş yapabileceği bir geçiş noktası etkisi yaratmaktadır. Benzer bir tanım L_2 noktası için de yapılabilir ve maddenin çift sistemden, potansiyel bariyerinin en düşük bölgesine atımını sağlayan geçittir.

Özet olarak bir çift sistemin şekli, yıldız için uygun eşpotansiyel yüzeylerle tanımlanabilir. R/a kesirsel çap değerinin yaklaşık olarak 0.1 veya daha küçük olduğu tam-ayrık sistemlerde, bileşenler küreseldir. Çünkü noktasal kütleye yakın olan eşpotansiyel yüzeyler de küreseldir. R/a ≈ 0.2 – 0.3 olan, birbirlerine daha yakın sistemlerde, yıldızlar küresellikten uzaklaşmışlar ve sonunda kendi Roche loblarını doldurmuşlardır. Özellikle çift yıldızların evrimi ile ilgili olan önemli bir nicelik, yıldızın Roche lobunun hacmi ve dolayısıyla etkin yarıçapı (r_L) dır.

Eş olmayan dönme durumunda;

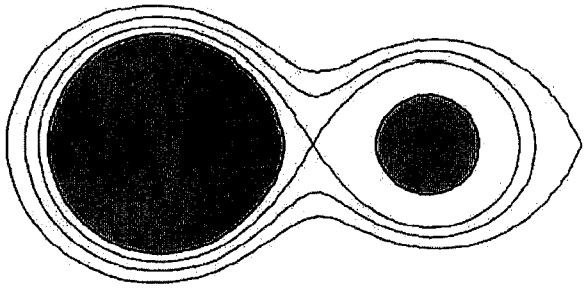
$$\phi = -\frac{GM_1}{r_1} - \frac{GM_2}{r_2} - \frac{w^2}{2}\left[\left(x - \frac{M_2}{(M_1 + M_2)}\right)^2 + y^2\right]$$

denklemini F^2 niceliği ile çarpmak gerekmektedir. Burada F eksen etrafında dönme hızının yörünge hızına oranıdır.

3.2. Roche Modeline Göre Yıldızların Morfolojik Sınıflandırılması

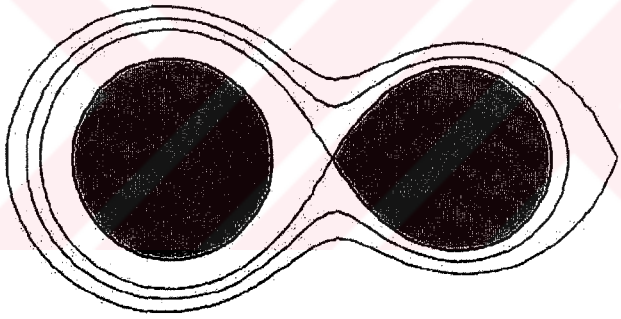
Roche modeli çift yıldızlarda, her iki bileşenin Roche loblarına göre olan büyüklüklerini temel alarak bir sınıflandırma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Buna göre çift yıldızlar morfolojik olarak üç sınıfa ayrılmaktadır:

a) **Ayrık Çiftler:** Bu tür sistemler, bileşenlerinin her ikisi de Roche lobunu doldurmamış sistemlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.2.1. Her iki bileşeninin de Roche lobunu doldurmadığı bir ayrık sistem

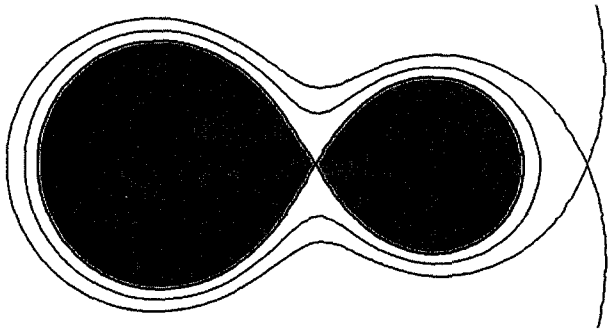
b) **Yarı-Ayrık Çiftler:** Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri Roche lobunu doldurmuş, diğeri ise doldurmamış durumdadır. Roche lobunu doldurmuş olan bileşen L_1 birinci Lagrange noktasından diğer bileşene madde aktarmaktadır. Aktarılan madde bileşen etrafında bir spiral disk oluşturacak şekilde hareket eder. Algol türü sistemler yarı-ayrık çiftlerin bir prototipi olarak gösterilebilirler.



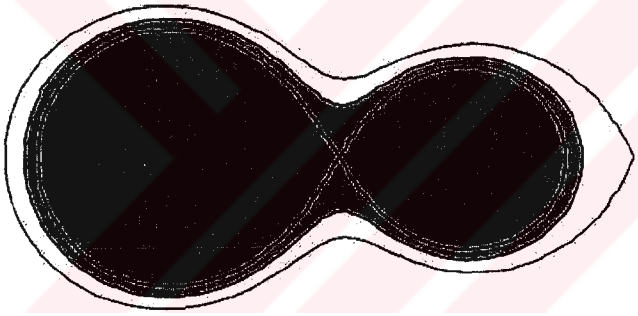
Şekil3.2.2. Bileşenlerinden birinin Roche lobunu doldurduğu yarı-ayrık bir sistem

c) **Değen Çiftler:** Her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş sistemlerdir. Eğer yıldız maddesi Roche lobundan taşarak her iki bileşenin de etrafını sarmış ise

bu sistem ortak bir zarfa sahip demektir. Böyle çiftlere ise "Aşırı-Değen Çiftler" adı verilmektedir. Taşan madde ikinci Lagrange noktasına (L_2) ulaşır ve buradan da yanında büyük miktarda açısal momentumu da taşıyarak sistemi tamamen terk edebilir. W UMa türü ışık eğrilerine sahip sistemler aşırı-değen çiftlerin prototipi olarak gösterilebilir.



Şekil 3.2.3. Her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuş durumdaki bir değen sistem



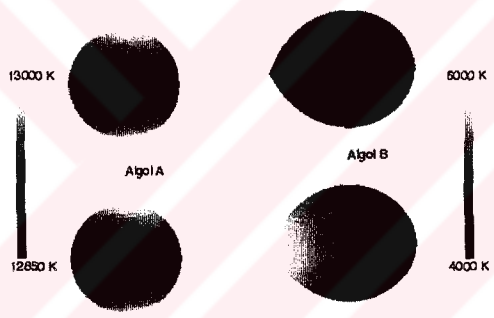
Şekil 3.2.4. Bileşenleri ortak bir zarf ile çevrilmiş aşırı-değen bir sistem

4. YAKINLIK ETKİLERİNDEN KAYNAKLANAN BAZI OLGULAR

Yakın çift yıldızlarda, yakınlık etkilerinden kaynaklanan karşılıklı çekim etkisi sonucu, bileşenlerin şekillerinde bozulmalar meydana gelir. Bu etkiler sisteme ait ışık eğrisinde minimumlar dışındaki ışık değişimleri olarak belirmektedir. Bu etkileri kısaca incelemek gerekirse:

4.1. Çekim Kararması

Dönen bir yıldızın şekli, yerel yüzey çekim ivmesi ve yüzey parlaklık dağılımı ile dönmeyen bir yıldızın aynı nicelikleri oldukça farklıdır. Yakın çift yıldızlarda dönme ve tedirginlik etkileri sonucu bileşenlerin şekilleri küresellikten sapmış ve yüzeyleri boyunca olan akı dağılımı değişime uğramıştır. Von Zeipel (1924) bir yıldızın yüzeyi boyunca akı dağılımının yerel çekim ivmesi ile orantılı olduğunu belirlemiştir. Buna göre şekli bozulmuş bir yıldızın kutup bölgeleri ekvator bölgelerine nazaran daha sıcaktır.



Şekil 4.1.1. Çekim kararması etkisinin sıcaklıkla olan değişimi

Von Zeipel teoremine göre çekim ivmesinin yarıçapın karesi ile orantılı olması ve yıldızın küresellikten sapmış olması sonucu yüzey akısı yüzeyin her noktasında aynı olmayacaktır. Bu sonuç için modern bir yaklaşım Kippenhahn ve Weigert (1989) tarafından,

$$F = \frac{4ac}{3\kappa\rho} T^3 \frac{dT}{dU} g = -k(U)g, \; g = -\nabla U$$

olarak verilmiştir. Burada F, ışımasal enerji akı vektörü ve g çekimsel ve merkezcil ivmeleri içeren etkin yüzey çekim ivmesidir.

Verilen bir potansiyel için akıyı hesaplamak gerekirse, akı sadece g ile değişmektedir. Buna göre yerel bolometrik akı

$$F_l = F_p \left(\frac{g_l}{g_p} \right)^g, \qquad g = \begin{cases} 1.00, & \text{von Zeipel teoremine göre} \\ \approx 0.32, & \text{Lucy'nin kuramına göre} \end{cases}$$

Burada p indisi yıldızın kutbu anlamına gelir. Yukarıdaki ifadenin üst kısmı radyatif olan yıldızlar için von Zeipel teoreminin bir özetidir. Lucy (1967)'nin kuramı konvektif yapıdaki yıldızlara ait bağıntıyı vermektedir.

Çekim kararması, kenar kararması ile benzer bir ifadeye sahiptir ancak ışık eğrisinde farklı bir etki ortaya koymaktadır.

4.2. Kenar Kararması

Bu etkiyi ihmal etmek, yıldız diskinin üniform bir parlaklığa sahip olduğunu kabul etmek demektir. Yüzey parlaklığının merkezden kenarlara doğru değiştiğine dair birçok kanıt özellikle Güneş'te olmak üzere diğer yıldızlarda da açıkça görülmektedir. Kenar kararması, yeğinliğin yüzey normali ile yaptığı açıya bağlıdır. Yıldız atmosferlerinde sıcaklık, derinlikle artmaktadır ve merkezden alınan ışınım şiddeti ile kenarlardan alınan ışınım şiddeti arasındaki farktan dolayı kenar kararma etkisi meydana gelmektedir.

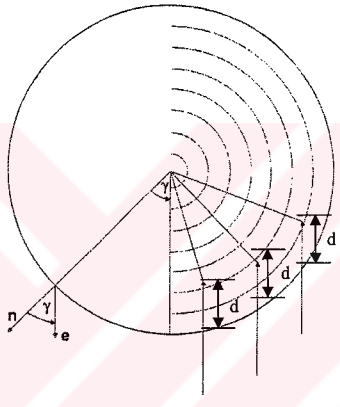
Herhangi bir noktadaki yeğinliği hesaplamak için bir D(μ) ifadesi tanımlansın. γ, r_s noktasındaki $n(r_s)$ yüzey normali ile ışınım salan keyfi bir e doğrultusu arasındaki açı olsun (Şekil 4.2.1.). Buradan;

$$\mu = \cos\gamma = \cos\gamma(r_s) = n(r_s) \times e(r_s, \phi), \quad 0 \le \mu \le 1 \text{ olur.}$$

Dolayısıyla lineer kenar kararma yasası;

$$D_\lambda(\mu) = 1 - x_\lambda(1-\mu) = 1 - x_\lambda + x_\lambda \cos\gamma \quad \text{olur.}$$

Burada x_λ kenar kararma katsayısıdır. Kenar kararma katsayısının dalgaboyuna bağımlılığı λ alt indisi ile gösterilmiştir.



Şekil 4.2.1. r_s noktasındaki $n(r_s)$ yüzey normali ile ışınım salan keyfi bir e doğrultusu arasındaki γ açısı görülmektedir. Şeklin sağ tarafında atmosfer katmanlarının γ açısı ile değişimi görülmektedir

Lineer kenar kararma yasası tek parametreli bir yasadır ve yeğinlik değişimini kaba bir biçimde temsil etmektedir. Daha iyi bir yaklaşım için iki parametreli lineer olmayan kenar kararma yasası kullanılabilir;

$$D_\lambda(\mu) = 1 - x(1-\mu) - y(1-\mu)^p$$

Bunun yanısıra logaritmik ve karekök kenar kararma yasaları sırası ile;

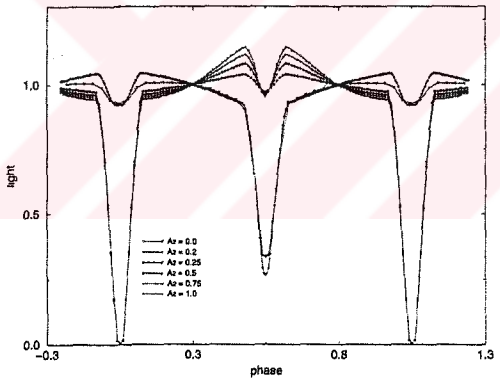
$$D_\lambda(\mu) = 1 - x(1-\mu) - y\mu \ln \mu \qquad \text{ve}$$

$$D_\lambda(\mu) = 1 - x(1-\mu) - y\left(1-\sqrt{\mu}\right) \qquad \text{şeklinde ifade edilmektedir.}$$

Kenar kararması, ışık eğrilerinde minimumlar civarında etkilidir. Bu etki tutulmanın daha geç başlayıp daha erken bitmesine neden olmaktadır.

4.3. Yansıma Etkisi

Bir çift sistemde bir bileşenin varlığı diğer bileşenin parlaklığının artmasına sebep olur. Bu olay bileşenlerin birbirlerine bakan yarıkürelerinde meydana gelmektedir. Bunun nedeni, bileşenlerden biri tarafından yayınlanan ışınımın küçük bir oranının diğer bileşen tarafından soğurularak kendi ışınımına ek olarak her yönde tekrar salmasıdır. Çok sıcak sistemlerde ışınımın önemli bir kesri serbest elektronlarca saçılmaktadır, dolayısıyla böyle sistemlerde yansıma etkisi daha da önemli bir hale gelmektedir.



Şekil 4.3.1. Albedonun 0 dan 1 e değişimi ile değişen ışık eğrileri. Sıcaklıklar $T_1 = 20\,000$ ve $T_2 = 3600$ K

Şekil 4.3.1.'de görüldüğü gibi yansıma etkisi ışık eğrisinde ikinci minimum civarında (ikinci minimumdan önce ve sonra) kendini göstermektedir. Yansıma etkisi bolometrik albedo parametresi ile modellenmektedir.

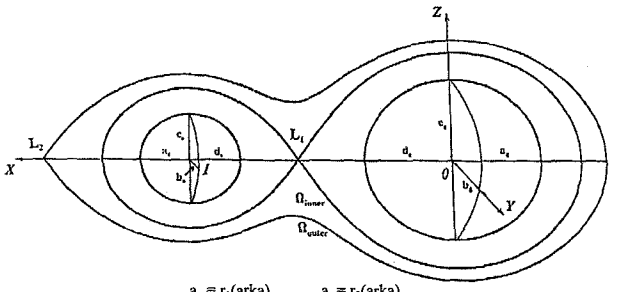
T_l bir r_l yüzey noktasındaki sıcaklık olsun. Klasik bir yaklaşımla yansımayı modelleyebilmek için;

$$T_l' = \sqrt[4]{R_l}\,T_l, \quad R_l = 1 + A_l \frac{F_s}{F_t}$$ ifadeleri kullanılmaktadır.

Burada F_S, bolometrik ışınım akısı, F_T yansıma etkisini içermeyen ışınım akısı, A_l bolometrik albedo ve R yansıma katsayısıdır. Eğer bileşenin yüzeyi radyatif ise A = 1 kabul edilir, eğer bileşen yüzeyi konvektif ise ışığın yarısı yansıtılır, yarısı atmosferdeki kütle hareketinde kullanılır. Bu durumda konvektif katmanlar için A = 0.5 değeri kullanılmaktadır.

4.4. Basıklık ve Armutlaşma

Yakın çift yıldızlarda bileşenlerin karşılıklı çekim etkileri nedeniyle şekilleri, birbirine bakan yüzlerinde uzamış bir hal almaktadır. Ayrıca dönme sonucu sistem küresellikten uzaklaşır ve yıldızların şekli dönel bir elipsoid halini alır. Bu iki sebepten dolayı küresellik ortadan kalktığından yarıçap artık tek bir değerle verilemez hale gelir. Şekil 4.4.1.'de bu yarıçaplar görülmektedir.



$a_g = r_1$(arka) $a_s = r_2$(arka)
$b_g = r_1$(yan) $b_s = r_2$(yan)
$c_g = r_1$(kutup) $c_s = r_2$(kutup)
$d_g = r_1$(ön) $d_s = r_2$(ön)

Şekil 4.4.1. Farklı değerlerle temsil edilen bileşenlerin çapı

5. IŞIK EĞRİSİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Çift yıldızlara ait ışık eğrisi analiz yöntemlerini iki ayrı döneme ayırabiliriz: Verilerin rektefikasyonu (düzeltilmesi) ve bilgisayarların gelişimi ile başlayan fiziksel modelleme dönemi. İlk zamanlarda ışık eğrisi analiz yöntemlerine Henry Norris Russell'ın (Russel 1912a, 1912b, 1939, 1942, 1945, 1948, Russel ve Merrill 1952) büyük katkısı olmuştur. Russell, ilk olarak dairesel yörüngeli ve küresel yapıya sahip bileşenler varsayımı ile bir model ortaya koydu. İlerleyen zamanlarda Merrill (1950), Russell'ın çalışmasını ve dinamik koşul bağıntısını temel alarak tablolar yardımıyla çözüm yapan bir yöntem geliştirdi. Bu yöntemde ışık eğrileri, armutlaşma, yansıma etkisi ve diğer tedirginlik etkilerini ortadan kaldırmak için kısaltılmış Fourier serisi ile düzeltilmekte idi. Bu şekilde üç eksenli elipsoidal model nomogram tabloları ve daha önceden elde edilmiş ışık eğrileri yardımı ile küresel bir modele çevirilebilmekteydi.

Russell'ın modeli 1940-50'lerde gelişiminin doruk noktasına ulaştığı zamanlarda Zdenek Kopal ışık eğrisi analiz yöntemleri ile ilgili olarak daha sonradan bugünün analiz programlarının fiziksel modelleri içinde yerini alacak olan bazı fikirler ve düşünceler geliştirmekteydi. Kopal (1959), yönteminde kenar kararmasının yanısıra çekimden ve dönmeden ileri gelen bozulmalardan kaynaklanan çekim kararması etkilerini de göz önüne almıştır. Kopal (1942), Roche modeline dayalı küresel bir modelin ışığını düzeltmek için bir model geliştirmişti. Ancak Kopal'ın yöntemindeki matematiksel fonksiyonlardan çözüm elde etmek o zamanlar için oldukça zordu. Daha sonra bilgisayarların gelişimiyle böyle problemler ortadan kalkmıştı.

Roche modelini ışık eğrisini tanımlamada direkt olarak kullanan ilk kişi Lucy (1968) dir. Lucy, Roche modelini W UMa türü sistemlere uygulamıştı. Bu tür sistemlerin bileşenleri birbirlerine fiziksel olarak değmektedir ve bundan dolayı değen çiftler olarak da bilinirler. Bu tür sistemlere, Russell-Merrill yöntemi uygulandığında fiziksel anlamı olan sonuçlar elde edilemez. Lucy, elipsoidal değişim gibi etkenlerin yıldızlar hakkında bilgi veren önemli kaynaklar olduğunu göstermiştir.

Lucy'nin modelinden kısa bir süre sonra birçok yeni ışık eğrisi analiz modeli geliştirildi. Nelson ve Davis (1972) ve Etzel (1981, 1993) tarafından EBOP, Wood (1971) tarafından WINK, Graham Hill tarafından (Hill ve Hutchings 1970; Hill, 1979; Hill ve Rucinski, 1993) LIGHT ve devamı LIGHT2 (bu programlar Rucinski'nin W UMA3 kodunu içermektedir.), Wilson-Devinney programı (Wilson ve Devinney 1971, Wilson 1979). Bu modellerden Hill'in LIGHT ve devamı olan LIGHT2 programı ve Wilson-Devinney programı Roche modelini esas almaktadır ve ışık eğrisi analizi yapmak için ideal yöntemlerdir.

6. WILSON-DEVINNEY YÖNTEMİ

Wilson-Devinney yöntemi (WD), gözlenmiş bir ışık eğrisinden sisteme ait fiziksel parametreleri hesaplayan sentetik bir modeldir. Model ilk olarak 1971 yılında Wilson ve Devinney tarafından yayınlandı. WD, Roche geometrisi kabulu altında yıldızlara ait dönme, çekimsel bozulmalar, yansıma etkisi, kenar ve çekim kararma etkilerini modelleyebilmektedir. Yönteme göre gözlenmiş ışık eğrisi ile kuramsal ışık eğrisi arasındaki fark karelerin toplamını ($\Sigma(O-C)^2$) en küçük yapan parametreler, gerçek sistemin en olası değerleri olarak kabul edilmektedir. Yöntem ilk oluşturulduğunda dairesel yörüngeler ve eş dönme kabulleri altında modelleme yapabiliyordu. 1979'da (Wilson 1979) yöntem, ışık eğrileri ile birlikte dikine hız eğrilerini de eş zamanlı olarak modelleyebilecek hale getirildi ve bununla birlikte düzeltilmiş Roche modeli kullanılarak dışmerkezli yörüngeleri ve eş olmayan dönmeye sahip sistemleri modelleyebilecek hale getirildi.

Modele göre sisteme ait bileşenlerin yüzeyleri;

$$\Omega(r,q,F,d)=\frac{1}{r}+q\left[\frac{1}{\sqrt{d^2-2d\lambda r+r^2}}-\frac{\lambda r}{d^2}\right]+\frac{q+1}{2}F^2r^2\left(1-\nu^2\right)$$

denklemi ile belirlenen Roche eşpotansiyelleri ile açıklanmaktadır. Buradaki F parametresi dönmeden kaynaklanan açısal hızın ortalama yörünge açısal hızına oranıdır. Bu parametre ile eş olmayan dönmeye sahip sistemler modellenebilmektedir. Denklemde r yarıçap, q kütle oranı, d merkezler arası uzaklık, λ ve ν ise yarıçap vektörünün yön kosinüsleridir. Bileşenlerin yüzeyleri belirlenirken koordinat sistemi, yüzeyi belirlenecek olan bileşenin merkezine taşınmalıdır. Buna göre ikinci bileşen için potansiyel;

$$\Omega_2'=q'\Omega_2+\frac{1}{2}\left(1-q'\right) \quad , \quad q'=\frac{1}{q}$$ Buradan,

$\Omega_2 = q\Omega_2' + \frac{1}{2}(1-q)$ denklemi elde edilir.

WD'nin geometrik kabulleri altında cosγ < 0 olan noktalar gözlemciye gelen akıyı meydana getirmektedir. Burada γ bakış doğrultusu ile yüzey normali arasındaki açıdır. Buna göre WD'de yerel akı fonksiyonu,

$$dl_l(r_s, \cos\gamma, g_l, T_l, \lambda_l) = G_j D_j R_j I_j \cos\gamma \, d\sigma$$

denkleminden hesaplanır. Burada $G_j = G_j(r_s)$, $D_j = D_j(r_s)$ ve $R_j = R_j(r_s)$ sırasıyla çekim kararması, kenar kararması ve yansıma etkilerini, I_j ise yeğinliği ifade etmektedir. Bu parametrelerle ilgili denklemler yerlerine konulduğunda akı,

$$l(\Phi) = \sum_{\varphi}\sum_{\theta}\left\{GDR\frac{\cos\gamma}{\cos\beta}r^2 \sin\theta \, \Delta\gamma \, \Delta\theta\right\} \text{ olur.}$$

WD, sistemin geometrisini belirlemek veya parametreler arasındaki ilişkiyi ya da kısıtlamaları tanımlamak için çeşitli modlar üretmiştir. Bu modlar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir:

Çizelge 6.1. Wilson-Devinney yönteminde parametreler arasındaki ilişki

Mod	Tür	Parametre
-1	x-Işın Çiftleri	$\Theta e = \Theta e(i, \Omega, q, e, \omega, F)$
0	Russell-Merrill Yöntemine Benzer	L_1, L_2, T_1 ve T_2 .....
1	Aşırı-Değen Çiftler	$\Omega_2 = \Omega_1 > \Omega^c$, $T_2 = f(T_1)$
2	Ayrık Çiftler	$L_2 = L_2(L_1, T_1, T_2)$
3	Aşırı-Değen Çiftler	$\Omega_2 = \Omega_1$, $x_2 = x_1$, $g_2 = g_1$
4	Yarı-Ayrık Çiftler (birinci bileşen Roche lobunu doldurmuş)	$\Omega_1 = \Omega^c$
5	Yarı-Ayrık Çiftler (ikinci bileşen Roche lobunu doldurmuş)	$\Omega_2 = \Omega^c$
6	Çift-Değen Çiftler	$\Omega_1 = \Omega^{c1}$, $\Omega_2 = \Omega^{c2}$

f fonksiyonu;

$T_2 = f(T_1) = T_1\left(\frac{g_{2p}}{g_{1p}}\right)^{\beta}$ bileşenlerin birbirlerine bakan yüzlerindeki sıcaklıklara eşit kabul edilen T_1 ve T_2 etkin kutup sıcaklıklarını ifade etmektedir (Wilson ve Devinney, 1973). Burada g_{1p} ve g_{2p} kutuplardaki yüzey çekim ivmeleri ve $\beta = g/4$ dür.

Mod -1 dışında ikinci bileşenin L_2 toplam ışınım gücü; L_1, T_1 ve T_2 parametrelerinin fonksiyonu olarak ifade edilmektedir:

$$L_2 = \frac{\alpha_\lambda(T_2)}{\alpha_\lambda(T_1)} \frac{\psi(\lambda,T_2)}{\psi(\lambda,T_1)} \frac{3-x_2}{3-x_1} \frac{\int_{S_2} G_2 d\sigma}{\int_{S1} G_1 d\sigma} L_1$$

7. WILSON-DEVINNEY ANALİZ PROGRAMI

Wilson-Devinney yönteminin bilgisayar ortamına aktarılmış hali olan bu program ilk kez 1971 yılında yine Wilson ve Devinney tarafından kullanıldı. Fortran dilinde kodlanmış olan program oldukça karışık algoritmalar içermektedir. Bu analiz programı birçok yayın ve program ile halen gelişimini sürdürmekte ve meydana gelen bazı hatalar giderilmektedir.

Program esasen LC (Light Curve) ve DC (Differential Correction) olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. LC bölümü, çözümde bulunan parametrelere göre kuramsal ışık eğrisini üretmektedir. DC bölümü ise gözlenen ışık eğrilerine ve başlangıç değerlerine göre, serbest bırakılan parametrelerin en olası değerleri için fark miktarını belirlemektedir. Yöntemde serbest bırakılabilen parametreler q, $\Omega_{1,2}$, $L_{1,2}$, $x_{1,2}$, $A_{1,2}$, $g_{1,2}$, $T_{1,2}$, i, L_3 ve leke parametreleri (enlem, boylam, açısal çap, sıcaklık faktörü) olarak sıralanabilir. Parametrelerin serbest bırakılması belirli kurallar çerçevesinde anlamlı olmaktadır ve her MOD için farklıdır. Hesaplamalar diferansiyel düzeltmeye dayanmakta, serbest parametreler için uygun yaklaşımlar yardımıyla elde edilen başlangıç değerleri, yapılan düzeltmelerden sonra gözlemsel ışık eğrisi ile en iyi uyumu gösterecek hale getirilir. Bu, gözlemsel verilerin duyarlı, kullanıcının tecrübeli ve belirlenen başlangıç parametrelerinin bir fiziksel anlama sahip olmasına sıkı sıkıya bağlıdır.

Programda ışık eğrisinin toplam diferansiyeli,

$\Delta l = \frac{\partial l}{\partial i}\Delta i + \frac{\partial l}{\partial g_1}\Delta g_1 + \frac{\partial l}{\partial x_1}\Delta x_1 + ... = O - C$ ifadesi ile belirlenmektedir. Burada Δl gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri arasındaki fark, Δ artım miktarı ve $\partial l / \partial$ lar ise parçalı türevlerdir. Parçalı türevler, asimetrik veya simetrik türev kullanılarak sonlu farklarla elde edilir. Her bir bileşen için belirlenen gridler (enlem ve boylam çizgileri), ilgili bileşen üzerinde alınacak yüzey eleman sayısını belirlemektedir. Grid sayısı arttıkça daha uzun süren analiz süreci sonunda daha duyarlı sonuçlar elde edilmektedir.

Özellikle sıcaklık ve kesirsel ışınım güçleri için grid sayısı arttırılarak daha duyarlı çözümler elde edilebilmektedir.

7.1. WD-2003 Sürümündeki Yenilikler

Bu çalışmada kullanılan analiz programı WD-2003 sürümünün daha önceki sürümlere göre farklarını sıralamak gerekirse;

- WD programında Planck fonksiyonu ya da model atmosfer kullanılabilir. Bu sürümde yıldız atmosfer modeli olarak Kurucz model atmosferleri dikkate alınmaktadır.
- WD-2003 sürümünde bulunan diğer bir yenilik de IBAND parametresidir. Bu parametre gözlemsel verinin hangi bandda olduğunu sayısal kodlama ile tayin etmektedir. Daha önceki sürümlerde gözlemsel verinin hangi dalgaboyunda olduğu ilgili fotometrik bandın etkin dalgaboyu girilerek tayin edilmekteydi. WD-2003 sürümünde 25 banda karşılık gelen sayısal kodlama bulunmaktadır.
- Önceki sürümlerinden farklı olarak MOD = 3'de g_2 çekim kararma katsayısı, x_2, y_2 kenar kararma katsayıları ve A_2 bolometrik albedo parametreleri serbest bırakılabilmektedir.
- Bunun dışında son sürümde girdi dosyasının formatı ve çalıştırma şeklinin değiştirilmesi gibi değişiklikler de yapılmıştır.

Çizelge 7.1. IBAND parametresine ilişkin bazı değerler

Band Bölgesi	IBAND	Band Bölgesi	IBAND
u	1	R	8
v	2	I	9
b	3	J	10
y	4	K	11
U	5	L	12
B	6	M	13
V	7	N	14

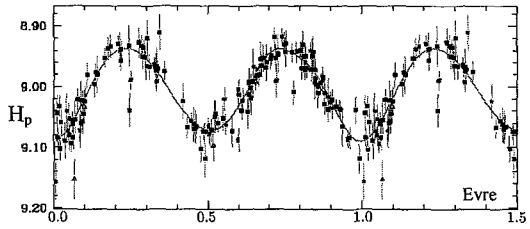
8. V776 CAS YILDIZININ FOTOMETRİK ANALİZİ

8.1. Giriş

V776 Cas, HIPPARCOS Astrometri Uydusu (ESA, 1997) tarafından keşfedilen bir örten değişen çift yıldız sistemidir. Sistem F0 tayf türünden ve $8^m.943$ den $9^m.090$ a değişen, birinci ve ikinci minimum derinlikleri neredeyse eşit olan (bkz. Şekil 8.1.1.) bir genliğe sahiptir (ESA, 1997). HIPPARCOS uydusu tarafından ölçülen paralaks $\pi = 4.86$ miliyaysaniyesidir ki bu da 205.8 pc lik bir uzaklığa karşılık gelir. V776 Cas'a ait ilk ışık elemanları HIPPARCOS Astrometri Uydusu tarafından;

BJD MinI = 2448500.0775(5) + $0^d.44041618(1)$ x E olarak verildi.

Duerbeck (1997), bu çift yıldızın gerçek periyodunun, HIPPARCOS periyodunun iki katı bir değere sahip olduğunu ve düşük genlikli bir EW sistemi olduğunu belirtti. Sistem için Yer'den yapılan ilk gözlemler Gomez-Forrellad *vd* (1999) tarafından gerçekleştirildi. 14 cm'lik bir teleskopla V bandında elde ettikleri ışık eğrisine göre birinci minimum derinliği $0^m.19$ iken ikinci minimum derinliği $0^m.137$ dir. Gomez-Forrellad *vd*, elde ettikleri düşük genlikli ışık eğrisine göre bu sistemin marjinal tutulmalara sahip bir çift yıldız veya bir elipsoidal değişen olabileceğini ileri sürdüler. Rucinski *vd* (2001) sisteme ait ilk radyal hız çalışmasını, Toronto Üniversitesi David Dunlap Gözlemevi'nin 1.8 m'lik cassegrain teleskobuna monte edilmiş, 0.2 Å/piksel ölçeğe sahip bir tayf çekerle gerçekleştirdi. Rucinski *vd* (2001) bu çalışmada; $q = m_c/m_h = 0.130(4)$, $V\gamma$(km/sn) = -24.71 ± 0.69, $M_h + M_c = 0.975 \pm 0.026\ M_\odot$ parametrelerini belirledi. "h" ve "c" indisleri sırası ile sıcak ve soğuk bileşenleri temsil etmektedir. Yine aynı çalışmada sistemin F2 V tayf türünden bir A-türü W UMa olduğu tespit edildi. Rucinski *vd* (2001)'ne göre düşük kütle fonksiyonu ve özellikle düşük yörünge eğimi sebebiyle küçük genlikli ışık eğrisine sahip bu sisteme ait ilk fotometrik analiz bu tez çalışmasıyla gerçekleştirildi.



Şekil 8.1.1. V776 Cas'ın HIPPARCOS Astrometri Uydusu tarafından elde edilen ilk fotometrik ışık eğrisi

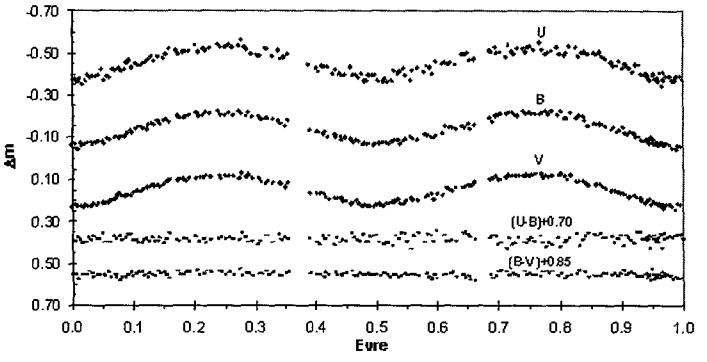
8.2. Gözlemler

V776 Cas'a ait gözlemler 8-9 Ekim 2002 tarihlerinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde yapıldı. Gözlemler, 40 cm lik Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile UBV bandlarında gerçekleştirildi. Mukayese ve denet yıldızı olarak Gomez-Forrellad *vd* (1999)'nin de kullandığı, sırasıyla, K0 tayf türünden BD+69°0118 ve G5 tayf türünden BD+69°0122 yıldızları kullanıldı. Gözlemler süresince her filtrede 182 nokta alındı. Her bir geceye ait ve her renk için sönümleme katsayıları mukayese yıldızı gözlemlerinden hesap edildi. Atmosferik sönümlemeden arındırılmış, değişene ait diferansiyel U, B, V parlaklıkları Ek-1 de listelendi. Diferansiyel U, B, V ışık eğrileri ile U-B ve B-V renkleri Şekil 8.2.1.'de verildi. Her gözlemin olası hatası U, B, V bandları için sırası ile ± 0.017, ± 0.005 ve ± 0.007 olarak bulundu. Bu gözlemlerden elde edilen minimum zamanları yardımıyla hesaplanan ışık elemanları Tanrıverdi *vd* (2003) tarafından aşağıdaki gibi yayınlandı:

HJD MinI = 2452556.3106(5) + 0^{d}.44041618(1) x E.

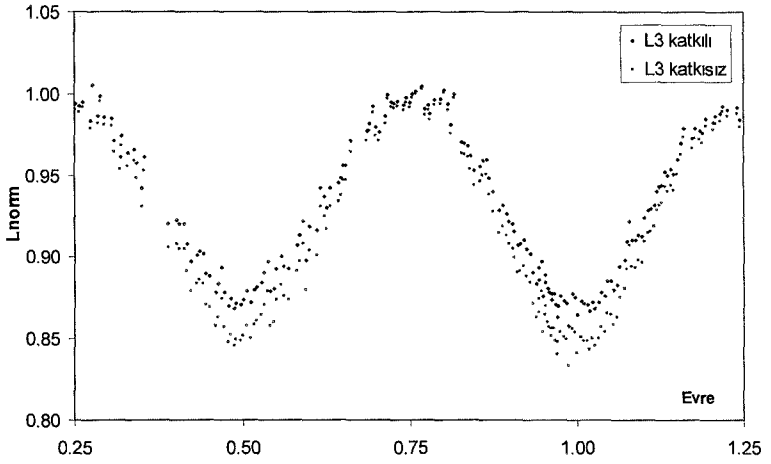
Çizelge 8.2.1.V776 Cas, ve gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarının katalog bilgileri

Parametre	V776 Cas	Mukayese	Denet
BD	+69°0121	+69°0118	+69°0122
α_{2000}	$01^h53^m23^s$	$01^h48^m18^s$	$01^h55^m26^s$
δ_{2000}	+70°02′33″	70°34′32″	70°29′08″
V	9^m.00	8^m.74	8^m.37



Şekil 8.2.1.V776 Cas'a ait diferansiyel U, B, V ışık, U-B ve B-V renk eğrileri

V776 Cas, ADS 1485 görsel çiftinin parlak bileşenidir. Diğer bileşeninin ölçülmüş ayrıklığı 5."38 olup V776 Cas'tan 2 kadir daha sönüktür (Rucinski *vd* 2001). Ayrıklığın çok küçük olması nedeniyle bu yeni gözlemler süresince diğer bileşen diyafram dışında tutulamadı. Bu nedenle sisteme ait ışık eğrisi, görsel bileşene ait üçüncü ışık katkısını da içermektedir. Rucinski *vd* (2001) dikine hız ölçümleri esnasında bu görsel bileşeni ayırmalarına rağmen üçüncü ışık parametresini (L_3) hesaplamadılar. HIPPARCOS kataloğunda, V776 Cas'ın V bandı görünen parlaklığı 9.160 kadir, ve daha sönük olan diğer bileşeninki ise 11.164 kadir olarak verilmektedir. Bu verilere göre Pogson formülü kullanılarak bulunan üçüncü ışık katkısı L_3 = 0.136 dır. Benzer şekilde CCDM kataloğunun (Dommanget & Nys, 2002) ikinci baskısından alınan verilere göre üçüncü ışık katkısı L_3 = 0.091 olarak hesaplandı. Bu katkı ışık eğrisinden çıkarıldığında üçüncü ışık katkılı ve üçüncü ışık katkısız V bandı ışık eğrileri arasındaki fark Şekil 8.2.2.'de görülmektedir. Şekilde ışık eğrileri maksimum parlaklığa göre normalize edilmiştir.



Şekil 8.2.2. V776 Cas'ın üçüncü ışık katkısı içeren ve içermeyen V bandı ışık eğrieri

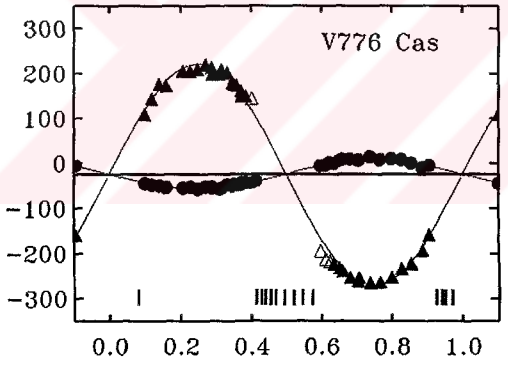
Sisteme ait ışık eğrisi karakteristikleri Çizelge 8.2.2.'de verildi. U, B ve V bandlarında elde edilen ışık eğrileri simetrik yapıda olup her iki maksimum eşittir. B bandı ışık eğrisinde minimumlar arasında küçük bir fark görülmekte iken U ve V bandlarında böyle bir fark yoktur (bkz. Şekil 8.2.1. ve Çizelge 8.2.2.). Şekil 8.2.1.'den de görülebileceği gibi U-B ve B-V renklerinde sistematik bir sapmanın bulunmaması, bileşenler arasında ısısal değme oranının oldukça yüksek olduğunun bir göstergesidir. Çizelge 8.2.2.'de 0.25, 0.75, 0.00 ve 0.50 evrelerindeki, ışık seviyeleri, maksimumlar ve minimumlar arasındaki fark ile birinci ve ikinci minimum derinlikleri olmak üzere V776 Cas çift yıldızına ilişkin ışık eğrisi karakteristikleri verildi. Buna göre maksimumlar arasındaki farkın çok düşük olması sistemin toplam ışığına etkiyen herhangi bir leke aktivitesinin bulunmadığını göstermektedir (O'Connell etkisi). Minimum derinlikleri arasındaki küçük fark ise her iki bileşeni de aynı sıcaklıkta gösteren, W UMa türü sistemlerin tipik bir özelliği olan ortak zarfın etkisidir.

Çizelge 8.2.2. V776 Cas'ın ışık eğrisi özellikleri

Nicelik	ΔU	ΔB	ΔV
0.25 evresindeki max. ışık	-0.532 ± 0.006	-0.216 ± 0.007	0.090 ± 0.005
0.75 evresindeki max. ışık	-0.519 ± 0.016	-0.214 ± 0.006	0.082 ± 0.005
0.00 evresindeki min. ışık	-0.374 ± 0.013	-0.056 ± 0.011	0.230 ± 0.007
0.50 evresindeki min. ışık	-0.380 ± 0.015	-0.069 ± 0.004	0.225 ± 0.006
Δmax.($m_{0.25}$-$m_{0.75}$)	-0.013	-0.002	0.008
Δmin.($m_{0.00}$-$m_{0.50}$)	0.006	0.013	0.005
Min I Derinliği	0.157	0.160	0.140
Min II Derinliği	0.139	0.145	0.143

8.3. Dikine Hız Gözlemleri

Sisteme ait dikine hız gözlemleri Rucinski *vd* (2001) tarafından yapıldı. Elde edilen çift çizgili dikine hız eğrisi Şekil 8.3.1.'deki gibidir. Birinci ve ikinci bileşene ait dikine hız genlikleri arasındaki oran, sistemin düşük bir kütle oranına sahip olduğunu göstermektedir. Bu radyal hız eğrisinden kütle oranı q = 0.130 ± 0.004 olarak belirlenip düşük kütle oranına sahip bir A-türü W UMa olduğu ileri sürüldü.



Şekil 8.3.1. V776 Cas'ın dikine hız eğrisi (Rucinski *vd* 2001)

8.4. Işık Eğrisi Analizi ve Sonuçları

V776 Cas'a ait fiziksel parametreleri belirlemek için Roche modeli ve Wilson-Devinney programının prensiplerine dayanan Djurasevic (1992a, b)'in ışık eğrisi analiz programı kullanıldı. Işık eğrileri ile dikine hız gözlemleri eş zamanlı olarak çözüldü. Işık eğrisi analizi için programa normal noktalar yerine direkt olarak gözlemsel veriler sokuldu. Rucinski *vd* (2001)'nin belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper (1980)'ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından T_h = 6980 K olarak alındı. Sisteme ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak lineer olmayan kenar kararma katsayıları Claret (2000)'in tablolarından belirlendi. Çekim kararma katsayıları ve albedo değerleri, sistemin fiziğine uygun bir şekilde sırası ile Lucy (1967) ve Rucinski (1969)'den alındı. Model atmosfer olarak Djurasevic'in programında Basel yıldız atmosferi modeli (Lejeune *vd.* 1997, 1998) kullanıldı.

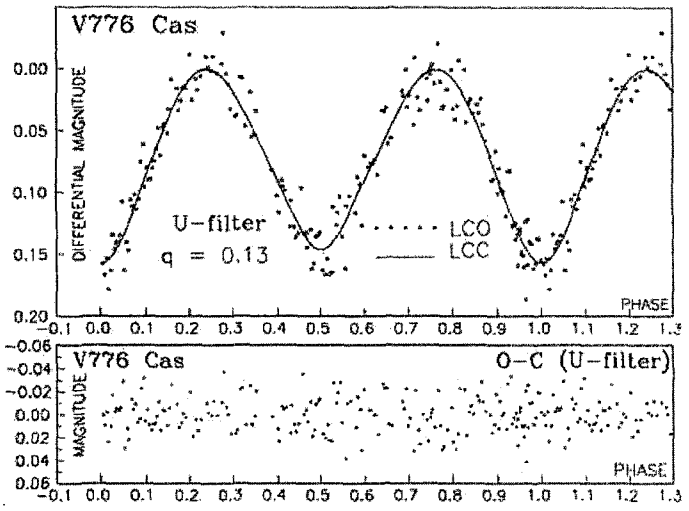
Analiz esnasında üçüncü ışık katkısı olarak L_3 = 0.000, L_3 = 0.090 ve L_3 = 0.136 dikkate alınıp sadece V-bandı için üç farklı çözüm yapıldı. Sisteme ait fiziksel parametrelerin çözüm sonuçları, sistemin üç banddaki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ve farkları ile sistemin 0.25 evresindeki geometrik modeli sırası ile Çizelge 8.4.1., Şekil 8.4.1., Şekil 8.4.2., Şekil 8.4.3. ve Şekil 8.4.4.de verildi.

Analiz esnasında Rucinski *vd* (2001)'den alınan tayfsal kütle oranı, tayf türüne uygun olarak Popper (1980)'ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından hesaplanan ana bileşenin yüzey sıcaklığı, sistemin sıcaklığına uygun olarak seçilmiş çekim kararma ve kenar kararma katsayıları ve L_3 üçüncü ışık katkısı sabit parametreler olarak seçildi. Soğuk bileşenin sıcaklığı, sistemin yörünge eğimi, potansiyeller, bileşenlerin kütle ve yarıçapları, yüzey çekim ivmeleri, bileşenlerin salt bolometrik parlaklıkları ve yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu serbest bırakılan parametrelerdir. Analiz sonuçlarına göre soğuk bileşen ile sıcak bileşenin sıcaklıkları arasında ~200 K'lik 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-

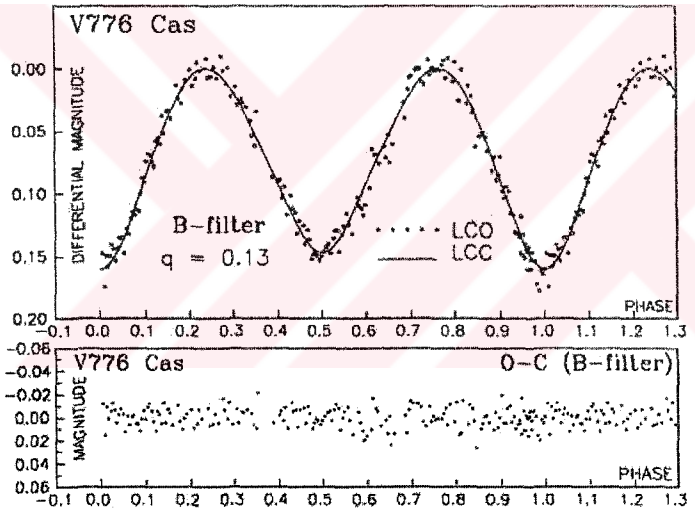
türü W UMa sistemlerinin gösterdiği ortak özelliklerdendir. Elde edilen düşük yörünge eğimi, sistemin düşük genlikli ışık eğrisinin bir göstergesidir.

Çizelge 8.4.1.V776 Cas'ın ışık eğrisi analizi sonuçları

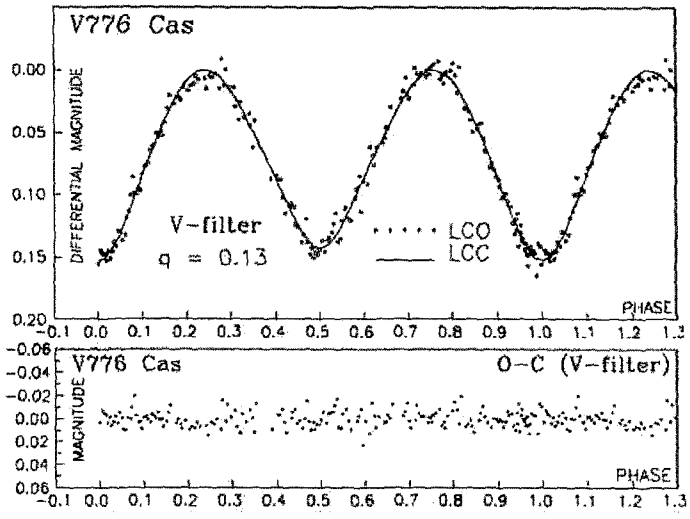
nicelik	**U-filtresi**	**B-filtresi**	**V-filtresi**	**V-filtresi**	**V-filtresi**
n	182	182	182	182	182
$\Sigma(O-C)^2$	0.0457	0.0138	0.0093	0.0092	0.0093
L_3	0.000	0.000	0.000	0.091	0.136
$q = m_c/m_h$	0.13				
T_h	6890				
$g_h = g_c$	0.32				
$A_h = A_c$	0.5				
T_c	6654 ± 90	6544 ± 49	6610 ± 50	6616 ± 48	6620 ± 46
i	53.9 ± 0.4	54.0 ± 0.2	53.6 ± 0.2	54.7 ± 0.2	55.8 ± 0.2
$a_1^{h,c}$	0.38, 0.34	0.31, 0.31	0.37, 0.38	0.37, 0.38	0.37, 0.38
$a_2^{h,c}$	0.90, 0.87	0.96, 0.82	0.87, 0.79	0.87, 0.80	0.87, 0.80
$a_3^{h,c}$	-0.55, -0.4	-0.63,-0.38	-0.77,-0.62	-0.77,-0.63	-0.77,-0.64
$a_4^{h,c}$	0.11, 0.04	0.17, 0.07	0.26, 0.19	0.26, 0.20	0.26, 0.20
$\Omega_{h,c}$	2.0149	2.0111	2.0129	2.0013	1.9984
$R_h(D = 1)$	0.526	0.527	0.527	0.530	0.531
$R_c(D = 1)$	0.216	0.217	0.216	0.220	0.221
$L_h / L_{h,c,3}$	0.875	0.881	0.872	0.790	0.748
$M_h(M_\odot)$	1.63±0.02			1.63	1.63
$M_c(M_\odot)$	0.21±0.02			0.21	0.21
$R_h(R_\odot)$	1.71±0.02			1.73	1.73
$R_c(R_\odot)$	0.71±0.02			0.73	0.74
$\log g_h$	4.18±0.02			4.18	4.18
$\log g_c$	4.06±0.02			4.04	4.03
M_{bol}^h	2.86±0.02			2.84	2.83
M_{bol}^c	4.94±0.03			4.88	4.86
$a_{yör}(R_\odot)$	2.985±0.008			2.985	2.985



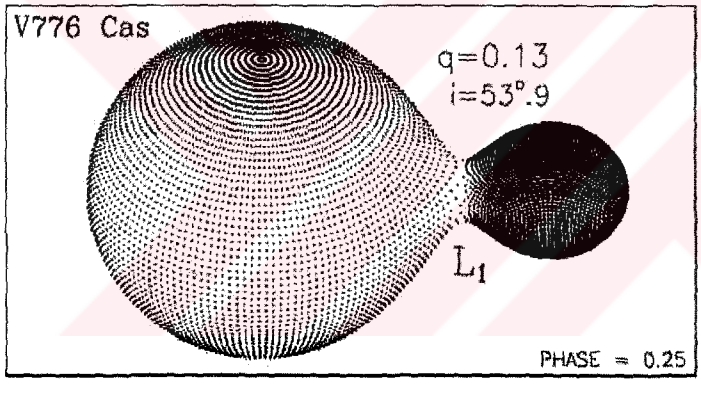
Şekil 8.4.1. V776 Cas'ın U-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları



Şekil 8.4.2. V776 Cas'ın B-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları

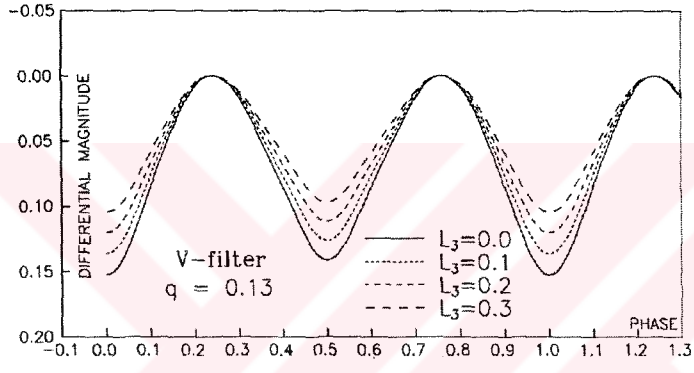


Şekil 8.4.3. V776 Cas'ın V-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları



Şekil 8.4.4. V776 Cas'ın 0.25 evresindeki geometrik modeli

Sistemde üçüncü ışık katkısı oldukça düşüktür. Dolayısıyla bu katkı çift sistemin temel parametrelerinin elde edilmesinde ciddi bir etki yaratmamaktadır. Şekil 8.4.5'te üçüncü ışığın, bir çift yıldız sisteminin ışık eğrisine olan etkisi görülmektedir. Buna göre üçüncü ışığın varlığı, ışık eğrisinde minimum derinliklerinde etkilidir. Sistemde üçüncü ışık katkısı arttıkça, minimum derinliği azalmaktadır. Minimum derinliğinin değişimi fiziksel parametreler açısından bakıldığında özellikle yörünge eğimini etkilemektedir. Üçüncü ışık katkısı arttıkça minimum derinlikleri giderek azalacağından sisteme ait elde edilen fiziksel parametreler, özellikle yörünge eğimi hatalı bulunabilir. Üçüncü ışık katkısının yörünge eğimi dışında sistemin geometrik özelliklerine yani kütle oranı, potansiyeller, değme oranı gibi fiziksel parametrelere de ciddi olamasa da bir etkisi vardır.



Şekil 8.4.5. Bir çift sistemde olası üçüncü bileşenin sistemin ışık eğrisine etkisi

9. V842 HER YILDIZININ FOTOMETRİK ANALİZİ

9.1. Giriş

V842 Her'in bir değişen yıldız olduğu ilk defa Geyer *vd* (1955) tarafından fotoğrafik gözlemlerden bulundu. Filatov (1960) tarafından RR Lyr türü bir değişen yıldız olarak tanımlandı. Ancak daha sonra Vandenbroere (1993) V842 Her'in W UMa türü bir örten çift yıldız olduğunu tespit etti. Vandenbroere (1993) sistemin ışık eğrisinin şeklinin tipik bir W UMa ışık eğrisi olduğunu belirtti ve bu diğer araştırmacılar tarafından da (Nomen-Torres ve Garcia-Melendo 1996, Diethelm 1994) doğrulandı. Aynı araştırmacılar ışık eğrisinde maksimumlar arasında belirgin bir fark olduğunu ve bunun bileşenlerin en az birinin üzerindeki leke aktivitesinden kaynaklanabileceğini ileri sürdüler. Nomen-Torres ve Garcia-Melendo (1996), sisteme ait fiziksel parametrelerin ilk yaklaşım değerlerini Binary Maker 2.0 programını kullanarak belirlediler ve sistemin ışık eğrisinde izlenen O'Connell etkisinin ikinci bileşen üzerinde yer alan sıcak bir leke ile açıklamaya çalıştılar. Bu çalışmada Nomen-Torres ve Garcia-Melendo (1996), 20° yarıçaplı, sıcaklık faktörü $T_f = 1.14$ olan sıcak bir lekeyi, soğuk bileşen üzerinde 90° enlem, 45° boylama yerleştirerek ışık eğrisini modelledi. V842 Her yıldızına ait ilk dikine hız gözlemleri Rucinski *vd* (1999) tarafından Toronto Üniversitesi David Dunlap Gözlemevi'nde 1.8 m'lik cassegrain teleskoba monte edilmiş, 0.2 Å/piksel ölçeğe sahip bir tayf çekerle gerçekleştirdi. Bu çalışmada sistemin kütle oranı $q = m_c/m_h = 3.852(24)$, kütle merkezinin dikine hızı $V\gamma(km/sn) = -57.98 \pm 1.55$ olan W-türü bir W UMa olduğu belirlendi. Yine aynı çalışmada sistemin tayf türünün F9 V olduğu belirlendi, ancak Rucinski *vd* (1999) W-türü bir W UMa için bu tayf türünün erken ve 0.42 günlük dönemin biraz uzun olduğunu belirttiler. Csizmadia (2001) ise, sistemin dönem değişimini inceledi ve sistemin bir dönem değişimine sahip olduğunu söyleyebilmek için elde bulunan 1943-1996 arasındaki verinin yetersiz olduğunu, ancak O-C diyagramında izlenen trendin göz ardı edilemeyeceğini ve dönem değişimi karakterini net olarak oraya koyabilmek için daha fazla gözlem verisine ihtiyaç olduğunu söyledi.

9.2. Gözlemler

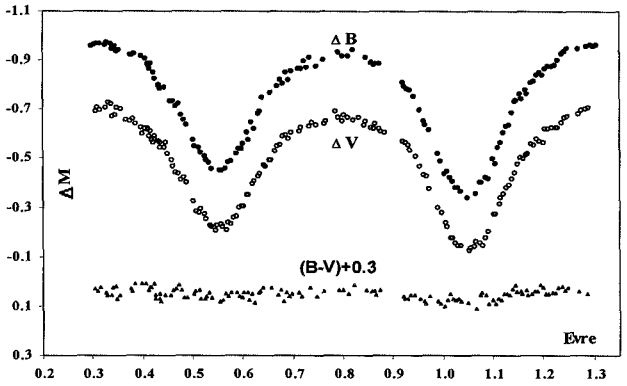
V842 Her çift yıldızına ait gözlemler 3-4 Haziran 2003 tarihlerinde TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG)'nde yapıldı. Gözlemler 40 cm lik Cassegrain teleskobuna bağlı SSP-5A fotometresi ile UBV bandlarında alındı. Mukayese ve denet yıldızı olarak sırasıyla GSC 03497-0031 ve GSC 03497-0349 yıldızları kullanıldı. Gözlem esnasında B ve V filtrelerinde sırası ile 135 ve 154 gözlem noktası kaydedildi. Her bir geceye ait ve her renk için olan sönümleme katsayıları mukayese yıldızı gözlemlerinden hesaplandı. Atmosferik sönümlemeden arındırılmış ve zamanları Güneş merkezine indirgenmiş değişene ait diferansiyel B ve V parlaklıkları Ek-2'de listelendi. Diferansiyel B, V ışık eğrileri ile ve B-V renk eğrisi Şekil 9.2.1.'de verildi. Her gözlemin olası hatası B ve V bandları için sırası ile ± 0.026 ve ± 0.013 olarak hesaplandı. Gözlemlerde elde edilen minimum zamanlarından ve daha önce sisteme ilişkin elde edilmiş minimum zamanlarından sistemin düzeltilmiş ışık elemanları:

HJD MinI = 2450177.4857(19) + 0^d.41903822(58) x E.

olarak bulundu.

Çizelge 9.2.1. V842 Her, ve gözlemlerde kullanılan mukayese ve denet yıldızlarının katalog bilgileri

Parametre	V842 Her	Mukayese	Denet
GSC	3497-0263	3497-0310	3497-0349
α_{2000}	$16^h06^m02^s$	$16^h06^m04^s$	$16^h05^m16^s$
δ_{2000}	+50°11′12″	50°07′50″	50°06′47″
V	10^m.12	10^m.63	11^m.10



Şekil 9.2.1. V842 Her'in B ve V bandı ışık eğrileri, ve B-V renk eğrisi

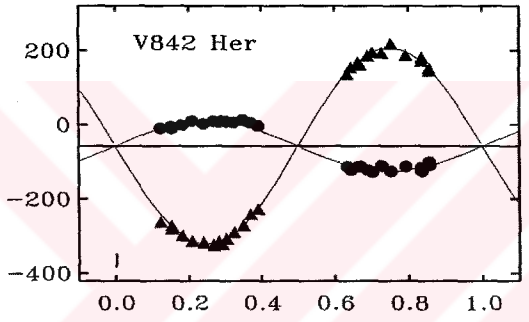
Sisteme ait ışık eğrisi karakteristikleri Çizelge 9.2.2.'de listelendi. Sistemin B ve V bandlarında elde edilmiş olan ışık eğrilerinde maksimumlar arasındaki fark B-bandında 0.031 ve V-bandında 0.023 kadirdir. Sisteme ilişkin B ve V bandı ışık eğrilerinin maksimumları arasında izlenen seviye farkının (asimetrinin) bileşenlerden en az birinde bulunan leke veya lekelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 9.2.1.'den de anlaşılabileceği gibi sisteme ait B-V renginde birinci minimum civarında küçük ölçekli bir kızarma etkisi görülmektedir. Bu da birinci minimum esnasında soğuk bileşenin sıcak bileşenin büyük bir kesrini örtmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun dışında sisteme ait B-V renginde kayda değer bir değişim görülmemesi bileşenleri saran ortak zarf boyunca ısının düzgün olarak dağıtıldığının bir göstergesidir. Çizelge 9.2.2.'de 0.25, 0.75, 0.00 ve 0.50 evrelerindeki, ışık seviyeleri, maksimumlar ve minimumlar arsındaki fark ile birinci ve ikinci minimum derinlikleri olmak üzere V842 Her çift yıldızına ilişkin ışık eğrisi karakteristikleri verildi. Buna göre maksimumlar arasındaki belirgin fark sistemdeki O'Connell etkisinin bir göstergesidir. Minimum derinlikleri arasındaki küçük fark ise her iki bileşeni de aynı sıcaklıkta gösteren, W UMa türü sistemlerin tipik bir özelliği olan ortak zarfın etkisidir.

Çizelge 9.2.2.V842 Her'in ışık eğrisi özellikleri

Nicelik	ΔB	ΔV
0.25 evresindeki max. ışık	-0.962±0.005	-0.694±0.0119
0.75 evresindeki max. ışık	-0.931±0.012	-0.671±0.0136
0.00 evresindeki min. ışık	-0.384±0.009	-0.138±0.0078
0.50 evresindeki min. ışık	-0.461±0.019	-0.219±0.0094
Δmax.($m_{0.25}$-$m_{0.75}$)	-0.031	-0.023
Δmin.($m_{0.00}$-$m_{0.50}$)	0.077	0.081
Min I Derinliği	0.578	0.556
Min II Derinliği	0.470	0.451

9.3. Dikine Hız Gözlemleri

V842 Her'in dikine hız gözlemleri Rucinski *vd* (1999) tarafından yapıldı. Elde ettikleri çift çizgili dikine hız eğrisi Şekil 9.3.1.'de verildi.



Şekil 9.3.1. V842 Her'in dikine hız eğrisi (Rucinski *vd* 1999)

Rucinski *vd* (1999) bu çalışmaları ile sistemin W-türü bir W UMa olduğunu ve kütle oranının q = 3.852 ± 0.024 olduğunu belirlediler.

9.4. Işık Eğrisi Analizi ve Sonuçları

V842 Her'e ait fiziksel parametreleri belirlemek için WD-2003 programı kullanıldı. Işık eğrisi analizi için programa normal noktalar yerine doğrudan gözlemsel veriler girildi. Sisteme ait ışık eğrilerindeki asimetri bu çalışmada sıcak bileşen üzerine soğuk bir leke

konularak modellenmeye çalışıldı. Daha önce Nomen-Torres ve Garcia-Melendo (1996) Binary Maker 2.0 programını kullanarak yaptığı analizde ikinci bileşen üzerine sıcak bir leke koyarak modelleme yapmıştı. Ancak sistemin dönem değişimi ile ilgili bilgilerin yetersiz olmasından ve güneş benzeri soğuk bileşenler içermesinden dolayı bu çalışmada soğuk leke ile modelleme tercih edildi. Sistem W-türü W UMa (Rucinski *vd* 1999) olduğundan WD-2003 analiz programında girdi verileri tanımlanırken birinci yıldız olarak kütlece daha küçük ancak diğer bileşenin üzerinde leke olmasından dolayı daha sıcak görünen bileşen alınmıştır. Rucinski *vd* (1999)'nin belirlediği tayf türüne göre sisteme ait birinci bileşenin sıcaklığı Popper (1980)'ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından T_1 = 6000 K olarak belirlendi, ancak Rucinski *vd*'nin de irdelediği gibi sisteme göre yüksek olan bu sıcaklıkta uygun bir fit gerçekleştirilemedi. Ardışık denemeler sonucunda birinci bileşenin sıcaklığı T_1 = 5700 K'e çekilerek analize devam edildi. Sisteme ilişkin sıcaklıklara bağlı olarak lineer olmayan kenar kararma katsayıları van Hamme (1993)'in tablolarından alındı. Çekim kararma katsayıları ve albedo değerleri sistemin fiziğine uygun bir şekilde sırası ile Lucy (1967) ve Rucinski (1969)'den alındı. Model atmosfer olarak WD-2003 programında kullanılan Kurucz (1993) yıldız atmosferi modeli kullanıldı.

Sisteme ait fiziksel parametrelerin çözüm sonuçları, salt boyutları, leke parametreleri sistemin her iki banddaki gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ve farkları ile sistemin 0.75 evresindeki geometrik modeli sırası ile Çizelge 9.4.1., Çizelge 9.4.2., Çizelge 9.4.3. Şekil 9.4.1., Şekil 9.4.2. ve Şekil 9.4.3.'de verildi.

Analiz esnasında, programda sistemin fiziğine uygun olan mod (MOD 3) kullanıldı. Rucinski *vd* (1999)'den alınan tayfsal kütle oranı sabit tutuldu. Rucinski *vd* (1999)'nin belirlediği ancak bu sistemin diğer fiziksel özelliklerine göre erken sayılabilecek tayf türüne uygun olarak Popper (1980)'ın sıcaklık kalibrasyon tablolarından hesaplanan ana bileşenin yüzey sıcaklığı, sistemin sıcaklığına uygun olarak seçilmiş çekim kararma ve kenar kararma katsayıları sabit parametreler olarak seçildi. Bunun yanısıra sisteme ait leke parametrelerinin belirlenmesi için ilk aşama olarak Binary Maker 2.0 programı kullanıldı. Buradan elde edilen leke parametreleri ilk etapta sabit tutuldu. Soğuk bileşenin sıcaklığı, sistemin yörünge eğimi, potansiyeller, bileşenlerin kütle ve

yarıçapları, yüzey çekim ivmeleri, bileşenlerin salt bolometrik parlaklıkları ve yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu serbest bırakılan parametrelerdir. Bu şekilde elde edilen çözümün en küçük artık kareleri toplamına yakınsamasından sonra ikinci aşamada leke parametreleri serbest bırakıldı. Analiz sonuçlarına göre soğuk bileşenin ile sıcak bileşenin sıcaklıkları arasında ~350 K fark olduğu görülmektedir. Bu düşük sıcaklık farkı W UMa türü sistemlerdeki ortak zarfın varlığını açıkça ortaya koymaktadır. İkinci bileşenin sistemin daha yüksek yüzey sıcaklığına sahip yıldızı olmasına rağmen üzerindeki soğuk leke nedeniyle daha soğuk bileşen gibi görünmesi W-türü W UMa sistemlerinin gösterdiği ortak özelliklerdendir.

Çizelge 9.4.1. V842 Her'in ışık eğrisi analizi sonuçları

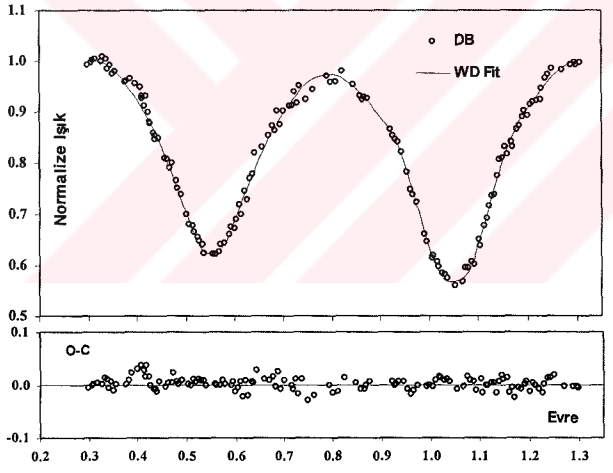
Nicelik	**B-filtresi**	**Hatası**	**V-filtresi**	**Hatası**
n	135		154	
$\Sigma(O-C)^2$	0.2479			
$q = m_c/m_h$	3.852			
T_1	5700			
$g_1 = g_2$	0.32			
$A_1 = A_2$	0.5			
T_2	5362	± 20	5362	± 20
i	77.74	± 0.74	77.74	± 0.74
X_1	0.539		0.275	
X_2	0.347		0.568	
$\Omega_{1,2}$	7.566	± 0.02	7.566	± 0.02
$L_1 / L_{1,2}$	0.297	± 0.006	0.278	± 0.005

Çizelge 9.4.2. V842 Her için belirlenen salt parametreler

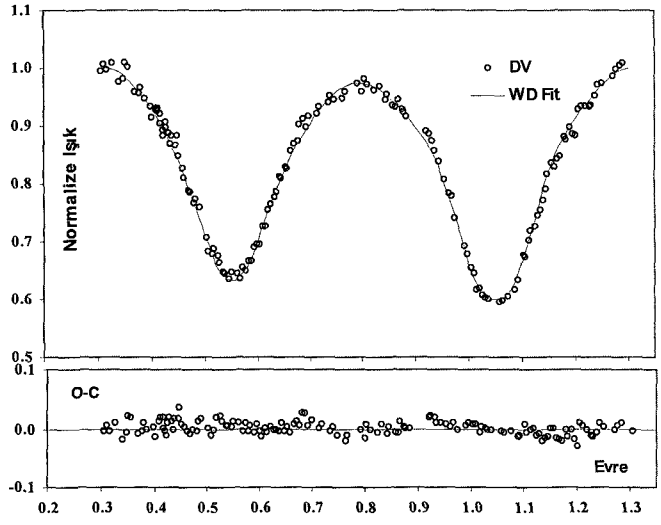
Nicelik	Değer	Hatası
M_1 ($M_\odot$)	0.378	±0.004
M_2 ($M_\odot$)	1.455	±0.026
R_1 ($R_\odot$)	0.812	±0.009
R_2 ($R_\odot$)	1.474	±0.010
log g_1	4.196	±0.004
log g_2	4.264	±0.002
M_{bol}^1	5.263	±0.023
M_{bol}^2	4.234	±0.031
$a_{yör}$($R_\odot$)	2.881	±0.010

Çizelge 9.4.3. V842 Her için belirlenen yıldız leke parametreleri

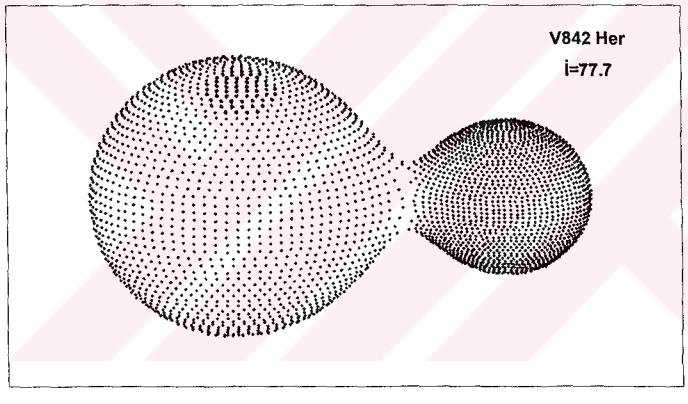
Nicelik	Yıldız1	Yıldız2
Enlem (°)	-	29
Boylam (°)	-	291
Yarıçap (°)	-	17
Sıcaklık Faktörü (°)	-	0.75



Şekil 9.4.1. V842 Her'in B-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları



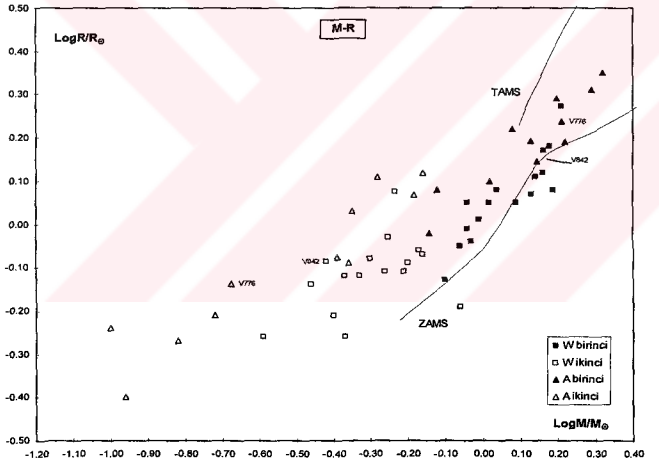
Şekil 9.4.2. V842 Her'in V-bandı gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri ile farkları



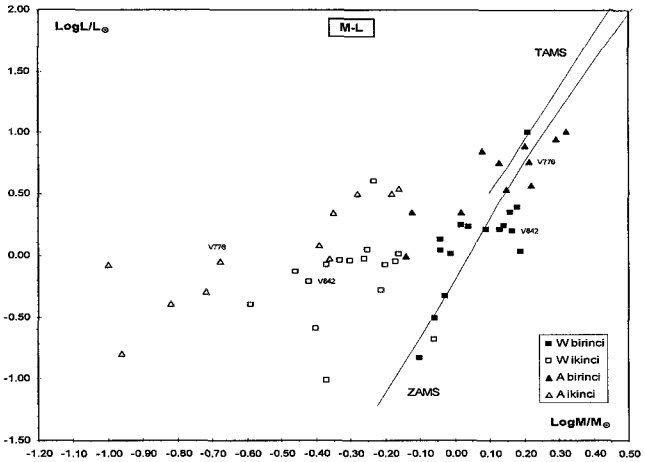
Şekil 9.4.3. V842 Her'in 0.75 evresindeki geometrik modeli

10. HER İKİ SİSTEMİN EVRİM DURUMU

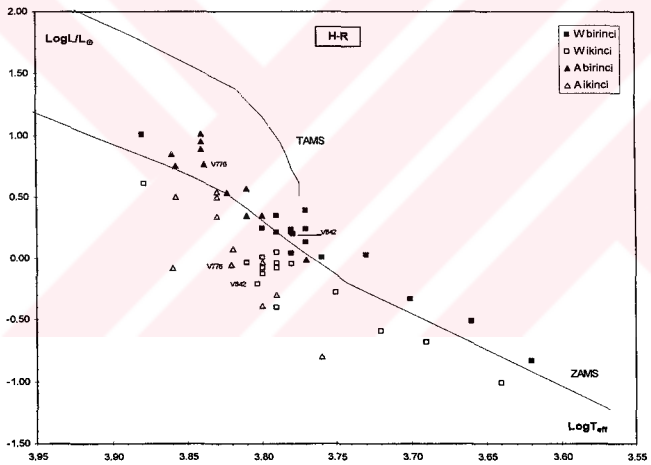
Bu tez çalışması ile fiziksel parametreleri ilk kez ortaya konan V776 Cas ve V842 Her değen çift yıldız sistemlerinin, eş zamanlı ışık ve dikine hız eğrileri çözümlerinden bileşenlerine ait salt parametreler de belirlenmiştir. Her iki sistemin bileşenleri için elde edilen kütle, yarıçap, yüzey sıcaklığı ve ışınım gücü değerleri, literatürde parametreleri iyi belirlenmiş W UMa türü sistemlerin benzer nicelikleri ile beraber teorik kütle-yarıçap (MR), kütle-parlaklık (ML) ve H-R diyagramları üzerinde irdelenmiş ve evrim durumları hakkında bilgi çıkarılmıştır. Bu irdelemeler sırasında Hilditch'in (1988) çalışmasında yer alan 14 adet W-türü ve 8 adet A-türü W UMa sisteminin salt parametrelerinin yanısıra, çalışma grubumuz tarafından ilk kez analizi yapılan HX UMa (A), V351 Peg (W) ve NN Vir (A) sistemlerinin de ilgili verileri kullanılmıştır. Oluşturulan MR, ML ve HR diyagramları sırası ile Şekil 10.1., Şekil 10.2. ve Şekil 10.3.'de görülmektedir. Bu diyagramlarda yer alan teorik "Sıfır Yaş Anakol (ZAMS)" ve "Terminal Yaş Anakol (TAMS)"a ait değerler Claret'in (1995), Güneş benzeri kimyasal bolluk (X=0.70, Z=0.02) için oluşturduğu teorik evrim yolları tablolarından alınmıştır.



Şekil 10.1. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-yarıçap (MR) diyagramı



Şekil 10.2. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen kütle-parlaklık (ML) diyagramı



Şekil 10.3. Claret'in (1995) teorik evrim yolları kullanılarak oluşturulan sıfır yaş anakol (ZAMS) ve terminal yaş anakollar (TAMS) yardımıyla çizilen H-R diyagramı

Hilditch'e (1988) göre bu üç diyagramdan evrime en duyarlı olanı MR diyagramıdır ve irdelenen sistemlerin bileşenlerinin bu diyagram üzerindeki konumlarından hareketle yapılacak yorumlar diğer iki diyagram aracılığı ile elde edilerek evrimsel durumlarına ışık tutmaktadır. Buna göre:

1. Tüm W-türü sistemlerin birinci bileşenleri anakol yıldızıdır ve ZAMS veya TAMS üzerinde tercihli bir yerde bulunmaksızın anakol bandı içine dağılmışlardır. Bu dağılım belirli bir yaş ve/veya kimyasal bolluk aralığının göstergesi olabilir (Hilditch 1988). Bu dağılıma V842 Her sisteminin birinci bileşeni de aynen uyum göstermektedir ve göreli olarak ZAMS'a daha yakın evrimleşmemiş bir anakol yıldızı izlenimi vermektedir. W-türü sistemlerin bazılarına ait birinci bileşenler ML diyagramında ZAMS'ın altında yer almaktadır ve bu konumları, ikinci bileşenlerine aktardıkları ışınım transferi ile açıklanabilmektedir.
2. W-türü sistemlerin ikinci bileşenleri MR diyagramında beklenen ZAMS kütlelerine göre daima daha büyük yarıçaplar göstermektedir. Patterson'un (1984) düşük kütleli anakol yıldızları için önerdiği $R \propto M^{0.88}$ şeklindeki kütle-yarıçap bağıntısına göre bu bileşenler 1.5 kat daha büyük yarıçaplara sahiptirler. ML diyagramında ise doğal olarak bu katsayının karesi oranında beklenenden daha fazla ışınım gücü göstermektedirler ve fazlalık ışınımlarının kökeni ana bileşenlerinden aktarılan kütledir. H-R diyagramında bu etki W-türü sistemlerin ikinci bileşenlerini ZAMS'ın soluna ve daha yukarıdaki bölgelere taşımaktadır. Bu anlamda V842 Her'in ikinci bileşeni W-türü sistemler için ortaya konan yukarıdaki genellemelerle birebir örtüşmektedir.
3. Daha yüksek değme derecesine sahip A-türü W UMa sistemlerinin birinci bileşenleri W-türü sistemlerin birinci bileşenlerine oranla, belirgin olarak TAMS'a daha yakın ve hatta ötesindeki konumlarda yer almaktadırlar. Bu konumlar A-türü sistemlerin W-türü sistemlere oranla evrimde daha ileri noktalarda bileşenler içerdiği tezini (bkz. Lucy ve Wilson 1979) doğrular niteliktedir. Bu genellemenin ışığı altında V776 Cas sisteminin birinci bileşeninin her üç diyagramdaki konumuna dayanarak henüz evrimde çok yol almamış olduğunu söyleyebiliriz. Bu özellik V776 Cas sistemini A-türü

sistemler arasında ender rastlanan bir konuma oturtmakta ve yakın çift yıldızların evrimi açısından ilginç bir cisim olarak ön plana çıkartmaktadır.

4. A-türü sistemlerin ikinci bileşenleri de MR diyagramında beklenen ZAMS kütlelerine göre daima daha büyük yarıçaplar göstermektedirler. Ancak Patterson'un kütle-yarıçap bağıntısına göre bileşen yarıçaplarında izlenen fazlalık yaklaşık 3 kattır. Buna göre ML diyagramında gösterdikleri ışınım gücü fazlalığı, W-türü ikinci bileşenlere oranla daha da büyüktür. Bu etki H-R diyagramında A-türü sistemlerin ikinci bileşenlerini ZAMS'ın solunda oldukça uzak ve çok daha yukarıdaki bölgelere taşımış durumdadır. Bu ışınım artığının kökeninde de birinci bileşenlerinden aldıkları fazlalık ışınım yatmaktadır. V776 Cas'ın ikinci bileşeni bu genelleme ölçütleri içinde tipik bir A-türü sistem üyesi olarak kendini göstermektedir.

11. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu tez çalışmasıyla V776 Cas ve V842 Her değen çift yıldızları için yeni fotometrik gözlemler yapıldı ve bu gözlemlerden üretilen ışık eğrileri kullanılarak ilk kez fotometrik çözümleri gerçekleştirildi. Bir HIPPARCOS keşfi olan V776 Cas sisteminin ışık ve radyal hız eğrileri eş zamanlı olarak Djurasevic'in (1992a, b) ışık eğrisi analiz programıyla çözüldü. Elde edilen kuramsal eğriler gözlemsel ışık eğrileri ile oldukça iyi bir uyum göstermiş ve elde edilen parametrelerinden sistemin tipik bir A-türü W UMa olduğu ortaya konuldu. Sistemde vurgulanması gereken en önemli özellik üçüncü ışık katkısıdır. Üçüncü ışık katkısının sistemin fiziksel parametrelerine nasıl etki ettiği bu çalışmada detaylı olarak irdelendi. Sistemin yine bu çalışmada ilk kez elde edilen salt boyutlarıyla yapılan irdelemeleri sonucunda, evrimde ileri safhalarda olan A-türü benzerlerine göre henüz çok fazla evrimleşmemiş bir birinci bileşene sahip olduğu belirlendi. Sistem, diğer özellikleri açısından A-türü sistemlerle büyük benzerlik içerisindedir.

Eski bir keşif olan ancak ihmal edilmiş bir değen çift yıldız V842 Her için bu çalışmada yeni fotometrik gözlemler yapılarak oluşturulan ışık eğrileri WD-2003 programıyla analiz edildi. Bu analizler sırasında ışık eğrileri, literatürde yeni gözlenmiş olan radyal hız eğrileri ile eş zamanlı olarak çözüldü. Elde edilen kuramsal eğriler gözlemsel ışık eğrileri ile iyi bir uyum içerisindedir. V842 Her'e ilişkin analiz sonuçları, sistemin büyük bileşeni üzerindeki soğuk bir lekenin varlığını ve W-türü bir W UMa sistemi olduğunu göstermektedir. Sistemin bu çalışma ile ilk kez elde edilen salt boyutları, kütle-yarıçap, kütle-parlaklık ve H-R diyagramları üzerinde irdelendiğinde, tipik bir W-türü W UMa sistemi ile karşı karşıya olduğumuz görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen yeni fotometrik gözlemleri kullanarak, ışık eğrisi analizi programları ile her iki çift yıldızın ilk detaylı yörünge çözümleri yapıldı. Her iki çift yıldıza ait yeni gözlenen ışık eğrileri analizinden ulaşılan sonuçlar, 20-24 Ekim 2003'de Dubrovnik Hırvatistan'da düzenlenen "Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of Close Binary Stars" başlıklı çalıştayda "A Photometric Study of the Neglected Contact Binary V842 Her" ve "A Photometric Study of the Recently

Discovered Eclipsing Binary V776 Cas" başlıklı iki ayrı poster-bildiri olarak sunuldu ve Publications of the Astronomical Society of the Pacific (PASP)'in Conference Proceedings sayılarından birinde basılmak üzere yayına kabul edildi. Ayrıca V776 Cas çift yıldızının fotometrik analiz sonuçları daha detaylı olarak SCI kapsamındaki New Astronomy dergisinde (2004NewA....9..425D) yayınlandı. V842 Her için benzer bir makale Astronomische Nachrichten'e gönderilmek üzere hazırlık aşamasındadır.

KAYNAKLAR

Claret, A. 1995. Stellar models for a wide range of initial chemical compositions until helium burning. I. From X=0.60 to X=0.80 for Z=0.02. A&AS, 109, 441

Claret, A. 2000. A new non-linear limb-darkening law for LTE stellar atmosphere models. Calculations for -5.0 <= log[M/H] <= +1, 2000 K <= T_{eff} <= 50000 K at several surface gravities. A&A, 363, 1081

Csizmadia, Sz.. 2001. V842 Her: a W UMa star with constant period. IBVS, No. 5191

Diethelm, R.. 1994. Differential BV Photometry of the EW Variable NSV7457 HER. IBVS, No. 4011

Djurasevic G., Albayrak B., Selam S.O., Erkapic S., Şenavcı H.V. 2004. A photometric study of the recently discovered eclipsing binary V776 Cassiopei. NewA, 9, 425

Djurasevic, G. 1992a. An analysis of active close binaries (CB) based on photometric measurements. III - The inverse-problem method: an interpretation of CB light curves. Ap&SS 197, 17

Djurasevic, G. 1992b. An analysis of active close binaries (CB) based on photometric measurements. I - A model of active CB with spots on the components. II – Active CB with accretion discs. Ap&SS 196, 241

Dommanget, J., and Nys. O. 2002. Observations et Travaux 54, 2 (VizieR On-Line Data Catalogue: I/24)

Duerbeck, H., W. 1997. True and Possible Contact Binaries in the Hipparcos Catalogue. IBVS, No. 4513

ESA, 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues, SP-1200

Etzel, P.B. 1981. A Simple Synthesis Method For Solving the Elements of Well-Deteched Eclipsing Systems, in E., B., Carling & Z., Kopal (eds.), Photometric and Spectroscopic Binary Systems, pp111-120, D. Reidel, Dordrecht, Holland

Etzel, P.B. 1993. Current Status of the EBOP Code, in E., F., Milone (ed.), Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Systems

Filatov, G.S. 1960. On the unstudied variables stars in the BV - Lists. Astr. Circular, No. 215

Geyer, E., Kippenhahn, R., Strohmeier, W. 1955. Kleine Veroffentlichungen der Remeis-Sternwarte Bamberg, No. 11

Gomez-Forrellad, J.M., Garcia-Melendo, E., Guarro-Flo, J. 1999. Observations of Selected HIPPARCOS Variables. IBVS, No. 4702

Hilditch, R.W., King, D.J., McFarlane, T.M. 1988. The evolutionary state of contact and near-contact binary stars. MNRAS, 231, 341-352.

Hill G., Rucinski, S., M. 1993. LIGHT2: A light-curve modeling program, in E., F., Milone, (ed.), Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars

Hill, G. 1979. Description of an Eclipsing Binary Light Curve Computer Code with Application to Y-Sextus and the W-Ursae Code of Rucinski. Publ. Dom. Astrophys. Obs., 15, 297

Hill, G., Hutchings, J., B. 1970. The Synthesis of Close-Binary Light Curves. I. The Reflection Effect and Distortion in Algol. ApJ., 162, 265

Kippenhahn, R., Weigert, A. 1989. Stellar Structure and Evolution, Springer, Berlin, Germany

Kopal, Z. 1942. Proc. Am. Phils. Soc., 85, 399

Kopal, Z. 1959. Close Binary Systems, Wiley, New York

Kurucz, R., L. 1993. New Atmospheres for Modelling Binaries and Disks, in E., F., Milone (ed.), Light Curve Modelin of Eclipsing Binary Stars, pp93-102, Springer, New York

Lejuene, T., Cuisiner, F., Buser, R. 1997. Standard stellar library for evolutionary synthesis. I. Calibration of theoretical spectra. A&AS, 125, 229

Lejuene, T., Cuisiner, F., Buser, R. 1998. A standard stellar library for evolutionary synthesis. II. The M dwarf extension. A&AS, 130, 65

Lucy, L., B. 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes, Zeitschr. F. Astrophys., 65, 89

Lucy, L., B. 1968. The Light Curves of W Ursae Majoris Stars. ApJ., 153, 877

Lucy, L., B., Wilson, R.E., 1979. Observational tests of theories of contact binaries. ApJ, 231, 502

Merrill, J., E., 1950. Tables for solution of light curves of eclipsing binaries. Princeton Obs. Contr., 23

Nelson, B., Davis, W., D. 1972. Eclipsing-Binary Solutions by Sequential Optimization of the Parameters. ApJ, 174, 617

Nomen-Torres, J., Garcia-Melendo, E. 1996. The new overcontact eclipsing binary star NSV 07457. IBVS, No. 4365

Patterson, J. 1984. The evolution of cataclysmic and low-mass X-ray binaries. ApJS, 54, 443

Popper, D.M. 1980. Stellar masses. ARA&A, 18, 115P

Rucinski, S., M. 1969. The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes. Acta Astr., 19, 245

Rucinski, S.M., Lu, M. 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. II. AJ, 118, 2451

Rucinski, S.M., Lu, M., Mochnacki, S., W. 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. V. AJ, 122, 1974

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. 1939. Notes on Ellipticity in Eclipsing Binaries. ApJ, 90, 641

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, Princeton Obs. Contr., 26, 1

Tanrıverdi T., Kutdemir E., Elmaslı A., Şenavcı H.V., Albayrak B., Selam S.O., Aydın C., Aksu O., Bulca I., Çınar D., Kara A., Demirhan M., Yılmaz M., Çetintaş C., Gözler A.P., Karakaş T., Sezgin A.S., Turhanoğlu B. 2003. Photoelectric Minima of Some Eclipsing Binary Stars. IBVS, No. 5407

van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves AJ, 106, 2096

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

Wilson, R.E., Devinney, E.J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves:

Application to MR Cygni ApJ, 166, 605

Wilson, R., E., Devinney, E., J. 1973. Fundamental data for contact binaries : RZ Com, RZ Tau and AW UMa. ApJ., 182, 539

Wilson, R.E., 1979. Eccentric orbit generalization and simultaneous solution of binary star light and velocity curves. ApJ., 234, 1054

Wood, D., B. 1971. An analytic model of eclipsing binary star systems. AJ, 76, 701

EKLER

EK-1. V776 Cas çift sisteminin atmosferik sönümlemeden arındırılmış diferansiyel U, B ve V parlaklıkları ve bu parlaklıklara karşılık gelen ölçüm zamanları.....59

EK-2. V842 Her çift sisteminin atmosferik sönümlemeden arındırılmış diferansiyel B ve V parlaklıkları ve bu parlaklıklara karşılık gelen ölçüm zamanları.....60

EK-1. V776 Cas çift sisteminin atmosferik sönümlemeden arındırılmış diferansiyel U, B ve V parlaklıkları ve bu parlaklıklara karşılık gelen ölçüm zamanları

HJD 2400000+	DU	DB	DV	HJD 2400000+	DU	DB	DV	HJD 2400000+	DU	DB	DV
52556.2853	-0.405	-0.085	0.210	52556.4213	-0.528	-0.210	0.086	52556.5936	-0.498	-0.154	0.140
52556.2870	-0.396	-0.089	0.197	52556.4237	-0.540	-0.218	0.087	52556.5954	-0.496	-0.145	0.138
52556.2897	-0.400	-0.087	0.206	52556.4267	-0.526	-0.209	0.085	52556.5975	-0.499	-0.163	0.128
52556.2914	-0.382	-0.085	0.217	52556.4315	-0.534	-0.226	0.097	52556.5990	-0.470	-0.141	0.128
52556.2936	-0.379	-0.056	0.220	52556.4330	-0.559	-0.215	0.073	52556.6020	-0.474	-0.156	0.111
52556.2952	-0.408	-0.070	0.220	52556.4360	-0.526	-0.205	0.094	52557.4938	-0.512	-0.190	0.104
52556.2974	-0.408	-0.064	0.238	52556.4377	-0.518	-0.217	0.081	52557.4954	-0.508	-0.177	0.098
52556.2991	-0.390	-0.070	0.223	52556.4406	-0.497	-0.195	0.095	52557.4978	-0.529	-0.200	0.087
52556.3015	-0.388	-0.063	0.229	52556.4453	-0.492	-0.202	0.098	52557.4993	-0.499	-0.210	0.101
52556.3030	-0.388	-0.045	0.228	52556.4469	-0.492	-0.188	0.111	52557.5014	-0.508	-0.211	0.104
52556.3053	-0.372	-0.039	0.246	52556.4504	-0.523	-0.192	0.121	52557.5056	-0.485	-0.216	0.094
52556.3071	-0.393	-0.056	0.221	52556.4520	-0.522	-0.189	0.107	52557.5071	-0.539	-0.217	0.080
52556.3092	-0.391	-0.053	0.223	52556.4558	-0.484	-0.186	0.119	52557.5098	-0.507	-0.217	0.084
52556.3108	-0.375	-0.057	0.237	52556.4601	-0.511	-0.175	0.116	52557.5117	-0.497	-0.208	0.085
52556.3134	-0.372	-0.089	0.228	52556.4617	-0.474	-0.163	0.126	52557.5142	-0.524	-0.204	0.084
52556.3149	-0.383	-0.042	0.228	52556.4645	-0.477	-0.154	0.144	52557.5183	-0.522	-0.224	0.086
52556.3170	-0.376	-0.068	0.229	52556.4664	-0.486	-0.182	0.122	52557.5198	-0.504	-0.212	0.081
52556.3185	-0.351	-0.059	0.234	52556.4820	-0.448	-0.130	0.169	52557.5219	-0.526	-0.217	0.085
52556.3209	-0.387	-0.087	0.227	52556.4876	-0.427	-0.126	0.166	52557.5237	-0.533	-0.214	0.079
52556.3225	-0.398	-0.076	0.232	52556.4893	-0.414	-0.127	0.169	52557.5261	-0.518	-0.215	0.077
52556.3247	-0.384	-0.072	0.227	52556.4920	-0.440	-0.113	0.169	52557.5301	-0.550	-0.215	0.074
52556.3262	-0.389	-0.084	0.220	52556.4937	-0.435	-0.122	0.184	52557.5319	-0.519	-0.220	0.089
52556.3286	-0.391	-0.074	0.223	52556.4981	-0.432	-0.100	0.197	52557.5341	-0.498	-0.223	0.086
52556.3301	-0.395	-0.082	0.211	52556.5005	-0.402	-0.115	0.192	52557.5355	-0.500	-0.209	0.092
52556.3329	-0.423	-0.082	0.211	52556.5020	-0.423	-0.105	0.189	52557.5383	-0.513	-0.225	0.083
52556.3345	-0.367	-0.089	0.218	52556.5047	-0.402	-0.101	0.191	52557.5428	-0.529	-0.208	0.082
52556.3370	-0.390	-0.089	0.214	52556.5092	-0.393	-0.085	0.205	52557.5446	-0.498	-0.222	0.076
52556.3386	-0.383	-0.085	0.200	52556.5087	-0.397	-0.095	0.207	52557.5472	-0.489	-0.191	0.085
52556.3415	-0.424	-0.097	0.185	52556.5127	-0.434	-0.091	0.219	52557.5488	-0.500	-0.191	0.100
52556.3429	-0.418	-0.102	0.182	52556.5142	-0.398	-0.077	0.213	52557.5512	-0.537	-0.216	0.079
52556.3452	-0.428	-0.100	0.167	52556.5167	-0.397	-0.088	0.201	52557.5560	-0.529	-0.189	0.112
52556.3470	-0.416	-0.104	0.181	52556.5182	-0.385	-0.080	0.220	52557.5576	-0.487	-0.203	0.112
52556.3493	-0.424	-0.103	0.181	52556.5210	-0.400	-0.084	0.230	52557.5605	-0.502	-0.195	0.114
52556.3509	-0.455	-0.117	0.177	52556.5225	-0.388	-0.088	0.224	52557.5620	-0.505	-0.181	0.121
52556.3531	-0.469	-0.129	0.178	52556.5246	-0.372	-0.070	0.232	52557.5643	-0.494	-0.154	0.131
52556.3546	-0.435	-0.126	0.165	52556.5261	-0.394	-0.088	0.228	52557.5687	-0.501	-0.162	0.128
52556.3570	-0.450	-0.142	0.159	52556.5289	-0.398	-0.084	0.229	52557.5701	-0.494	-0.164	0.125
52556.3585	-0.440	-0.148	0.159	52556.5305	-0.397	-0.087	0.225	52557.5724	-0.508	-0.165	0.124
52556.3610	-0.441	-0.147	0.158	52556.5332	-0.387	-0.071	0.219	52557.5743	-0.485	-0.162	0.136
52556.3628	-0.449	-0.142	0.146	52556.5358	-0.384	-0.074	0.227	52557.5766	-0.472	-0.151	0.146
52556.3647	-0.455	-0.138	0.143	52556.5382	-0.376	-0.077	0.218	52557.5810	-0.459	-0.135	0.159
52556.3663	-0.465	-0.159	0.142	52556.5398	-0.384	-0.089	0.216	52557.5829	-0.439	-0.145	0.156
52556.3685	-0.482	-0.161	0.132	52556.5428	-0.369	-0.081	0.212	52557.5854	-0.441	-0.127	0.162
52556.3701	-0.460	-0.156	0.135	52556.5443	-0.418	-0.087	0.205	52557.5872	-0.463	-0.131	0.167
52556.3725	-0.483	-0.179	0.131	52556.5469	-0.403	-0.087	0.198	52557.5893	-0.429	-0.146	0.169
52556.3740	-0.485	-0.165	0.134	52556.5485	-0.414	-0.071	0.219	52557.5908	-0.449	-0.118	0.175
52556.3769	-0.478	-0.182	0.124	52556.5510	-0.426	-0.084	0.217	52557.5930	-0.432	-0.113	0.185
52556.3788	-0.497	-0.193	0.112	52556.5525	-0.394	-0.091	0.202	52557.5945	-0.431	-0.122	0.184
52556.3810	-0.522	-0.176	0.102	52556.5561	-0.388	-0.101	0.193	52557.5971	-0.411	-0.119	0.180
52556.3865	-0.514	-0.203	0.109	52556.5577	-0.419	-0.092	0.200	52557.5986	-0.447	-0.101	0.187
52556.3884	-0.486	-0.192	0.103	52556.5610	-0.427	-0.085	0.202	52557.6012	-0.447	-0.100	0.191
52556.3910	-0.504	-0.189	0.104	52556.5666	-0.413	-0.114	0.184	52557.6028	-0.403	-0.088	0.204
52556.3926	-0.514	-0.200	0.105	52556.5683	-0.443	-0.107	0.177	52557.6050	-0.403	-0.085	0.213
52556.3953	-0.514	-0.208	0.095	52556.5708	-0.437	-0.105	0.167	52557.6066	-0.392	-0.082	0.201
52556.4000	-0.541	-0.216	0.098	52556.5724	-0.403	-0.100	0.196	52557.6091	-0.371	-0.099	0.223
52556.4022	-0.505	-0.203	0.094	52556.5748	-0.460	-0.108	0.171	52557.6108	-0.397	-0.084	0.212
52556.4056	-0.522	-0.208	0.092	52556.5793	-0.450	-0.121	0.173	52557.6132	-0.379	-0.077	0.220
52556.4071	-0.513	-0.221	0.087	52556.5815	-0.454	-0.152	0.143	52557.6147	-0.370	-0.071	0.225
52556.4103	-0.524	-0.215	0.090	52556.5843	-0.454	-0.148	0.149	52557.6170	-0.343	-0.074	0.229
52556.4166	-0.538	-0.224	0.086	52556.5859	-0.456	-0.148	0.157	52557.6188	-0.371	-0.057	0.230
52556.4181	-0.531	-0.210	0.096	52556.5888	-0.444	-0.140	0.144				

EK-2. V842 Her çift sisteminin atmosferik sönümlemeden arındırılmış diferansiyel B ve V parlaklıkları ve bu parlaklıklara karşılık gelen ölçüm zamanları

HJD 2400000+	ΔB	ΔV	HJD 2400000+	ΔB	ΔV
52825.3030	-0.813	-0.649	52825.5292	-0.883	-0.638
52825.3076	-0.889	-0.626	52825.5341	-0.886	-0.624
52825.3100	-0.880	-0.622	52825.5355	-0.825	-0.601
52825.3115	-0.885	-0.638	52825.5382	-0.792	-0.618
52825.3148	-0.883	-0.619	52825.5397	-0.888	-0.620
52825.3162	-0.809	-0.611	52825.5421	-0.885	-0.610
52825.3187	-0.793	-0.604	52825.5435	-0.851	-0.576
52825.3343	-0.784	-0.571	52825.5460	-0.822	-0.580
52825.3359	-0.778	-0.566	52825.5499	-0.788	-0.544
52825.3383	-0.750	-0.552	52825.5546	-0.782	-0.562
52825.3402	-0.697	-0.531	52825.5561	-0.787	-0.517
52825.3440	-0.649	-0.505	52826.3776	-0.734	-0.615
52825.3460	-0.637	-0.467	52826.3796	-0.733	-0.589
52825.3514	-0.614	-0.432	52826.3824	-0.710	-0.592
52825.3533	-0.616	-0.425	52826.3842	-0.722	-0.591
52825.3563	-0.489	-0.373	52826.3869	-0.674	-0.569
52825.3635	-0.435	-0.299	52826.3888	-0.655	-0.584
52825.3659	-0.445	-0.277	52826.3918	-0.636	-0.543
52825.3684	-0.423	-0.238	52826.3970	-0.575	-0.491
52825.3710	-0.407	-0.221	52826.3987	-0.547	-0.469
52825.3741	-0.381	-0.174	52826.4015	-0.543	-0.439
52825.3758	-0.377	-0.176	52826.4032	-0.522	-0.435
52825.3785	-0.365	-0.156	52826.4062	-0.507	-0.408
52825.3804	-0.337	-0.146	52826.4077	-0.493	-0.418
52825.3830	-0.352	-0.143	52826.4104	-0.481	-0.400
52825.3891	-0.399	-0.125	52826.4159	-0.454	-0.323
52825.3909	-0.400	-0.135	52826.4179	-0.449	-0.284
52825.3935	-0.421	-0.137	52826.4205	-0.450	-0.276
52825.3953	-0.414	-0.161	52826.4223	-0.459	-0.290
52825.3985	-0.499	-0.154	52826.4250	-0.460	-0.276
52825.4008	-0.478	-0.142	52826.4268	-0.484	-0.252
52825.4036	-0.541	-0.175	52826.4295	-0.516	-0.227
52825.4058	-0.566	-0.202	52826.4309	-0.539	-0.220
52825.4097	-0.604	-0.274	52826.4340	-0.536	-0.208
52825.4114	-0.631	-0.271	52826.4358	-0.561	-0.225
52825.4145	-0.636	-0.313	52826.4385	-0.608	-0.230
52825.4162	-0.687	-0.341	52826.4402	-0.576	-0.223
52825.4188	-0.731	-0.352	52826.4432	-0.645	-0.208
52825.4208	-0.737	-0.379	52826.4449	-0.622	-0.238
52825.4235	-0.765	-0.391	52826.4477	-0.682	-0.230
52825.4251	-0.745	-0.417	52826.4494	-0.693	-0.256
52825.4277	-0.776	-0.443	52826.4522	-0.746	-0.260
52825.4293	-0.765	-0.478	52826.4538	-0.766	-0.268
52825.4321	-0.809	-0.503	52826.4564	-0.792	-0.302
52825.4339	-0.816	-0.495	52826.4581	-0.817	-0.303
52825.4367	-0.838	-0.511	52826.4609	-0.805	-0.351
52825.4384	-0.852	-0.520	52826.4624	-0.852	-0.351
52825.4419	-0.841	-0.561	52826.4651	-0.821	-0.393
52825.4438	-0.857	-0.554	52826.4671	-0.854	-0.405
52825.4465	-0.873	-0.579	52826.4700	-0.865	-0.424
52825.4483	-0.875	-0.567	52826.4717	-0.864	-0.435
52825.4512	-0.878	-0.564	52826.4744	-0.896	-0.472
52825.4529	-0.903	-0.618	52826.4763	-0.870	-0.467
52825.4557	-0.926	-0.622	52826.4780	-0.910	-0.494
52825.4584	-0.934	-0.622	52826.4807	-0.877	-0.492
52825.4616	-0.948	-0.622	52826.4842	-0.901	-0.530
52825.4634	-0.946	-0.627	52826.4860	-0.933	-0.546
52825.4665	-0.957	-0.644	52826.4890	-0.918	-0.553
52825.4689	-0.960	-0.667	52826.49085	-0.917	-0.587
52825.4719	-0.957	-0.670	52826.49347	-0.942	-0.597
52825.4805	-0.957	-0.683	52826.49554		-0.590
52825.4830	-0.963	-0.695	52826.49843		-0.604
52825.4859	-0.963	-0.704	52826.50436		-0.608
52825.4882	-0.965	-0.708	52826.50598		-0.624
52825.4956	-0.969	-0.694	52826.51317		-0.632
52825.4971	-0.963	-0.705	52826.51523		-0.645
52825.4984	-0.973	-0.695	52826.51849		-0.636
52825.5045	-0.969	-0.709	52826.52607		-0.639
52825.5061	-0.948	-0.729	52826.52869		-0.652
52825.5086	-0.956	-0.722	52826.53509		-0.689
52825.5101	-0.937	-0.671	52826.53706		-0.668
52825.5125	-0.943	-0.677	52826.54045		-0.652
52825.5139	-0.919	-0.707	52826.5422		-0.677
52825.5164	-0.921	-0.699	52826.54478		-0.667
52825.5220	-0.928	-0.654	52826.55033		-0.656
52825.5251	-0.916	-0.650	52826.55455		-0.684
52825.5267	-0.908	-0.660	52826.55855		-0.637

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. Eylül 1996 yılında girdiği Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden Haziran 2001 yılında astronom ünvanı ile mezun oldu. 2001 yılında Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine hak kazandı. Mart 2003 yılından bu yana Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

Yayınlar:

1. Djurasevic, G., Albayrak, B., Selam, S. O., Erkapic, S., Şenavcı H. V. "A photometric study of the recently discovered eclipsing binary V776 Cassiopei" 2004NewA....9..425D
2. "Photometric Study of the Neglected Contact Binary V842 Herculis", Şenavcı H.V., Elmaslı, A., Selam, S.O., Albayrak, B. Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of Close Binary Stars, Workshop, 20-24 October 2003, Dubrovnik, Croatia (Poster).
3. "Photometric Study of the Recently Discovered Contact Binary ET Leonis", Tanriverdi T., Şenavcı H. V., Albayrak B., Selam S.O. Spectroscopically and Spatially Resolving the Components of Close Binary Stars, Workshop, 20-24 October 2003, Dubrovnik, Croatia (Poster)