

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

**YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN
ORTAK ZARF SONRASI EVRİMİ (PCEBs)**

C. MUZAFFER ÇAMURDAN

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cafer İBANOĞLU

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 402.02.01

Sunuş Tarihi : 29/07/2011

Bornova-İZMİR

2011

C. Muzaffer ÇAMURDAN tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak sunulan “**Yakın Çift Yıldızların Ortak Zarf Sonrası Evrimi (PCEBs)**” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 29.07.2011 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği / oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı	: Prof. Dr. Ahmet ERDEM
Raportör Üye	: Prof. Dr. M. Can AKAN
Üye	: Prof. Dr. Cafer İBANOĞLU
Üye	: Prof. Dr. Serdar EVREN
Üye	: Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN

ÖZET**YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN****ORTAK ZARF SONRASI EVRİMİ (PCEBs)**

ÇAMURDAN, C. Muzaffer

Doktora Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. C. İBANOĞLU

Temmuz 2011, 71 sayfa

Bu tez çalışmasında yakın çift yıldızların evriminde en önemli basamaklardan biri olan ortak zarf evrimi süreci sonrasında oluşan PCEB (Post Common Envelope Binaries) türü sistemlerin yapıları ve evrimleri üzerine yapılan literatür çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bileşenlerinden biri Roche lobunu dolduran ve madde aktaran K yada M tayf türünden kırmızı cüce olan, diğeri aktarılan bu maddeyi toplayan bir beyaz cüceden oluşan kataklismik değişen yıldızlar (CV) etkileşen çift yıldız sistemleridir (Warner, 1995). CV'lerin, düşük kütleli bir bileşen ile orta kütleli bileşenin yer aldığı büyük yörüngelerde dolanan bir çift sistemden oluştuğu önerilmektedir. Ortak zarf süreci sonrasında oluşan yörünge dönemi bir günden kısa olan bu yıldızlar yörünge açıl momentum kaybı ile yarı-ayrık CV'lere doğru evrimleşirler (Schreiber & Gansicke, 2003).

Tez kapsamında PCEB türü yıldız olan ve örten çift olduğu bilinen NY Vir dizgesinin Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde V renginde, IQ Cam ve HS 0705+6700 dizgelerinin Tübitak Ulusal Gözlemevi'nde R renginde ışık eğrileri elde edilmiştir. Işık eğrisinin çözümünden yıldızlara ilişkin hesaplanan fiziksel parametreler ile evrim durumları tartışılmıştır. HS 0705+6700 yıldızının *O-C* farkları incelendiğinde ~8 yıllık bir dönem ile sinüzoidal bir değişim gösterdiği belirlenmiş ve bu değişimin üçüncü cisimin ışık-zaman üzerindeki etkisinden kaynaklanabileceği önerilmiştir. Buna ek olarak günümüzde bilinen ve iyi gözlenmiş PCEB'lerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Ritter & Kolb (2010) "kataklismik değişenler ve ilişkili cisimler kataloğunda" yer alan PCEB'lerin yörünge dağılımları, baş bileşenlerin kütle dağılımı ve ikinci bileşenler için kütle-yarıçap ilişkileri incelenerek varılan sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: yakın çift yıldızlar, ortak zarf sonrası yıldızlar: NY Vir, IQ Cam, HS 0705+6700.

ABSTRACT

THE ORBITAL EVOLUTION OF

POST COMMON ENVELOPE BINARIES (PCEBs)

ÇAMURDAN, C. Muzaffer

PhD in Astronomy and Space Science

Supervisor: Prof. Dr. C. İBANOĞLU

July 2011, 71 pages

In this study we present a literature search on evolution and structure of post common envelope binaries that an important step of close binary evolution. Cataclysmic variables are interacting binaries consisting of a white dwarf accretes material from its Roche lobe filling secondary, typically a K or M dwarf (Warner, 1995). The standard picture for the formation of CVs assumes that the progenitor systems were moderately wide binaries consisting of an intermediate mass star with a low mass companion. PCEBs with orbital periods of a few days or less may evolve into a semi-detached CV configuration through orbital angular momentum loss (Schreiber & Gansicke, 2003).

We present photometric observations of post common envelope stars, NY Vir, IQ Cam and HS 0705+6700. The V-band CCD observation of NY Vir was performed by 40 cm telescope at Ege University Observatory and the R band observations of IQ Cam and HS 0705+6700 were performed by 100 cm telescope at TÜBİTAK National Observatory. Physical parameters of stars were obtained from analysis of light curves and their evolution is discussed. We obtained a sinusoidal variation of about 8 yr from *O-C* residuals of HS 0705+6700 that is attributed to the light-time effect, i.e. the presence of a tertiary companion. Furthermore, we have presented period distribution, primary mass-period, mass-radius relations of secondary stars in PCEBs using updated version of the catalogue of Ritter & Kolb (2010) on cataclysmic binaries and related objects. The relations between the parameters were briefly discussed.

Keywords: near contact binary stars, post common envelope binaries, stars: NYVir, IQ Cam, HS 0705+6700.

TEŞEKKÜR

Bilimsel bir çalışmayı tamamlamak birkaç yılda bir meyve veren ağaçtan özlemle bekleneni toplamak gibi olsa gerek. “Bir kuşağın diktiği ağacın gölgesinde gelecek kuşaklar serinler” der Çin atasözü. Dilerim emek verdiğiniz ben ve bu çalışma bilimin ilerlemesinde faydalı oluruz.

Başta lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca ve her üç aşamadaki tez çalışmalarım da danışmanım olarak beni destekleyen, olgunlaşmamı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Cafer İbanoğlu olmak üzere bu çalışmaya yön veren Sn. Prof. Dr. Serdar Evren’e, Sn. Prof. Dr. Ahmet Erdem’e ve Sn. Prof. Dr. Osman Demircan’a içten teşekkürlerimi sunarım.

1996 yılından bu yana öğrenim gördüğüm Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü’ne ve bana emeği geçen tüm hocalarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma sırasında zamanını bana cömertçe ayıran Sn. Prof. Dr. Ömer Lütfi Değirmenci’ye, Sn. Dr. Esin Sipahi’ye ve tez çalışmamı tamamlayabilmem için fazlasıyla mesai yapan Bornova Belediyesi Mevlana Toplum ve Bilim Merkezi’ndeki iş arkadaşlarım Sn. Deniz Birol Gökçe’ye ve Sn. Tuncay Doğan’a teşekkür ederim.

Tezde yer alan yıldızların ışıkölçüm gözlemlerinin yapılmasında başta Ege Üniversitesi Gözlemevi olmak üzere TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi’ne ve gözlemlerin yapımı aşamasında yardımlarını aldığım tüm çalışanlara teşekkür ederim.

Bu çalışma için, 2006 / FEN / 004 numaralı proje ile kaynak ayıran E.Ü. Fen Fakültesi’ne de ayrıca teşekkür ederim.

Bu ağacın karşılaştığı iyi ve kötü, basit ve zor tüm durumları tek başına aştığını düşünmek yanlış olur. Güçleniyor, göğe uzanmaya devam ediyor ve her daim yemyeşil kalabiliyorsam

en çok da onlara, biricik eşim Dr. Dicle Zengin Çamurdan’a ve aileme

sonsuz teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xvii
SİMGELEr VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Ortak Zarf Evrimi	2
1.1.1. Ortak zarf öncesi evrim	2
1.1.2. Ortak zarf evrimi	3
1.1.3. Standart α - teorisi	4
1.1.4. γ - teorisi	5
1.1.5. Ortak zarf sonrası yıldızların (PCEBs) evrimi	6
1.2 PCEB Yıldızlarının Bileşenleri	9
1.2.1 sdB Yıldızları	9
1.2.2. Beyaz cüceler	13
1.2.3 Geri tayf türünden cüce yıldızlar	14

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
2. SEÇİLEN BAZI PCEB YILDIZLARININ IŞIKÖLÇÜM GÖZLEMLERİ VE ANALİZİ	17
2.1. Işıkölçüm Gözlemleri	17
2.2. Gözlenen PCEB Türü Yıldızlar	18
2.2.1. NY Vir (PG 1336-018)	18
2.2.2. IQ Cam (KPD 0422+5421)	25
2.2.3. HS 0705+6700	31
2.2.4. Gözlenen PCEB yıldızlarının evrimleri	39
3. PCEB YILDIZLARININ SALT PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER	43
3.1. PCEB Yıldızlarının Yörünge Dönemlerinin Dağılımı	43
3.2. Baş Yıldızların Kütle Dağılımı	44
3.3. İkinci Bileşen Yıldızların Kütle-Yarıçap İlişkisi	45
4. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR DİZİNİ	59
ÖZGEÇMİŞ	67
EKLER	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>		<u>Sayfa</u>
1.1.	PCEB’lerde dönemin bir fonksiyonu olarak yörünge açısal momentum kaybı.	8
1.2.	HR diyagramında sıcak altcücelerin konumu.	10
1.3.	Yakın çiftlerdeki sdB yıldızlarının oluşumuna ilişkin senaryolar.	11
1.4.	Bir beyaz cüce ve M cücesinden oluşan çift sistemlere ilişkin SDSS tayfları.	14
2.1.	NY Vir dizgesinin ışık eğrisinde ikinci minimum boyunca zonklamanın etkisi.	19
2.2.	NY Vir dizgesinin 15 Mayıs 2009 tarihinde V renginde elde edilen ışık eğrisi ve Tablo 2.3’de verilen parametreler yardımıyla elde edilen kuramsal eğrinin uyumu.	20
2.3.	NY Vir’in gözlemlerde kullanılan mukayese yıldızlarının parlaklık farkının HJD’ye göre değişimi.	21
2.4.	NY Vir dizgesinin yansıma etkisini gösteren tutulma dışı ışık değişimi ve kuramsal eğri ile temsili.	23
2.5.	NY Vir’in gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkın ($O-C$) çevrim sayısına göre değişimi.	24
2.6.	IQ Cam yıldızının 1 Kasım ve 7 Aralık 2010 tarihinde yapılan gözlemlerinde elde edilen zamana göre parlaklık değişimi ve mukayese yıldızlarının parlaklık farkı.	27
2.7.	IQ Cam dizgesinin gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkın ($O-C$), çevrim sayısına göre değişimi.	28
2.8.	IQ Cam dizgesine ilişkin ışık değişimi ve çözümden elde edilen kuramsal eğri ile uyumu.	29

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.9. IQ Cam yıldızının 1 Kasım 2010 gözleminde elde edilen parlaklık değişiminde, maksimum ve minimum düzeylerden okunan parlaklıkların zamana göre değişimi.	30
2.10. HS 0705+6700 dizgesinin 7-8 Aralık 2010 tarihlerinde R renginde elde edilen ışık eğrisi. 7 Aralık gecesi için mukayese yıldızlarının parlaklık farkı.	33
2.11. HS 0705+6700 gözlem verileri ve Tablo 2.10'da verilen parametreler yardımıyla elde edilen kuramsal eğrinin uyumu	34
2.12. HS 0705+6700 dizgesinin yansıma etkisini gösteren tutulma dışı ışık değişimi ve kuramsal eğri ile temsili.	35
2.13. HS 0705+6700 dizgesinin Tablo 2.12'de verilen ışık öğeleri kullanılarak hesaplanan $O-C(I)$ ve $O-C(II)$ değerlerinin çevrim sayısına göre değişimi ve analizi sonucunda elde edilen kuramsal eğri ile uyumu.	36
2.14. HS 0705+6700 sisteminde olası üçüncü cismin kütlelerinin (m_3), yörünge eğikliğine göre değişimi.	38
2.15. Geri tayf türünden anakol yıldızlarına ilişkin kütle-yarıçap ilişkisi.	39
2.16. NY Vir, IQ Cam ve HS 0705+6700 sistemlerinin baş bileşenlerinin $\log T_e - \log g$ diyagramındaki konumları	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>		<u>Sayfa</u>
3.1.	Ritter & Kolb (2010) kataloğunda yer alan PCEB'lerin yörünge dönemlerinin dağılımı.	44
3.2.	PCEB türü sistemlerde baş bileşen beyaz cücenin kütesinin yörünge dönemine göre dağılımı.	45
3.3.	PCEB adaylarının ikinci bileşenleri için $\log M$ - $\log R$ grafiği.	48
3.4.	PCEB yıldızlarının ikinci bileşenlerinin kütle-etkin sıcaklık grafiği.	50

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo</u>		<u>Sayfa</u>
2.1.	Program kapsamında gözlemi yapılan yıldızlara ilişkin temel bilgiler.	17
2.2.	Gözlenen yıldızlara ilişkin temel bilgiler.	20
2.3.	NY Vir dizgesi için V süzgecinde elde edilen ışık eğrisinin çözüm sonuçları.	22
2.4.	NY Vir için normalize edilmiş Fourier katsayıları.	23
2.5.	NY Vir yıldızının <i>O-C</i> analizi ile bulunan parametreleri.	25
2.6.	IQ Cam yıldızı ve mukayese yıldızlarına ilişkin bilgiler.	26
2.7.	IQ Cam yıldızının PHOBE ışık eğrisi analiz programı ile bulunan sistem parametreleri.	28
2.8.	HS 0705+6700 ve sistemle birlikte gözlenen yıldızlara ilişkin literatür bilgileri.	32
2.9.	PHOBE analiz programı ile HS 0705+6700 için elde edilen ışık eğrisinin çözüm sonuçları.	33
2.10.	HS 0705+6700 için normalize edilmiş Fourier katsayıları.	35
2.11.	HS 0705+6700 yıldızının <i>O-C</i> analizi ile bulunan parametreleri.	38
3.1a.	Seçilmiş PCEB adayları ve parametreleri.	51
3.1b.	<i>M-R</i> grafiğinde teorik anakol ile uyumlu olmayan PCEB adaylarının Prialnik & Livio (1985) tarafından önerilen 0.05, 0.01 ve 0.005 M_{\odot} kütleli zarflar için ısısız dengeye gelme zamanları (t_{th})	52
3.2	PCEB'lerin baş bileşeninin (WD) parametreleri.	53

KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
CE	Common Envelope (Ortak Zarf)
CV	Cataclysmic Variable (Katakлизмik Değişen)
DD	Double Degenerate (Yozlaşmış Beyaz Cüce Çifti)
EHB	Extended Horizontal Branch (Genişlemiş Yatay Kol)
PCEB	Post Common Envelope Binary (Ortak Zarf Sonrası Çift Yıldız)
sdB	Subdwarf B (Altcüce B Yıldızı)
SDSS	Sloan Digital Sky Survey (Sloan Dijital Gökyüzü Taraması)

1. GİRİŞ

Bileşenlerinden biri Roche lobunu dolduran ve madde aktaran K ya da M tayf türünden kırmızı cüce olan, diğeri aktarılan bu maddeyi toplayan bir beyaz cüceden oluşan kataklismik değişen yıldızlar (*Cataclysmic Variables, CV*) etkileşen çift yıldız sistemleridir (Warner, 1995). CV'lerin, düşük kütleli bir bileşen ile orta kütleli bileşenin yer aldığı büyük yörüngelerde dolanan bir çift sistemden oluştuğu önerilmektedir. Büyük kütleli olan yıldız evrim sürecinde dev yıldız boyutlarına ulaştığında Roche lobunu doldurur, diğeri bileşene madde kaçıışı başlar ve sistem bir ortak zarf evresine girer (*Common Envelope, CE*). Zarf içerisindeki sürtünme, açısal momentum kaybına yol açar ve yörünge döneminin kısılmasına neden olur. Çift sistemdeki çekimsel etkileşimler, 5-7 R_g 'den daha yakın ayrıklıklar için ikinci bileşenin eş zamanlı dönmesine neden olacaktır. Burada R_g , dev evresi boyunca baş bileşenin yarıçapıdır. Çiftin yörünge dönemini azaltan bu mekanizmaların manyetik frenleme ve/veya çekimsel ışıma olduğu düşünülmektedir. Yörünge dönemi bir günden kısa olan ortak zarf sonrası yıldızlar (*Post Common Envelope Binaries, PCEB*) yörünge açısal momentum kaybı ile yarı-ayrık CV'lere doğru evrimleşirler (Schreiber & Gansicke, 2003). Bu nedenle CV'ler, bu tür çiftlerin yalnız kısa dönemli alt grubunu temsil eder. PCEB yıldızları bu senaryoyu test etmek için çok önemli cisimlerdir. CE kavramı, 1970'li yıllarda keşfedilen V471 Tau yakın çift sisteminin evrimine ilişkin kuramsal çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır (Ostriker, 1973; Webbink, 1975; Paczynski, 1976). CV'lerin bir önceki basamağını oluşturan "V471 Tau benzeri sistemlerin" araştırılması ile PCEB yıldızlarının yakın çift sistemlerin evriminin anlaşılmasında en önemli basamağı oluşturduğu görülmüştür. PCEB yıldızları için önerilen bu evrim senaryosu yozlaşmış beyaz cüce çiftleri, kataklismik değişen yıldızlar ve süper-yumuşak X-ışın çiftleri gibi bir çok sistem için önerilen bir evrim yoludur ki, bu cisimlerden bazıları kozmolojik çalışmalar açısından da çok büyük öneme sahip olan Tür Ia süpernova geçirerek evrimini tamamlayacaktır.

Günümüzde bu tür sistemleri belirlemek için yapılan gökyüzü taramalarından biri olan Sloan Gökyüzü Taraması (The Sloan Digital Sky Survey, SDSS) ile elde edilen veri tabanı, tüm optik dalgaboyu aralığını kapsayan beş geniş süzgeçte fotometrik çalışmayı içermektedir ve etkileşme öncesi sistemleri bulmak için çok elverişli bir kaynaktır. SDSS gökyüzü taraması ile PCEB sayısının 700-1000 sisteme kadar artacağı beklenmektedir. SDSS'nin temel hedefi, CV'lerin evrimsel habercilerinin yani etkileşmeye yakın sistemleri ya da zayıf olarak etkileşen sistemleri bulmaktır. Bu tür sistemler için toplanma

diskinden kaynaklanan bir ışınım görülmesi beklenmemektedir. Aday çifte ilişkin birleşik tayf, basitçe her iki bileşenin üst üste binmiş özelliklerinden oluşacaktır. Bu yüzden, kısa optik dalgalarda sıcak beyaz cüce, uzun dalgalarda ise M cücesi etkin olacaktır.

1.1 Ortak Zarf Evrimi

1.1.1 Ortak Zarf Öncesi Evrim

Ortak zarf yıldızlarını oluşturan bileşenler CE öncesi ve sonrası evrim süreçleri içerisinde tek yıldız evrim modelleri ile kabaca incelenebilir. Bu modellerdeki zaman ölçekleri, sistem içindeki evrimsel değişiklikler ve kütle kaybı ya da kütle toplanmasına sistemin tepkisi ile değişen genel özelliklerine göre farklılaşır ve sistemin CE evresini geçirip geçirmeyeceğini belirlemede çok önemli bir role sahiptir (Iben & Livio, 1993). PCEB yıldızlarının bir sonraki evrim basamağını oluşturan CV'lerdeki gibi $1 R_{\odot}$ 'ten daha küçük ayrıklığa sahip beyaz cüce içeren sistemlerin olması, bu sistemlerin atalarının büyük yörüngelerde dolanan ($a \geq 50 R_{\odot}$) orta kütleli bir baş yıldız ile küçük kütleli yoldaş yıldızdan oluşmakta olduğunu göstermektedir (Warner, 1995). Yakın çift sistemlerde bileşenlerin çekim etkisi ile birbirlerini sınırladığı bölgeyi belirlemek için Roche geometrisi yaklaşımı kabul edilir. Çiftin yörüngesinin daire olduğu durumda çekim alanı nokta kütle olarak kabul edilen iki yıldızın eşpotansiyel yüzeyleri, yıldızların merkezinden uzaklaştıkça gel-git ve merkezkaç etkisi ile bileşenlerin merkezleri doğrultusunda uzanımlara neden olur. Her bir bileşenin eşpotansiyel yüzeyi, kütlesi ile doğru orantılıdır ve kütle aktarımı, L_1 -Lagrange noktası olarak adlandırılan bu yüzeylerin değme noktasından gerçekleşir. Dolayısıyla kütle aktarımının başlayabilmesi, bileşenler arası ayrıklık, kütle oranı ve Roche lobu taşımı (*Roche Lobe Over Flow*, RLOF) ile yakından ilişkilidir.

CE evresinden geçmeyen büyük yörüngelerde dolanan çift sistemlerde bileşenler arasındaki ayrıklığın fazla olması nedeniyle her bir bileşen tek bir yıldız gibi evrimleşir. Bu durumda bileşenler arasında kütle aktarımı ancak bileşenlerin evrimsel süreçleri içerisinde gerçekleşebilir. *Durum-A* olarak adlandırılan süreçte merkezinde Hidrojen yakan bileşen anakoldayken yarıçapındaki artma sonucunda kütle aktarımı gerçekleşebilir. Merkezinde He yakan bileşenin devler koluna çıkışta yarıçapındaki hızlı artma sonucunda gerçekleşebilen *Durum-B* ve bileşen yıldızın dev koluna ulaştığı ve derin bir konvektif zarfa sahip olduğu durumda

asimtotik dev koluna evrimleşirken gerçekleşen *Durum-C* de kütle aktarımını başlatabilmektedir.

1.1.2 Ortak Zarf Evrimi

İki anakol yıldızından oluşan bir çift sistemde, ayrıklık uygun bir aralıkta ise çiftin daha kütleli olan yıldızı, nükleer evrim süreci ile anakoldan ayrıldığında yarıçapı artar, Roche-lobunu doldurur ve kütle aktarımı başlar. Ancak kütle aktarımına sistemin tepkisi bileşenlerin başlangıç kütleleri ile yakından ilişkilidir. Eğer kütle veren yıldız, diğer bileşenden daha küçük kütleli ise bu yıldızın ısısal zaman ölçeği, yıldızın denge yarıçapına gelmesi için gerekenden daha kısadır ve kütle aktarımı dinamik ve ısısal olarak karardır. Aktarılan kütle, kütle merkezine yakın bir noktaya düşer ve açısal momentum kaybedilir. Sistemin açısal momentumunun korunumu gereği bileşenler arası ayrıklık artar ve beraberinde Roche lobu da büyür. Sonuçta kütle aktarımı sona erer. Kütle aktaran yıldızın evrim süreci içerisinde dev koluna ve asimtotik dev koluna ilerleyişi ile aslında yıldızın yarıçapı sürekli artmaktadır ve yıldız yeniden Roche lobunu doldurur. Kütle aktaran yıldız evrimi sonucunda bir beyaz cüce olacak ve ayrıklığı başlangıçtaki çiftin ayrıklığından daha büyük olan, bir anakol ve beyaz cüce içeren (MS-WD) çifti olacaktır.

Eğer kütle aktaran yıldız, diğer bileşenden daha kütleli ise kütle aktarımı dinamik olarak kararsız olacaktır. Kütle aktaran yıldız kütle merkezine yakın olduğunda kaybedilen kütle, kütle merkezinden uzakta olan ikinci bileşen üzerine taşınır, aktarılan madde ile açısal momentum artar. Kütle aktarımı dinamik zaman ölçeğinde ($\tau_{dyn} \sim (M/\dot{M})$) ve $\sim 0.1 M_{\odot} \text{ yıl}^{-1}$ miktarlarında gerçekleşir. Yörünge açısal momentumunun korunduğu varsayımıyla ($\dot{J} = 0$), bileşenler arasındaki uzaklık azalır, bileşenlerin Roche lobları küçülür ve bu kararsız yapı ile kütle aktarımı daha da artar. İkinci yıldız kütle aktarımı sonucunda iç yapı dengesini hemen sağlayamaz. Sonuçta aktarılan kütle taşarak, L_2 'nin yer aldığı dış Roche-lobunu da doldurur ve her iki bileşeni de içine alarak genişlemiş bir *ortak zarf* (*Common Envelope*) oluşturur (Rasio ve Livio, 1996).

Gaz zarf içerisinde bileşen yıldızlar ve zarf arasındaki hız farklılıkları, yörünge açısal momentumunun CE'ye aktarılmasına neden olur. Bu durum yörünge erkesinin azalmasına ve bileşenlerin "spiral-in" evresi olarak adlandırılan zamanla birbirlerine yaklaşmasına neden olan bir sürüklenme kuvvetine yol açar. Bu süreci daha ayrıntılı incelemek için dairesel yörüngeli bir çift sistem

düşünelim. Paczynski (1976) ortak zarf sonrası sistemlerin kuramsal evrimini incelediği çalışmasında (R_2 ikinci bileşenin yarıçapı, $V = (GM/A)^{1/2}$ yörüngede dolanma hızı olmak üzere), dev yıldızın atmosferinde dolanan ikinci bileşene uygulanan sürtünme kuvveti;

$$D \sim R_2^2 V_{orb}^2 \rho \sim G M_1 a \rho \quad (1.1)$$

olarak ifade edilir. Zarfta depolanan enerji, sürüklenmeden kaynaklı sürtünme kuvveti ile orantılı bir ısının açığa çıkmasına neden olur;

$$L_D \sim D V_{orb} \sim D \frac{a}{P_{orb}} \sim \frac{G M_1 a^2}{P_{orb}} \rho \quad (1.2)$$

Bu enerji, yörüngeye bağlanma erkesinden alınır ($L_D \sim \frac{G M_1^2}{\tau_D a}$). Burada τ_D , spiral-in evresinde kalma süresi olmak üzere, $\tau_D \sim \frac{\bar{\rho}}{\rho} P_{orb}$ ile verilmektedir (ρ , çifti saran maddenin yoğunluğu ve $\bar{\rho}$, çiftin çekirdek merkezindeki ortalama yoğunluğudur $\sim M_1/a^3$). Genelde $\bar{\rho} \gg \rho$ olduğundan $\tau_D \gg P_{orb}$ elde edilir ($\tau_D \sim 10^3$ yıl). Sonuçta zarfta depolanan enerji, yörüngeye bağlanma enerjisini geçer ve bir *gezegenimsi bulutsu* (PN) ile sarılı bir sıcak küce (sdB)/WD ve anakol bileşenleri içeren *ortak zarf sonrası yıldızlar* oluşur (Warner, 1995). Bu sürecin ayrıntılı model hesaplamaları Taam (1988, 1989) ve Livio (1989, 1993b) tarafından yapılmıştır.

1.1.3 Standart α - Teorisi

Kısa dönemli beyaz küce ve anakol bileşenlerinden oluşan çift sistemleri açıklamak için Paczynski (1976) tarafından geliştirilen ortak zarf evresi standart teori ile açıklanmıştır. Paczynski'ye göre CE evresi boyunca açılma momentumun korunduğu varsayımı ve bileşenler arası ayrıklığın azalması ile gerçekleşen bir mekanizma işlemektedir. Bu süreçte çiftin yörüngesinden sağlanan enerji, çifti saran zarfın atımında kullanılmaktadır. Spiral-in evresinin neden olduğu bileşenler arası ayrıklığın değişimi aşağıdaki eşitlik ile verilmektedir (Webbink, 1984):

$$\frac{GM_1 M_e}{R_1} = \alpha_{CE} \lambda \left[\frac{GM_c M_2}{2a_f} - \frac{GM_1 M_2}{2a_i} \right] \quad (1.3)$$

Bu eşitlikte G çekim sabiti, a_i ve a_f sırasıyla CE evresinden önceki ve sonraki bileşenler arası uzaklık, M_1 dev yıldızın kütlesi, M_2 anakol yıldızının kütlesi, M_c dev yıldızın çekirdek kütlesi, M_e zarfın kütlesini göstermektedir. Boyutsuz bir parametre olan λ , kırmızı dev yıldızın yapısını temsil eder ve sabit olarak alınır. Yörünge erkesinin etkinliğini temsil eden α_{CE} parametresi de önemlidir.

$$\alpha_{CE} = \frac{\Delta E_{bind}}{\Delta E_{orb}} \quad (1.4)$$

Bu eşitlikte ΔE_{orb} spiral-in sürecinin başında ve sonunda çiftin yörünge enerjisinin değişimini ve ΔE_{bind} atılan maddenin bağlanma enerjisini göstermektedir. CE evriminin, zarfın ısısal zaman ölçeği ile karşılaştırıldığında oldukça hızlı ve ışınımsal kayıpların da küçük olması nedeniyle 1.4 nolu eşitlikteki yörünge erkesi dışındaki diğer erke kaynakları ihmal edilmektedir. α_{CE} 'nin değerinin 1'e yakın olması, yörüngedeki küçülmenin zarfın atılmasında oldukça etkili olduğunu gösterir. α_{CE} değerinin küçük olması bu sürecin daha az etkin olduğu kısa dönemli PCEB türü sistemlerin oluşumuna yol açmaktadır. Yapılan çalışmalarda bu parametrenin ~0.15-1.00 aralığında olduğu görülmektedir (Bodenheimer & Taam, 1984; Taam & Bodenheimer, 1989, 1991; Livio & Soker, 1988; Maxted et al., 2006; Afşar & İbanoğlu, 2008). Livio (1989) ve Iben & Livio (1993), α_{CE} 'nin kuvvetli biçimde yörünge enerjisine bağlı olmasına rağmen zarfın içinde depolanan enerjinin etkinliğinin başka fiziksel süreçlerle değişebileceğini belirtmektedir. Bu parametreyi azaltan iki etkiden söz edilmektedir: aktarılan enerjinin etkinliği (Taam et al., 1978; Meyer & Meyer-Hofmeister, 1979; Soker et al., 1984) ve küresel olmayan etkiler (Bodenheimer & Taam, 1984; Livio & Soker, 1988).

1.1.4 γ Teorisi

Standart α_{CE} kuramının bu sistemleri açıklamada yetersiz kaldığı ilk olarak Paczynski & Ziolkowski (1967) tarafından önerilmiştir. γ -teorisi iki yozlaşmış bileşen içeren çift sistemleri açıklamak için Nelemans et al. (2000) ve Nelemans & Tout (2005) tarafından geliştirilmiştir. İki bileşenin de yozlaşmış olduğu durum aslında iki kütle aktarım süreci ile gerçekleşir. Bu süreçte ya her ikisi de kararsızdır (yani iki CE evresi) ya da ilki kararlı sonuncusu kararsızdır (yani bir CE evresi). Baş bileşenin zarfından kütle kaybı, sistemin açısal momentumundaki (J) azalma eşitlik (1.5)'te verilmiştir:

$$\frac{\Delta J}{J} = \gamma \frac{M_e}{M_1 + M_2} \quad (1.5)$$

Bu eşitlikte γ , sürecin etkinliğini ifade eden boyutsuz bir parametredir. γ teorisi evrimin her iki evresini de açıklayabilmektedir. Beer et al. (2007) γ parametresi için aktarılan maddenin bir kısmının toplanma enerjisini temel alan fiziksel bir mekanizma olduğunu önermiştir.

1.1.5 Ortak Zarf Sonrası Yıldızların (PCEBs) Evrimi

Gözlemler ortak zarf sürecinden sonra yörünge dönemi ~ 1 günün altına indiğinde ortak zarfın atıldığını ve bileşenlerin kütesine bağlı olarak farklı evrim durumlarında bileşenlere sahip sistemler oluşabildiğini göstermektedir. $P_{orb} \leq 2$ gün olan V471 Tau (İbanoğlu et al., 2005), HW Vir (Wood & Saffer, 1999), NY Vir (Kilkenny et al., 1998) gibi sıcak altcüce/beyaz küce ve kırmızı küce bileşenlere sahip bir çok PCEB, hem de merkez çiftin etrafında bulunan zarf ile belirlenen kısa dönemli çiftlerin çekirdeği olarak bilinen MT Ser (Green et al., 1984), UU Sge (Miller et al., 1976) gibi bir çok gezegenimsi bulutsu (PN) gözlenmiştir. Livio (1993c), F ve G tayf türünden bileşene sahip çiftlerin gözlemlerinden en az %17'sinin CE evrimi geçirdiğini tahmin etmektedir. Gözlemsel olarak PN'lerin \sim %13'nün bir çift yıldız çekirdeği olduğu bilinmektedir (Warner, 1995). Gezegenimsi bulutsu $\sim 10^4$ yıldan sonra dağıldığından ve beyaz küce en azından başlangıçta hızlı bir şekilde soğuduğundan, çift sistem görünmez duruma gelir ve keşfedilmesi zorlaşır.

Açısal momentum kaybı çift sistemlerin evriminin sürdürülmesinde çok önemli olduğu gibi CV ve PCEB yıldızlarının evriminin anlaşılmasında da temel etkidir. Çifti saran zarfın atımından sonra kütleçekimsel ışınım (*gravitational radiation*, GR) ve manyetik frenleme (*magnetic braking*, MB) mekanizmalarıyla açısal momentum kaybederek sistemin yörünge dönemi ve dolayısıyla bileşenler arası uzaklığın azaldığı düşünülmektedir (Schreiber and Gansicke, 2003). Çekim dalgaları ile ışınımın açısal momentum kayıp miktarı, M_1 ve M_2 sırasıyla baş ve yoldaş bileşenlerin kütleleri olmak üzere Einstein'ın kuadrupol bağıntısı ile şu şekilde verilmektedir:

$$J_{GR} = -\frac{32G^{7/3}}{5c^2} \frac{M_1^2 M_2^2}{(M_1 + M_2)^{2/3}} \left(\frac{2\pi}{P_{orb}} \right)^{7/3} \quad (1.6)$$

Sadece çekimsel ışıma ile açısal momentum kaybı durumunda $M_2 < 0.25 M_\odot$ (ve manyetik CV'leri oluşturacak sistemler için) yarı-ayrık evreye ulaşma zaman ölçeği, t_{sd} ;

$$t_{sd} = 4.73 \times 10^{10} \frac{(1+q)^{1/3}}{q} M_1^{-8/3} \times [P_i^{8/3}(d) - P_f^{8/3}(d)] \text{ y} \quad (1.7)$$

bağıntısı ile ifade edilir (Warner, 1995). Burada q kütle oranı, M_1 baş bileşenin kütlesi, P_i ve P_f sırasıyla şu andaki ve değme durumundaki yörünge dönemidir ve aşağıdaki eşitlik ile belirlenir:

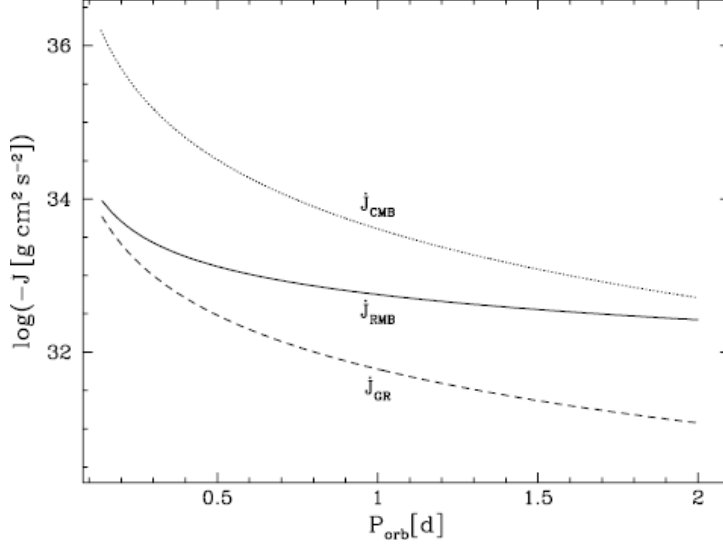
$$P_f(d) = 0.37 M_2^{4/5} \quad (P_f(d) \leq 0.38) \quad (1.8)$$

Örneğin HW Vir yıldızının $\sim 1.7 \times 10^9$ yıl sonra bir kataklismik değişen olacağı hesaplanabilir. İkinci bileşenin tamamıyla konvektif olması durumunda yörünge dönemi bu bileşenin dönme dönemi ile eş-dönmesi için yeterince kısa ise ($P_{orb} \leq 10$ gün) manyetik frenleme ile açısal momentum kaybı gerçekleşir (Verbunt & Zwaan, 1981; Rappaport et al., 1983; Mestel & Spruit, 1987). Verbunt & Zwaan (1981) çalışmasında verilen açısal momentum kayıp miktarı şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\dot{J}_{MB} = -3.8 \times 10^{-30} M_2^4 (R_2/R_\odot)^\gamma (2\pi/P_{orb})^3 \quad (\gamma = 0.4) \quad (1.9)$$

Schreiber & Gansicke (2003) bilinen PCEB yıldızlarını kullanarak yaptıkları incelemede, PCEB evrimi için iki farklı açısal momentum kaybı öngörüsü ile yörünge dönemine göre değişimi incelemiştir (Şekil 1.1). (a) 1.9 eşitliğinde Verbunt & Zwan (1981) tarafından verilen açısal momentum kaybı, \dot{J}_{VZ} (b) açık kümelerdeki tek yıldızların gözlemlerinden elde edilen gözlemsel açısal momentum kaybı, \dot{J}_{SPT} (Sills et al., 2000). Şekilde \dot{J}_{CMB} klasik manyetik frenleme ve \dot{J}_{RMB} düzeltilmiş manyetik frenleme olarak kabul edilip şu şekilde tanımlanmıştır:

$$\dot{J}_{CMB} = \begin{cases} \dot{J}_{VZ} + \dot{J}_{GR} & M_2 > 0.3 \\ \dot{J}_{GR} & M_2 \leq 0.3 \end{cases} \quad \text{ve} \quad \dot{J}_{RMB} = \dot{J}_{SPT} + \dot{J}_{GR} \quad (1.10)$$



Şekil 1.1: PCEB’lerde dönemin bir fonksiyonu olarak yörünge açısal momentum kaybı. $M_2=0.4M_\odot$ ve $M_1=0.6M_\odot$ olarak alınmıştır (Schreiber & Gansicke, 2003).

Şekil 1.1’de düzeltilmiş manyetik frenleme uzun dönemlerde klasik manyetik frenleme ile aynı etkiyi gösterirken, kısa dönemlere doğru çekimsel ışıma ile açısal momentum kaybından yalnızca bir kaç kat büyüktür.

Manyetik frenleme, yörünge dönemi $\geq 2 sa$ üzerindeki sistemler için çekimsel ışımadan daha baskındır. Ancak manyetik frenleme üzerindeki belirsizlikler nedeniyle bu sürecin katkısı üzerindeki belirsizlikler de büyüktür (Pinsonneault et al., 2002). Bu durum gözönüne alındığında Warner (1995) tarafından verilen t_{sd} zamanı,

$$t_{sd} \approx \frac{8.26 \times 10^6}{(1+q)^{1/3} q^{2/3} M_2^{2/15} [k_2^2 / 0.1]} \times \left[\left(\frac{P_i}{P_f} \right)^{10/3} - 1 \right] \text{ y} \quad (1.11)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada k_2 , ikinci bileşenin gyration yarıçapıdır. Bu eşitlik kullanılarak V471 Tau’nun $t_{sd} \sim 3 \times 10^7$ yıl sonra $P_{orb} = 6.9 sa$ dönemli bir CV olacağını hesaplamıştır. Buna ek olarak V471 Tau’nun tutulma zamanlarından elde edilen O-C değişimleri, $\sim 10^7$ yıllık bir zaman ölçeğinde yörünge döneminin azaldığını göstermektedir. Ancak bir çok sistem için belirlenen yarı-ayrık duruma ulaşma zamanı t_{sd} , Hubble zamanından daha büyük elde edilmektedir (Warner,

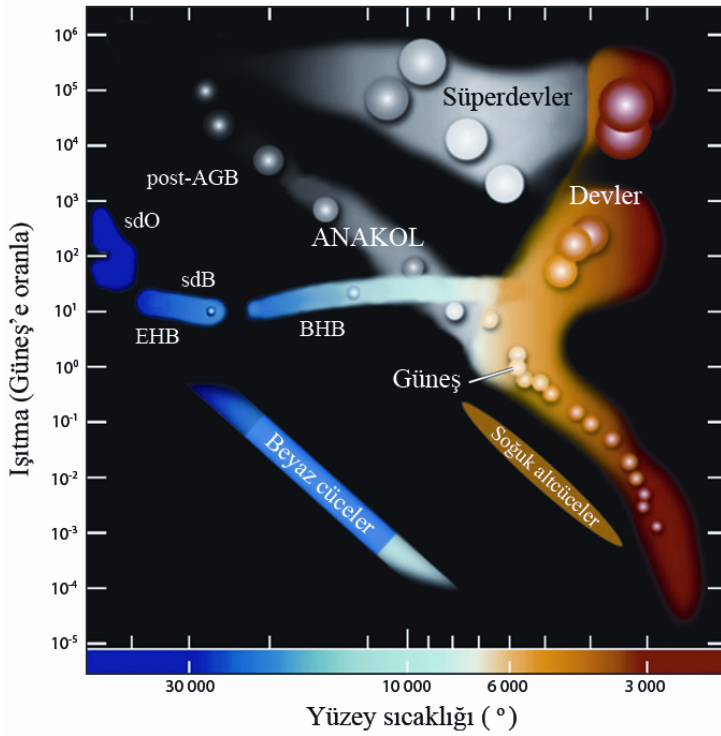
1995). Bu durum günümüzdeki CV'lerin, PCEB yıldızları gibi ayrık bir evreden mi geçerek evrimleştiği yoksa ortak zarf evresi sürecinde doğrudan yarı-ayrık duruma mı evrimleştiği sorularını gündeme getirmektedir. Ancak genel duruma bakıldığında bileşen yıldızın nükleer zaman ölçeğine ve açısal momentum kaybının zaman ölçeğine bağlı olarak PCEB yıldızlarının evrimi farklı yollar izleyebilmektedir. Düşük kütleli bir anakol bileşenine sahip PCEB yıldızları için nükleer zaman ölçeği uzun olacaktır. Manyetik frenleme mekanizması ile açısal momentumun kaybı için ortalama zamanın $\sim 10^8$ yıl olduğu düşünülürse, bu sürenin sonunda çiftin yörüngesindeki küçülme ikinci bileşenin Roche lobunu doldurmasına ve düşük kütleli yıldızdan beyaz cüceye ikinci bir kütle aktarımına yol açar. Eğer kütle aktarımı ısısal ve dinamik olarak kararlı ise bir kataklizmik değişim oluşur. Bu sistemler yakın bir çift sistemin bir CE evresi geçirdikten sonra, ayrık durumda CE evresi sürecinde açısal momentum kaybı ile oluşur. Eğer kütle aktarımı dinamik olarak kararlı ama ısısal olarak kararsız ise sistem süper-yumuşak bir X-ışın kaynağı olarak görünür ve beyaz cüce üzerinde yeterli miktarda kütle birikimi sonucunda bir süpernova gerçekleşebilir. Eğer aktarım her iki yönden kararsız ise sistem ikinci bir CE evresine girebilir ve bu süreç iki yıldızın birleşmesi ile sonuçlanabilir. İkinci bileşenin kütlesi, beyaz cücenin kütlesinden fazla olması durumunda kütle aktarımı ikinci bileşenin nükleer evrimi sonucunda başlar. Yani kütle aktarımından önce bileşen yıldız kırmızı devler bölgesine evrimleşir. Böylece genişleyen yarıçap Roche lobunu doldurur ve bu durumda kütleli olan ikinci bileşenden beyaz cüceye dinamik ve ısısal olarak kararsız kütle aktarımı gerçekleşir. İkinci bir CE evresi başlar ve bu sürecin sonunda çok kısa dönemli iki beyaz cüceden oluşan WD+WD (DD türü) yıldızlar oluşur (Mansergas, 2008).

1.2 PCEB Yıldızlarının Bileşenleri

1.2.1 sdB Yıldızları

Sıcak altcücüler, hidrojen yakan anakol yıldızlarının (HR diyagramındaki F tayf türünden K tayf türüne kadar olan tipik altcücüler) solunda yer almaktadırlar (bkz. Şekil 1.2). Sıcak altcüce B ya da O yıldızları tipik altcüce yıldızlarla benzerlik göstermesine rağmen HR diyagramında anakol ile beyaz cücüler arasında yer alan ve anakolun ötesine evrimleşmiş yıldızlardır. Birçok araştırmacı bu tür yıldızların özelliklerinin belirlenmesi ve sınıflandırılması üzerine çalışma

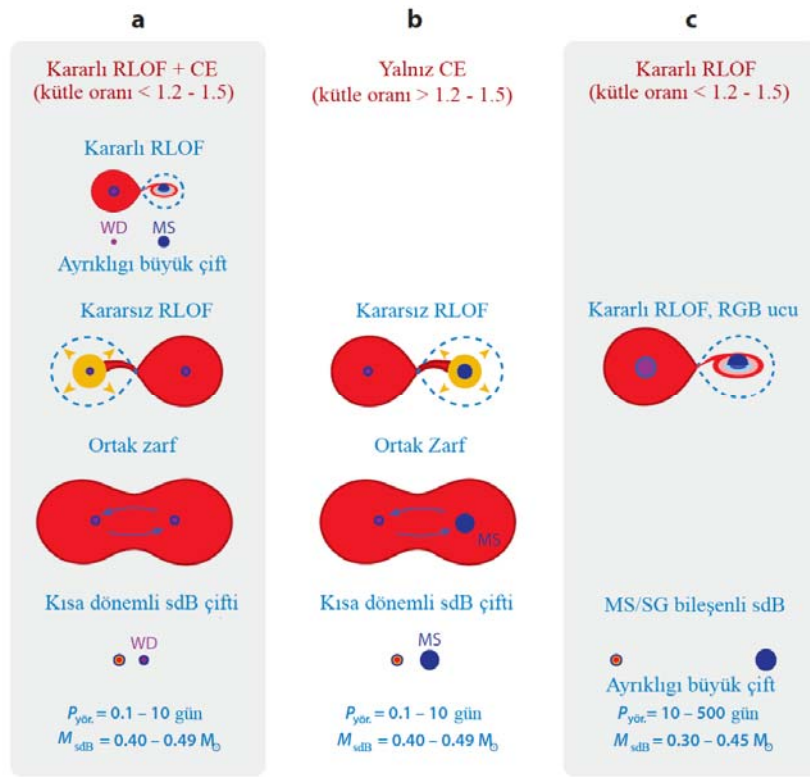
yapmaktadır. Diğer sıcak yıldızlardan farklı oldukları belirlenen bu yıldızlar “uç mavi yatay-kol yıldızları (Extreme Horizontal Branch, EHB)” ya da “sıcak altcüce yıldızlar (Hot Subdwarf)” olarak bilinirler. Bu yıldızların kütlelerinin $0.4 - 0.8 M_{\odot}$ aralığında ve yarıçaplarının da $0.1 R_{\odot}$ civarında olduğu tahmin edilmektedir. B türü altcüceler (sdB) yatay kolun mavi ucunda yer alan merkezinde helyum yakan, O türleri (sdO) de kırmızı dev kolundan sonraki yatay-kol sonrası (post-HB) zengin karışım içeriğini temsil eden asimtotik dev kolu sonrası yıldızlarıdır. sdB yıldızları uç yatay kol yıldız modelleri ile tanımlanabilmektedirler (Heber, 1986). Tüm yatay-kol (HB) yıldızları gibi merkezinde helyum yakan yıldızlardır. Ancak hidrojen zarflarının daha ince olması nedeniyle ($0.02 M_{\odot}$) iç yapıları tipik HB yıldızlarından farklıdır. Sonuç olarak EHB yıldızları doğrudan beyaz cüce soğuma koluna evrimleşirler ve böylece ikinci bir kırmızı dev evresi geçirmezler (Heber, 2009).



Şekil 1.2: HR diyagramında sıcak altcücelerin konumu. sdB, sdO yıldızları ve uzamış yatay kol (EHB) diyagramın solunda anakolun sonundaki sıcak bölgede, beyaz cücelerin üstünde yer almaktadır. EHB mavi yatay koldan (BHB) ayrı olarak gösterilmektedir. Asimtotik dev kolu sonrasına (post-AGB) evrimleşmiş yıldızlar da karşılaştırma amacıyla şekilde yer almaktadır (Heber, 2009).

sdB yıldızlarının yaklaşık olarak yarısının, bileşenleri beyaz cüce ya da düşük kütleli anakol yıldızı olan bir yakın çift sistemin üyesi olduğu belirlenmiştir (Maxted et al., 2001a; Saffer et al., 2001). sdB yıldızları içindeki kısa dönemli ($P = 2 - 10 dk$) çok modlu zonklayanlar (Odonoghue et al., 1999), sismoloji kullanılarak iç yapılarının çalışılabilmesine olanak sağlamıştır. Brassard et al.

(2001) astrosismoloji ile bir zonklayan sdB yıldızı olan PG 0014+067'nin kütlesi ile hidrojen zarf kütlesini elde edebilmiştir. Bu yolla elde edilen sonuçların (toplam kütle $M = 0.49 \pm 0.019 M_{\odot}$ ve zarf kütlesi $\log(M_{\text{env}}/ M_{\odot}) = -4.3 \pm 0.22$) evrim teorilerinin öngörülleri ile de oldukça uyumlu olduğu bulunmuştur. Bu tür sistemlerde kütle aktarımı sistemin evriminde çok önemli rol oynamaktadır. sdB çiftleri üzerine ayrıntılı çalışmalar, özellikle de örten çiftler, bileşenlerin kütlelerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu tür yıldızlar, sönük mavi yıldızların araştırılması sırasında daha parlak oldukları belirlenen, eliptik gökadalar ve bazı küresel kümeler gibi yaşlı yıldız topluluklarında başlıca moröte ışık kaynaklarıdır.



Şekil 1.3: Yakın çiftlerdeki sdB yıldızlarının oluşumuna ilişkin senaryolar (Podsiadlowski et al., 2008). Sistemin evrimi yukarıdan aşağıya doğru gösterilmektedir. (a) küçük başlangıç kütle oranları için ($q=1.2-1.5$), kütle aktarımının iki evresi de gerçekleşir. İlk Roche lobu taşıma kararlıdır, ikincisi ise kararsızdır ki bu da ortak zarfın atılmasına yol açar. Sonuçta kısa yörünge dönemli bir beyaz cüce ve bir sdB yıldızından oluşan bir sistem oluşur. (b) başlangıç kütle oranı 1.2-1.5'den büyükse ilk kütle aktarım evresi kararsızdır, ortak zarf atılır ve bir sdB yıldızı ile yozlaşmamış bir bileşen (çoğu zaman bir anakol yıldızı) ortaya çıkar. (c) küçük başlangıç kütle oranları için ilk kararlı Roche lobu taşıma, büyük yörüngelerde uzun dönemli bir sdB yıldızı ve yozlaşmamış bir bileşene sahip (bir anakol yıldızı ya da alt dev (subgiant, SG) çiftler oluşur (Heber, 2009).

Bu yıldızların evrim senaryolarındaki temel sorun çok büyük miktarlardaki kütlelerin, merkezde He yakmaya başlamadan önce ya da başladığı anda kaybedilmiş olmasıdır. Evrimsel hesaplamalar kırmızı dev kolunda (RGB) büyük miktarlarda kütlelerin kaybedildiğini varsaymakta ancak bu durum fiziksel

mekanizmayı açıklamakta yetersiz kalmaktadır. RGB sonrası evrimde gecikmiş, merkezde He-parlamalarının (He core-flashes) meydana gelmesinin keşfedilmesi özellikle sdO yıldızlarının oluşmasında kabul edilebilir bir yaklaşım olarak benimsenmiştir. Kütle aktarımı ile çift sistemlerdeki evrim ve ortak zarfın atımı sdB yıldızları açısından çok önemlidir. İki He beyaz cücesinin birleşmesi, tek sıcak altcücelerin kökeninin açıklanması için kullanılan önerilerden biridir.

Han et al. (2003) tarafından çiftler üzerine yapılan populasyon çalışmalarında yakın çift sistemlerdeki sdB yıldızlarının oluşumu ile ilgili üç yol tanımlamıştır: (a) bir ya da iki ortak zarf evrimi evresi (b) kararlı Roche lobu taşması (c) iki He çekirdekli beyaz cücenin birleşmesi.

1. CE kanalı ile evrim senaryosunda (bkz. Şekil 1.3), sdB yıldızının atası RGB'nin ucuna yakın Roche lobunu dolduran bir dev yıldızdır ve bu da dinamik kütle aktarımını tetikler. Bu durum genellikle kütle veren yıldızın ikinci bileşene (kütle alan yıldız) kütle oranının, ~ 1.2 'den büyük olduğu durumda gerçekleşir; aksi durumda kütle aktarımı karardır. İkinci bileşen aktarılan tüm kütleyi toplayamadığı için sonunda kendi Roche lobunu doldurur. Böylece her iki bileşeni saran ortak bir zarf oluşur. Zarf içindeki sürtünmeden dolayı zarfın atılmasına yetecek yörünge enerjisi sağlanana kadar iki bileşen birbirine yaklaşır ve geriye dönemi 0.1 -10 gün aralığında olan daha yakın bir çift kalır. Bu sistem daha sonra sdB yıldızı olacak olan bir dev yıldızın çekirdeğini ve bir anakol yıldızını içermektedir. Anakol bileşeni daha sonra RGB aşamasına ulaştığında bir başka CE evresi oluşabilir ve bir beyaz cüce ile bir sdB yıldızı içeren yakın bir çift sisteme evrimleşebilir. Ancak CE evriminin ayrıntılı fiziksel altyapısı ile ilgili hala sorunlar vardır. İki farklı CE yaklaşımı yer almaktadır (Hu et al., 2007): a-) α -teorisi enerji eşitliğine dayanır (açısal momentumun korunduğunu varsayar), b-) γ -teorisi açısal momentum eşitliğine dayanır (enerjinin korunduğunu varsayar).
2. Eğer kütle aktarımı dinamik olarak kararlı ise CE oluşmaz. Bileşen yıldız Roche lobunu dolduran kırmızı dev yıldızdan gelen maddeyi toplar ve kütle aktarımı bittiğinde bir sdB yıldızı olur. Bu durum uzun dönemli (10-500 gün) bir anakol bileşene sahip sdB yıldızı içeren çift sistemlerin oluşumuna yol açar.

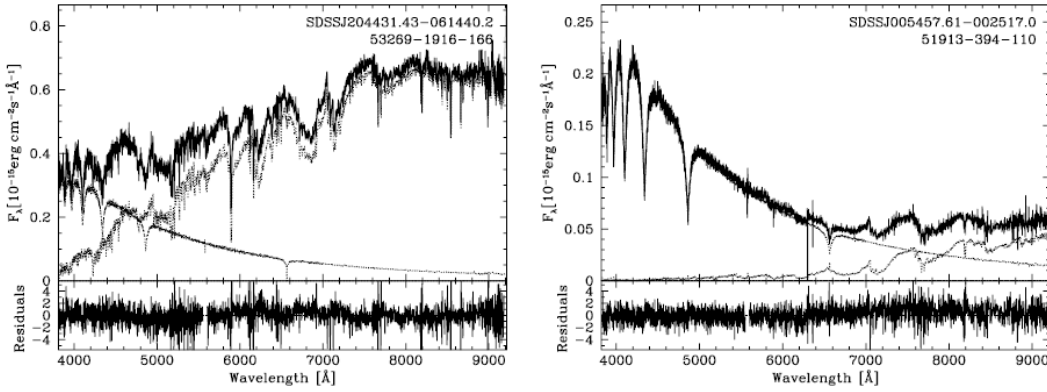
3. WD birleşmeleri tek sdB yıldız populasyonlarının oluşumunu açıklayabilir. Kısa dönemli beyaz cüce çiftleri çekimsel dalgalarla yörünge enerjilerini kaybedecektir. Bileşenler arası uzaklığın azalmasıyla daha az kütleli olan yıldız sonunda parçalanır ve bileşeni üzerinde toplanarak He tutuşmasına yol açar. Saio & Jeffery (2000), bu birleşmenin işlenmiş CNO maddesi bakımından zengin bir atmosfere sahip He yakan bir altcüce oluşturacağını önermektedir. Bu senaryo atmosferlerinde kuvvetli N çizgileri gösteren Helyumca zengin sdO yıldızlarını da açıklayabilir.

1.2.2 Beyaz Cüceler

Güneş benzeri yıldızlar, evrimlerinin sonuna doğru merkezlerindeki nükleer yakıtlar tükendiğinde ağır elementlerle dolu merkez bölgenin kendi kütle çekimi altında çökmesi ve dıştaki hidrojen katmanlarını uzaya fırlatmasıyla bir beyaz cüceye (WD) dönüşürler. Ortak zarf sonrası yıldızların bir sonraki evrim adımını oluşturan kataklizmik değişenlerdeki beyaz cücelerinin sıcaklıklarının 11000 K'den büyük olduğu belirlenmiştir (Gansicke, 2000). Elektromanyetik tayfta beyaz cücenin ışınımı UV dalgalılarına doğru hızlı bir şekilde artar ve bu bölgede daha belirgin hale gelir (bkz. Şekil 1.4). Beyaz cücenin tayfı atmosferinden kaynaklanan geniş soğurma çizgilerine sahiptir. Bu etki basınç genişlemesi olarak da bilinir. Beyaz cücenin yüksek yoğunluk ve yüzey çekim ivmesi, atomların komşuluğundaki diğer atomları sürekli tedirgin eder ki bu da elektronun yörünge enerjisindeki belirsizlikleri artırır. Fotonlar geniş bir dalga boyu aralığındaki atomlarla etkileşebildiğinden soğurma çizgileri de geniş olur. Beyaz cücelerinin sınıflamasında optik tayflarına ek olarak yapısı için önemli diğer parametreler de gözönüne alınmaktadır (Sion et al., 1983). Buna göre dış katmanları saf Hidrojenden oluşan ve optik tayflarında genellikle HI'in Balmer çizgilerini gösterenler *DA* türü, helyumca zengin fotosferlerinde karbon, oksijen ve diğer metaller görünen beyaz cücelere *DO* türü, saf Helyum atmosfere sahip olanlar ($12\ 000\ K < T_e < 30\ 000\ K$) *DB* türü ve tayflarında zayıf C çizgileri gösteren çok daha soğuk beyaz cüceler de *DC* türü olarak sınıflandırılmaktadır.

Son on yıl içerisinde SDSS gibi pek çok gökyüzü taraması ile ~1300 yeni beyaz cüce ve düşük kütleli anakol bileşeninden oluşan (WD+MS) etkileşmeyen çift sistem keşfedilmiştir (Silvestri et al., 2006; Rebassa-Mansergas et al., 2007).

DA türü beyaz cüce ve geri tür bileşenlerden oluşmuş çiftlerin %25'nin yakın çift sistem olduğu düşünülmektedir (Vennes & Thorstensen, 1994). Bir beyaz cüce – kırmızı cüce çifti, ortak bir zarfa sahip olacak kadar yakınsa, bileşenler arası kütle aktarımı gerçekleşir. Beyaz cüce atası, asimtotik dev kolu (AGB) evresi sürecinde Rohce lobunu doldurarak kırmızı cüce bileşene kütle aktarmaya başlar. PCEB türü sistemlerde He, C/O ya da O/Ne/Mg çekirdekli bir beyaz cücenin oluşumu kütle aktarımının ne zaman başladığı ile ilişkilidir (Iben & Livio, 1993; Williams & Kolb, 2004). Başlangıçtaki anakol çiftinde daha büyük kütleli olan yıldız helyumunu karbona dönüştürürken kütle aktarımı başlarsa beyaz cüce bir helyum çekirdek içerir ($M_{wd} \leq 0.50 M_{\odot}$). Eğer kütle aktarımı başladığında önemli miktarda He C/O'ya dönüşmüşse, C/O çekirdekli bir beyaz cüce olacaktır ($0.50 \leq M_{wd} \leq 1.10 M_{\odot}$). Benzer şekilde önemli miktarda He, Ne/Mg'a dönüşmüşse O/Ne/Mg çekirdekli bir beyaz cüce oluşur ($1.10 \leq M_{wd} \leq 1.38 M_{\odot}$). Sonuçta kırmızı cüce AGB yıldızının büyüyen zarfıyla kuşatılacak kadar yakınsa, kırmızı cüce zarftaki sürüklenme sonucunda diğer bileşene yaklaşır ve birkaç Güneş yarıçapında ayrıklığa sahip kısa dönemli WD+MS çiftleri oluşabilir (Schultz et al., 1996).



Şekil 1.4: Bir beyaz cüce ve M cücesinden oluşan çift sistemlere ilişkin SDSS tayfları. Soldaki şekil tayfta M cücesinin baskın olduğu, sağdaki şekil ise beyaz cücenin baskın olduğu birleşik tayfları ve bileşenlerin analiz sonrası elde edilmiş sentetik tayflarını göstermektedir. Altta şekiller bileşen tayfları çıkarıldıktan sonra geriye kalan artıkları temsil etmektedir (Rebassa-Mansergas et al., 2007).

1.2.3 Geri Tayf Türünden Cüce Yıldızlar

Ortak zarf sonrası yıldızlarda yer alan ikinci bileşenlerin büyük bir çoğunluğu geri tayf türünden (K ve M) soğuk yıldızlardır. Bu nedenle de akıları kırmızı/kızılöte dalgaboylarına doğru artmaktadır (bkz. Şekil 1.4). Bu yıldızların

görülen düşük etkin sıcaklıklarında moleküller oluşabildiğinden, tayflarında görülen birçok yapı da moleküler bantlardan oluşmaktadır. Kuvvetli metal çizgileri, titanyum, M9 tayf türüne doğru TiO molekül bandları ve kalsiyum (Ca I ve Ca II) çizgilerinden oluşan soğurma çizgileri görülmektedir. Çift yıldızlarda ortak zarf (CE) evrimi ve bunun ikinci bileşen üzerindeki etkisi hala tam olarak anlaşılammış evrelerden biridir.

Ortak zarf sonrası yıldızlar üzerine yapılan bir çok gözlemsel çalışma, sistemin geri tayf türünden ikinci bileşenin aynı kütleli yıldızlara göre büyük yarıçaplı olabileceğini göstermektedir (Bruch 1999; Bruch ve Diaz, 1999; Wood et al., 1999; Vennes et al.,1999; O'Brien et al., 2001). Literatürde bu durum ikinci bileşenin ortak zarf evriminde kütle aktarımından dolayı ısıl dengeden ayrılması ile ya da ikinci bileşen yıldızın aktif olması ile ilişkilendirilmektedir. PCEB yıldızlarının keşfedilmesinde de büyük rolü olan ve ışık eğrilerinde belirgin şekilde görülen yansıma etkisi, ikinci bileşenin genellikle çok sıcak olan beyaz cüce yada sdB yıldızı olan baş bileşene bakan yüzünün ısıtıldığını göstermektedir (Schreiber & Gansicke, 2003). Bu durum ikinci bileşenin etkin sıcaklığının kesin bir şekilde belirlenmemesine neden olmaktadır. Ayrıca bazı kısa dönemli ortak zarf sonrası sistemlerde baş bileşenin çekim etkisi nedeniyle, ikinci bileşenin biçiminin bozulduğu ve elipsoidal değişimler gösterdiği belirlenmiştir.

2. SEÇİLEN BAZI PCEB YILDIZLARININ IŞIKÖLÇÜM GÖZLEMLERİ VE ANALİZİ

2.1. Işıkölçüm Gözlemleri

Ritter & Kolb (2010) “Kataklismik değişenler ve ilişkili cisimler” kataloğunda yer alan PCEB yıldızlarından tutulma gösterdiği belirlenen sistemler arasından üç sistem seçilmiştir (NY Vir, IQ Cam ve HS 0705+6700).

Bu çalışmada NY Vir dizgesinin V renginde, IQ Cam ve HS 0705+6700 dizgesinin R renginde elde edilmiş ışık eğrileri incelenecektir. Bu tez kapsamında gözlemi yapılan yıldızlara ilişkin temel bilgiler Tablo 2.1’de yer almaktadır. NY Vir ve HS 0705+6700 dizgeleri benzer ışık eğrilerine sahiptir, baş minimum oldukça derin olmakla birlikte yansıma etkisi oldukça kuvvetlidir. Farklı olarak IQ Cam dizgesinde tutulma derinlikleri birbirine yakındır ve yansıma etkisi görülememektedir. NY Vir dizgesine ilişkin gözlemler Ege Üniversitesi Gözlemevi’de (EUO) 40 cm’lik T40 teleskobu ve buna bağlı CCD düzeneği ile (Apogee Alta U47, 2048×2048 piksel, 1×1 binning) 60 s poz süresi verilerek gözlenmiştir. IQ Cam ve HS 0705+6700 dizgeleri ise TUG’da 100 cm çaplı teleskop ile odağına yerleştirilmiş olan 4096 × 4037 piksel boyutlu 21’.5 × 21’.5’lık bir alan gören 0.32’’/piksel ölçekli CCD kamerası kullanılarak ~ 40-30s poz süresi ile gözlenmiştir.

Tablo 2.1: Program kapsamında gözlemi yapılan yıldızlara ilişkin temel bilgiler.

Yıldız	P_{orb} (sa)	Türü	Parlaklık (mag ^a)	Gözlem Tarihi	Teleskop (süzgeç)	T_{poz} (s)	N^b	T^c (sa)	σ^d (mag)
NY Vir	2.43	sdB + M	13.45	28/04/2009	EUO (V)	60	71	1.45	0.02
				15/05/2009	(V)	60	130	3.15	0.01
				27/05/2009	(V)	60	110	2.38	0.004
				20/06/2011	(V)	60	149	3.18	0.02
				21/06/2011	(V)	60	126	3.10	0.02
IQ Cam	2.16	sdB + wd	14.48	31/10/2010	TUG (R)	40	99	9.28	0.006
				01/11/2010	(R)	40	621	9.62	0.004
				07/12/2010	(R)	40	216	2.90	0.005
HS0705 +6700	2.30	sdB + M	14.70	07/12/2010	TUG (R)	30	686	8.17	0.005
				08/12/2010	(R)	30	504	7.49	0.006

^a Johson V rengi (HS 0705+6700 için R rengi).

^b Gözlem nokta sayısı

^c Toplam gözlem zamanı

^d Parlaklıktaki standart sapma

2.2. Gözlenen PCEB Türü Yıldızlar

2.2.1. NY Vir (PG 1336-018)

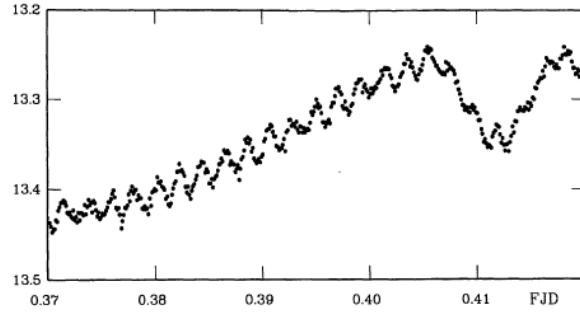
PG 1336-018 ($V = 13.45 \pm 0.09$) yıldızı ilk olarak Palomar Green gökyüzü taraması sırasında keşfedildi (Green et al., 1986) ve sıcak alt cüce B yıldızı olarak sınıflandırıldı. Kilkenny et al. (1998) bu yıldızın derin tutulmalar dışında güçlü yansıma etkileri gösteren sdB ve cüce M bileşeninden oluşan HW Vir türü yakın bir çift sistem olduğunu belirlemiştir. sdB yıldızı içeren çiftler içerisinde tutulma gösterdiği belirlenen az sayıda sistem yer almaktadır: (BD-07° 3477 (Menzies & Marang, 1986), HS 0705+6700 (Drechsel et al., 2001), NY Vir (=PG 1336-018, Vuckovic et al., 2007), NSVS 14256825 (Wils et al., 2007), BUL-SC16 335 (Polubek et al., 2007), HW Vir (=PG 1241-084, Lee et al., 2009), HS 2231+2441 (Ostensen et al., 2007), 2M 1533+3759 (For et al., 2010). HW Vir bu sınıfa adını veren dizgedir. NY Vir dizgesi bu sınıf içerisindeki diğer yıldızlardan farklı olarak EC 14026 türü zonklayan yıldızlara benzer şekilde hızlı salımlara (96-205 s) sahip kısa dönemli zonklayan bir yıldızdır (Kilkenny et al., 1998) (bkz. Şekil 2.1). Günümüzde bu türden tesbit edilen ~ 40 yıldızın gözlemlerlerine göre EC 14026 türü zonklayanların ~ 35000 K yüzey sıcaklığına ve en az iki salınım frekansına sahip olduğu belirlenmiştir. Gözlenen zonklamalar, demir elementinin sorumlu olduğu κ -mekanizması ile sürdürülen düşük-mertebeli akustik dalgalardır. Aslında bu özelliği hem asterosismik hem de yörünge modellemesi ile birbirinden bağımsız olarak sistemin bileşenlerine ait parametrelerin doğru bir şekilde belirlenmesine ve karşılaştırılmasına olanak vermektedir. Tutulma gösteren bu sistemlerin hepsi de kısa yörünge dönemi ve kuvvetli yansıma etkisi göstermektedir. Kilkenny et al. (1998), baş bileşenin kütlelerini bir sdB yıldızı için ortalama değer olan $0.5 M_{\odot}$ olduğunu varsayarak, ikinci bileşenin orta-M tayf türlerinde $\sim 0.15 M_{\odot}$ kütlede olması gerektiğini önermiştir.

Tek çizgili bir tayfsal çift olan NY Vir'in tayfsal verilerinden elde edilen dikine hız değişiminin yarı-genliği $K_1 = 78 \pm 3 \text{ km s}^{-1}$ ve kütle fonksiyonu $f(M) = 0.0051 \pm 0.0001 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir (Vuckovic et al., 2007). Kilkenny et al. (1998) aynı zamanda IUE uydu verisi arşivlerinden moröte bölgedeki (1150-5500 Å aralığında) spektrofotometrik gözlem verilerini analiz ederek kızıllaşma miktarını $E(B-V) = 0.05$ olarak belirlemiş ve bu değeri kullanılarak sdB yıldızı için $T_{\text{eff}} = 33000 \pm 300 \text{ K}$, $\log g = 6$ ve sistemin uzaklığını $710 \pm 50 \text{ pc}$ olarak vermiştir.

Vuckovic et al. (2007) tarafından yapılan ışıkölçüm gözlemlerinde de çiftin ışık eğrisi ile uyumlu üç modelin çözümünden baş bileşen sdB yıldızı için $M \approx 0.389$, 0.466 ve $0.530 M_{\odot}$ olmak üzere üç farklı kütle belirlenmiştir. Bu değerler geniş bir kütle aralığındaki ($0.3-0.8M_{\odot}$) baş bileşen kütlesi için yozlaşmamış durumda helyumu tutuşturmak için kabul edilebilir değerlerdir. NY Vir için Charpinet et al. (2008)'ın yüksek çözünürlüklü tayfsal verilerden elde ettiği parametreler, Kilkenny et al. (1998) çalışması ile uyumlu bir şekilde sdB yıldızı için $T_{\text{eff}} = 32780 \pm 200 K$, $\log g = 5.76 \pm 0.03$ olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada asterosismolojik verilerin analizinden sdB yıldızı için $T_{\text{eff}} = 32740 \pm 400 K$, $\log g = 5.739 \pm 0.002$, $M = 0.459 \pm 0.005 M_{\odot}$ ve $R = 0.151 \pm 0.001 R_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. NY Vir dizgesinin yörünge dönemindeki değişim Kilkenny (2011) tarafından incelenmiş ve dönem başına -11.2×10^{-13} günlük azalma olduğu belirlenmiştir.

NY Vir yıldızının literatürdeki ışık ögeleri (T_0 , Kilkenny et al., 2000; P, Vuckovic et al., 2007) aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\text{Min } I_{(JDH)} = 2450223.36134(\pm 1) + 0^g.101015999(\pm 2) \times E \quad (2.1)$$



Şekil 2.1: NY Vir dizgesinin ışık eğrisinde ikinci minimum boyunca zonklamanın etkisi. Düşey eksen süzgeçsiz olarak elde edilen parlaklığı, yatay eksen ise kesirsel Julian gününü temsil etmektedir (HJD 2450223) (Kilkenny et al., 1998).

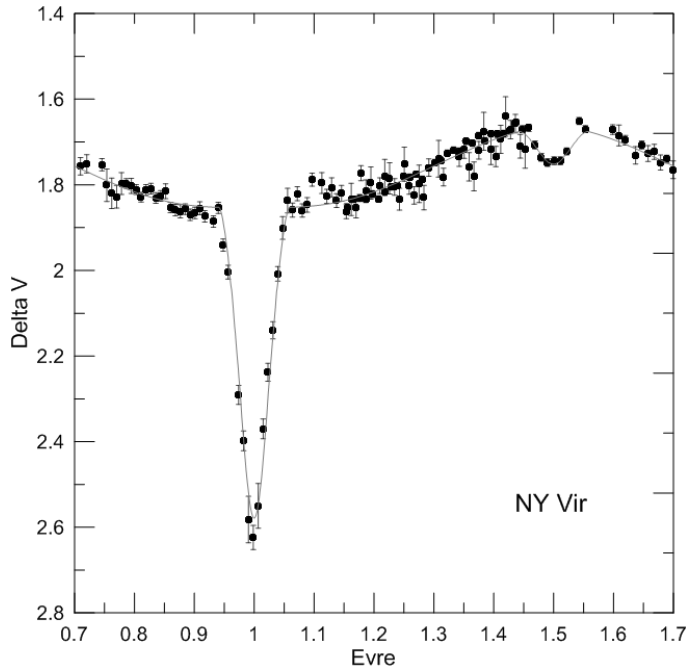
2.2.1.1. NY Vir Sisteminin Gözlemleri ve Verilerin Analizi

NY Vir sisteminin gözlemleri EUO'da 40 cm'lik T40 teleskobu ile V renginde 60 s poz süresi ile gözlenmiştir. Gözleme ilişkin ayrıntılı bilgi Tablo 2.1'de yer almaktadır. Sistemin parlaklığı, baş minimum sırasında ~ 0.8 kadir azalmaktadır.

Gözlem verilerinin indirgemesinde IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) görüntü indirgeme ve analiz program paketinin bir alt programı olan APPHOT ışıkölçüm paketi kullanılmıştır. Diferansiyel parlaklıklar CCD üzerindeki yakın mukayese yıldızlarına göre elde edilmiştir. NY Vir ile birlikte alanda dört yıldızın daha aletsel parlaklığı ölçülmüştür ve mukayese yıldızı olarak alan yıldızlarından ikisi seçilmiştir. Gözlenen yıldızlara ilişkin SIMBAD veri tabanından alınmış bazı parametreler Tablo 2.2’de verilmektedir. Gözlem gecesine ilişkin mukayese yıldızlarının parlaklık farkı Şekil 2.3’de gösterilmektedir. Mukayese yıldızının parlaklığında bir değişim olup olmadığı denet yıldızının gözlemleri kullanılarak kontrol edilmiş ve mukayese yıldızının parlaklığının değişmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmadaki temel amacımız gözlenecek yıldızların görel parlaklıklarını elde etmek olduğu için gözlem süresince ışıkölçüm standart yıldızları gözlenmemiştir. Şekil 2.2’de sistemin V renginde elde edilen ışık eğrisi gösterilmektedir.

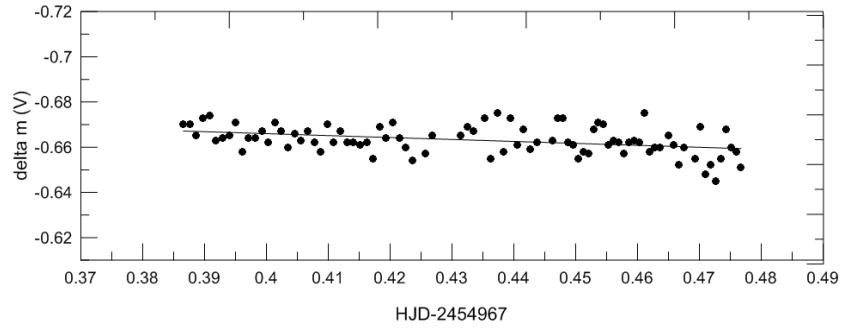
Tablo 2.2: Gözlenen yıldızlara ilişkin temel bilgiler.

Yıldız	İsim	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ' ")	V (mag)
NY Vir	GSC 04966 00491	13 38 48.15	-02 01 49.10	13.3
Mukayese	GSC 04966 00469	13 38 25.01	-02 04 15.26	12.3
Denet	GSC 04966 00559	13 38 02.32	-02 05 41.78	12.1



Şekil 2.2: NY Vir dizgesinin 15 Mayıs 2009 tarihinde V renginde elde edilen ışık eğrisi ve Tablo 2.3’de verilen parametreler yardımıyla elde edilen kuramsal eğrinin uyumu.

Yörünge analizi Wilson-Devinney (WD) kodlarını temel alan PHOBE paket programı (Prsa & Zwitter, 2005) kullanılarak yapılmıştır. Programda ayırık çiftlere ilişkin modelin yer aldığı “Mod-2” kullanılmış ve her iki bileşene ilişkin yüzey potansiyelleri Ω_1 ve Ω_2 serbest parametreler olarak belirlenmiştir. Ayrıca üçüncü cisim ve lekenin olmadığı bir durum ile çözümler yapılmıştır. Sistem tek çizgili tayfsal çift olması nedeniyle tayftan kütle oranı belirlenemediği için Tablo 2.3’de verilen Vuckovic et al. (2007) çalışmalarında belirlenen kütle oranı q (M_2/M_1) ve tayftan belirledikleri baş bileşenin sıcaklığı T_1 değeri sabit parametre olarak alınmıştır. Vuckovic et al. (2007) çalışmalarını ESO’ya ait Paranal Gözlemevi’nde (Şili) yer alan iki eş ayna çapına (8.2 m) sahip VLT UT2 optik yolu ile buna bağlı olan UVES (Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph) tayfçeki ve VLT UT3 optik yolu ile buna bağlı ULTRACAM’i (yüksek hızlı, üç CCD’li kamera) kullanarak gerçekleştirmişlerdir ve gözlemleri yüksek bir duyarlılığa sahiptir.



Şekil 2.3: NY Vir’in gözlemlerde kullanılan mukayese yıldızlarının parlaklık farkının HJD’ye göre değişimi.

Analizlerde T_0 , P , baş bileşenin etkin sıcaklığı T_1 ve kenar kararma katsayısı x_1 , her iki bileşene ait çekim kararma katsayıları g_1 ve g_2 (baş bileşen için radyatif zarf yaklaşımıyla 1.0, yoldaş bileşen için de konvektif zarf yaklaşımıyla 0.32 değerleri kullanılmıştır) ve baş bileşene ait bolometrik albedo A_1 sabit parametreler olarak kullanılmıştır. sdB yıldızlarının kenar kararma katsayıları için literatürde bilgi yer almadığı için Tablo 2.3’de yer alan değer kabul edilmiştir. Yörünge basık olmadığı ($e = 0$) ve dönme dönemi ile dolanma döneminin senkronize olduğu varsayılmıştır.

Işık eğrisindeki kuvvetli zonklama etkisinin minimumlar dışındaki değişimin saçılmalı olarak elde edilmesine neden olduğu görülmektedir, bu durum aslında çözümü de etkilemektedir. Vuckovic et al. (2007) çalışmasında NY Vir dizgesinin gözlemlerinden dört zonklama frekansı belirlenmiş ve bunlar arasında en büyük genlik değeri olarak $\sim 0^m.01$ olarak verilmektedir. Ancak teleskobun zonklamaları belirleme de yetersiz olması nedeni ile ışık eğrisinden bu değişim çıkarılamamıştır. Çözümlere yoldaş bileşene ait etkin sıcaklık T_2 ’nin anlamlı son iterasyonuna kadar devam edilmiştir. Bu adımdaki sonuçlar Tablo 2.3’de verilmiş

ve Şekil 2.2'deki kuramsal eğri ile uyum gösteren çözüm kabul edilmiştir. Aslında bu tür dizgelerde yoldaş bileşenin sıcaklığının belirlenmesindeki problemler literatürde de yer almaktadır. NY Vir ile ilgili çalışmalarda yoldaş bileşenin sıcaklığının, $2700 K - 4000 K$ aralığında olan çözümlerinin ortalama bir değeri olan $3000 K$ 'de olası en iyi çözümü verdiği için sabitlendiği belirtilmiştir. Bunun en önemli sebebi baş bileşenin sıcaklığı ile ısıtılan yoldaş bileşenin baş bileşene dönük yarıküresi ile diğer yarıküresi arasındaki büyük sıcaklık farkıdır. Bu etki kendisini ışık eğrisinde yansıma etkisi olarak göstermektedir. Fourier serisinin (2.2 nolu eşitlik) katsayıları hesaplanarak bu etkinin belirlenmesi mümkündür. Işık eğrisinde tutulmalar dışı, sadece yansıma etkisinin kendisini gösterdiği maksimumlar, kullanılarak Fourier katsayıları hesaplanmıştır.

$$I = A_0 + A_1 \cos \theta + A_2 \cos 2\theta + B_1 \sin \theta + B_2 \sin 2\theta \quad (2.2)$$

Katsayılar Tablo 2.4'de verilmektedir. A_1 yansıma ve A_2 terimi de basıklık ve kısmen yansıma etkisine karşılık gelirken B_1 ve B_2 terimleri ise ışık eğrisindeki diğer tedirginliklere (kütle aktarımı, yıldız lekeleri gibi) karşılık gelmektedir. B katsayıları diğer katsayılarla karşılaştırıldığında küçüktür ve bunlar ışık eğrisini yansıma etkisi kadar etkilememektedir.

Tablo 2.3: NY Vir dizgesi için V süzgecinde elde edilen ışık eğrisinin çözüm sonuçları.

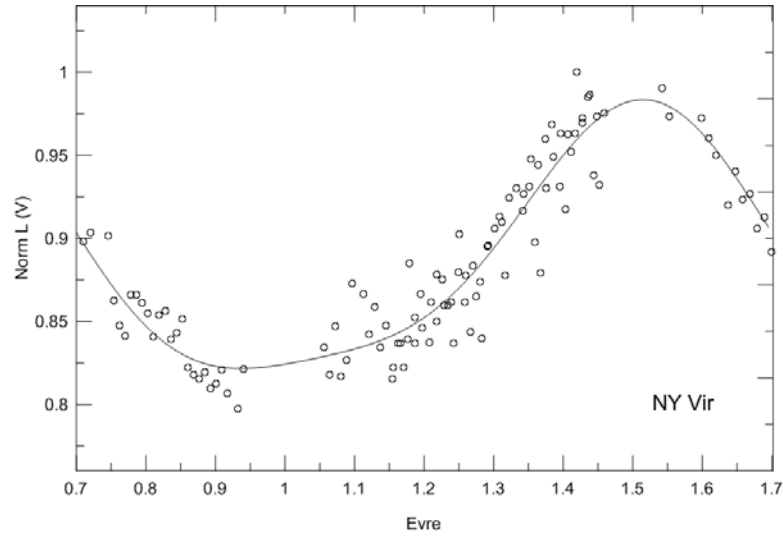
Sabit Parametreler (V)		Serbest Parametreler (V)			Serbest Parametreler (V)				
$T_1(K)$	31300	$i(^{\circ})$	79.61	±	0.53	r_1 (pole)	0.1875	±	0.0057
A_1	1.0	Ω_1	5.591	±	0.16	r_1 (point)	0.1889	±	0.0058
g_1	1.0	Ω_2	2.621	±	0.04	r_1 (side)	0.1883	±	0.0058
g_2	0.32	$T_2(K)$	3126	±	996	r_1 (back)	0.1887	±	0.0058
q	0.262	L_1	0.9996	±	0.011	r_2 (pole)	0.2059	±	0.0064
$x_{1,2}$	0.5	A_2	0.60	±	0.15	r_2 (point)	0.2274	±	0.0099
$a(R_{\odot})$	0.76					r_2 (side)	0.2104	±	0.0069
		$\Sigma(\text{res})^2$	0.044			r_2 (back)	0.2220	±	0.0086

Bu etkinin incelenmesi için ışık eğrisinden tutulma sırasında elde edilen veriler çıkartılmış ve geri kalan veri seti tekrar kuramsal eğri ile temsil edilmiştir (Şekil 2.4). Sonuçlar yoldaş bileşenin sıcak bir alt cüce olan baş bileşen tarafından ısıtılan yarıküresi ile arkada kalan diğer yarıküresi arasında ~ 0.2 kadırlık parlaklık farkının oluştuğunu göstermektedir. Bu, çözümlerde yoldaş bileşenin etkin sıcaklığının belirlenmesini zorlaştıran en kuvvetli etkidir.

Sonuç olarak ışık eğrisi analizi ile belirlenen yeni $i = 79^\circ.61$ değeri ile birlikte dizgenin Vuckovic et al. (2007) tarafından tek çizgili tayfsal değişiminden elde edilen kütle fonksiyonu $f(M) = 0.00508 M_\odot$ değeri kullanılarak ikinci bileşenin kütlesi hesaplanmıştır. Vuckovic et al. (2007)'in dikine hız eğrisi ile birlikte ışık eğrisi modellemesinden sdB bileşeni için belirlediği üç farklı kütle değerinin ortalaması olan $0.462 M_\odot$ değeri kullanıldığında ikinci bileşenin kütlesi $M_2 = 0.122 \pm 0.009 M_\odot$ olarak elde edilmektedir. Işık eğrisi çözümünde belirlenen kesirsel yarıçap değerleri kullanılarak bileşen yıldızların yarıçapları da $R_1 = 0.14 \pm 0.01 R_\odot$, $R_2 = 0.16 \pm 0.003 R_\odot$ olarak hesaplanmıştır. NY Vir dizgesinin ışık eğrisi çözümünden elde edilen bileşenlere ait salt parametrelerin, hata sınırları içerisinde Vuckovic et al. (2007)'un çalışması ile uyumlu olduğu görülmektedir

Tablo 2.4: NY Vir için normalize edilmiş Fourier katsayıları.

A_0	A_1	A_2	B_1	B_2
0.8874	-0.0793	0.0162	-0.0011	0.0062
± 0.0020	± 0.0030	± 0.0029	± 0.0023	± 0.0024



Şekil 2.4: NY Vir dizgesinin yansıma etkisini gösteren tutulma dışı ışık değişimi ve kuramsal eğri ile temsili.

2.2.1.2. NY Vir Sisteminin Yörünge Döneminin İncelenmesi

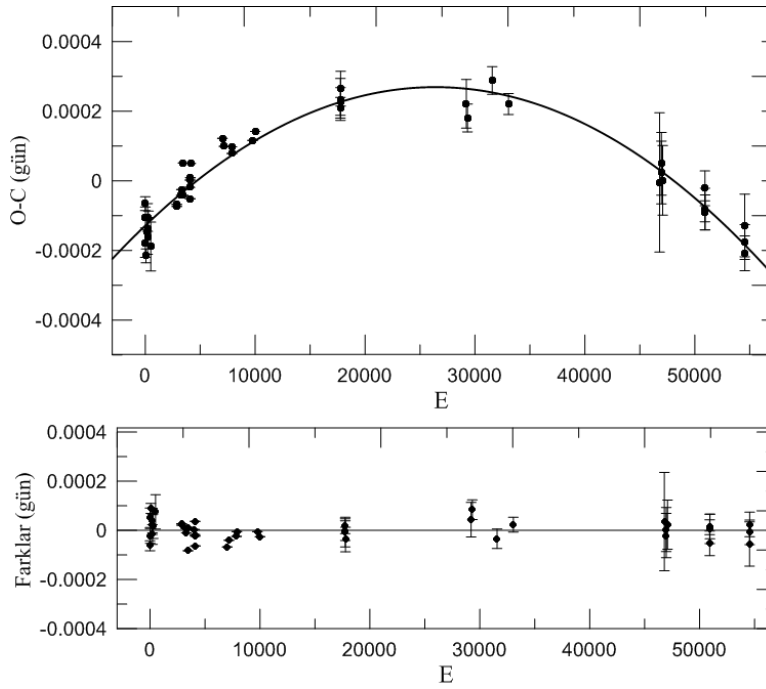
Gözlemler sonucunda elde edilen minimum zamanları literatürdeki minimum zamanları ile birlikte Ek 1'de verilmiştir. Tüm gözlem zamanlarına $dt = AX + BY$ terimi eklenerek, gözlem zamanları Güneş merkezine

indirgenmiştir. Burada A ve B, yıldız koordinatlarına bağlı sabitler; X ve Y ise Güneş'in gözlem gününe ilişkin koordinatlarıdır. Buna ek olarak yapılan (*O-C*) hesaplamalarında gözlemlere ilişkin zamanlar Barisentrik Julyen Zamanına (BJD) dönüştürülmüştür. Bu işlem için öncelikle almanaklardan her bir yıl için ayrı ayrı verilen düzeltme zamanları (ΔT), her bir minimum zamanına eklenmiş ($\Delta T = TT - UT$) ve TT (Terrestrial Time, Yer Merkezli Zaman) zamanı bulunmuştur. Elde edilen bu yeni zaman ile BJD zamanı arasındaki fark mikrosaniye mertebesinde ve 1980 – 2050 yılları için ± 30 mikrosaniye (ms) olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu ms mertebesindeki fark ihmal edilebilmekte ve TT zamanı BJD olarak kabul edilebilmektedir. (*O-C*) hesaplamalarında da bu BJD zamanı kullanılmış ve 1996 -2011 yılları arasındaki her bir gözlem verisine $61.63 s \leq \Delta T \leq 66.7 s$ eklenmiştir.

O-C(I) değerleri (2.1) eşitliğine göre hesaplanmış ve NY Vir dizgesinin döneminin sabit olmadığı görülmüştür. Sistemin literatürden elde edilen minimum zamanlarına parabol denklemi, diferansiyel düzeltmeli regresyon yöntemi kullanılarak fit edilmiştir. *O-C(I)* değişimini en iyi temsil eden parabol denklemi aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

$$Min(I) = -1^s.288 \times 10^{-4} + 3^s.0142 \times 10^{-8} E - 5^s.7115 \times 10^{-13} E^2 \quad (2.3)$$

(± 0.1) (± 0.137) (± 0.2578)



Şekil 2.5: NY Vir'in gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkın, çevrim sayısına göre değişimi (üstteki şekil). Sürekli çizgi ikinci dereceden fonksiyonu temsil etmektedir. *O-C (II)* artıkları alttaki şekilde gösterilmektedir.

Bu yöntem sonucunda bulunan parametreler ve yanılırları Tablo 2.5’de verilmiştir. Tablodaki ışık ögeleri kullanılarak hesaplanan $O-C(I)$ artıkları ile gözlem değerlerine fit edilen kuramsal eğri ve bu değerlerin kuramsal eğriden farkları olan $O-C(II)$ artıkları çevrim sayısına göre yine Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Bu değişim sistemin yörünge dönemindeki uzun dönemli bir azalma ile açıklanabilmektedir. 2.3 nolu eşitlikteki E^2 ’li terimin katsayısı, NY Vir çift sisteminin yörünge döneminin 1.13×10^{-11} s/s miktarında azaldığını göstermektedir. Bu miktar $dP/dt = -4.09 \times 10^{-8}$ gün/yıl değerine karşılık gelmektedir.

Tablo 2.5: NY Vir yıldızının $O-C$ analizi ile bulunan parametreleri.

T_0 (BJD)	2450223.36193 (1)
$P_{yör}$ (gün)	0.101016029 (1)
dP/dt (gün/yıl)	$-(4.09 \pm 0.05) \times 10^{-8}$
$\sum(O-C)^2$	0.00004

2.2.2. IQ Cam (KPD 0422+5421)

IQ Cam ilk olarak orta gökada enlemlerindeki mavi yıldızların Kitt Peak Downes gökyüzü taramasında belirlenmiş (Downes, 1986), sıcak ve hidrojen zengin bir altcüce B (sdB) yıldızı olarak sınıflandırılmıştır. IQ Cam’ın tayfsal ve fotometrik gözlemleri kullanılarak $P = 0.0901795$ gün (2.16 sa) döneme sahip bir örten çift yıldız olduğu ise Koen, Orosz & Wade (1998, kısaca KOW98) tarafından belirlenmiştir. sdB yıldızının diğer bileşeninin bir beyaz cüce olduğu düşünülmüş ve kütleler sırasıyla $M_{sdB} = 0.72 M_{\odot}$ ve $M_{wd} = 0.62 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. IQ Cam sistemi bir sdB yıldızı ve beyaz cüce bileşen içeren, yörünge dönemi en kısa olan ayırık çiftlerden biridir. Yakın bir çift sistemde evrimleşmiş bileşenlere sahip olan bu sistemin, merkezinde He yakan bir sdB yıldızının yaşam süresine göre, kısa bir zaman ölçeğinde yörünge açısal momentumunu çekimsel ışına yoluyla kaybederek birleşeceği önerilmektedir (Dorman, Rood & O’Connell, 1993). KOW98, IQ Cam dizgesinin ışık eğrilerindeki değişiminin ~ 0.02 kadir genlikli elipsoidal değişimden kaynaklandığını ve tutulma geometrisinin yüksek bir eğiklik açısı (78°) ile oluştuğunu belirlemiştir.

IQ Cam dizgesinin KOW98 tarafından yapılan tayfsal çalışmalarında sistemin tek çizgili bir tayfsal çift olduğu ve dikine hız değişiminden elde edilen dönemin ($P_{spec} = 0^s.0907$) fotometrik dönemin iki katı olduğu belirlenmiştir. Yine aynı çalışmada dikine hız değişiminin yarı genliği $K_{sdB} = 237 \text{ km s}^{-1}$

kullanılarak sistemin görünmeyen bileşenine ilişkin kütle fonksiyonu $f(M) = 0.126 \pm 0.029 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Fotometrik dönem, tayftan elde edilenin yarısı olduğundan optik değişim elipsoidal değişimden kaynaklanmalıdır. (Gözlenen sdB yıldızının yapısının beyaz cücenin çekim etkisiyle bozulmasından dolayı yörünge hareketi sırasında yıldızın gökyüzündeki izdüşüm alanı bakış doğrultumuza göre sürekli değişiyor olmalıdır).

Orosz & Wade'nin (1999) çalışmasında bu değişimin dışında 7.8 saatlik başka bir değişim daha belirlenmiştir. Sinüsoidal olmayan bu değişim 0.25 evrede artma gösterirken 0.75 evrede azalmaktadır. Bu değişimin sdB yıldızındaki zonklama karasızlığı ile ilişkili olabileceği önerilmiştir.

2.2.2.1. IQ Cam Sisteminin Işıkolçüm Gözlemleri ve Verilerin Analizi

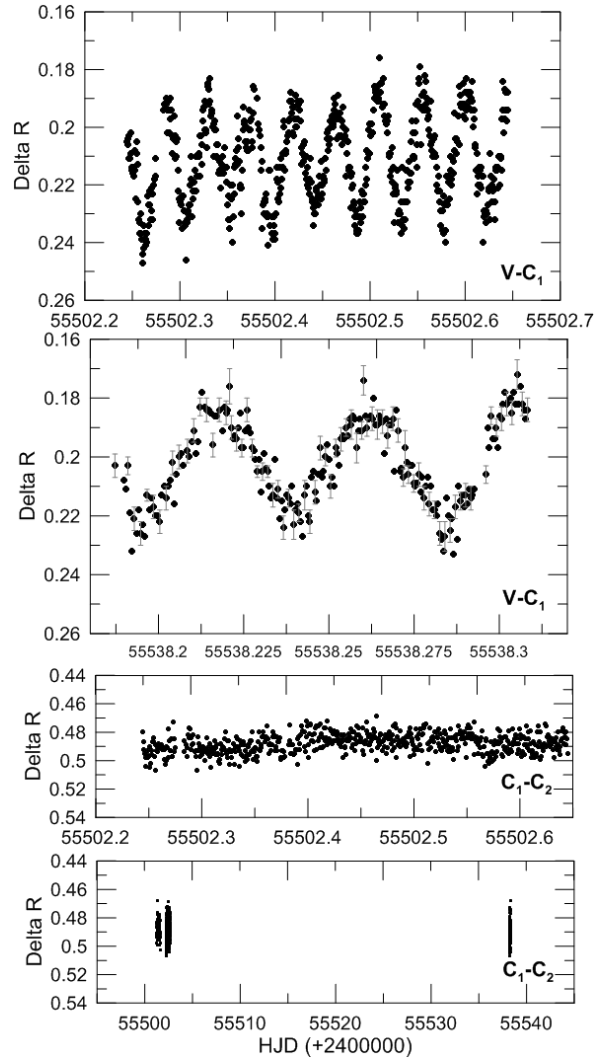
IQ Cam dizgesinin gözlemleri 2010 yılında 30 Ekim, 1 Kasım ve 7 Aralık tarihlerinde Tübitak Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) 100 cm çaplı teleskop ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemler Bessel R filtresinde elde edilmiştir. Sistemin parlaklığı baş minimumda ~ 0.04 kadir azalmaktadır ve sistemin R rengindeki parlaklığı ~ 14.7 kadir olduğundan 40 s poz süresi verilerek gözlenmiştir.

Tablo 2.6: IQ Cam ve mukayese yıldızlarına ilişkin bilgiler.

Yıldız	İsim	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ' ")	R (mag)
IQ Cam	KPD 0422+5421	04 26 04.87	+54 28 17	14.48
Mukayese	Alan Yıldızı	04 25 57.13	+54 29 23.4	~ 14.25
Denet	Alan Yıldızı	04 25 48.52	+54 27 34.8	~ 14.75

CCD verilerinin indirgeme işlemleri, ön indirgeme işlemlerinin ardından IRAF içindeki APPHOT (Aperture Photometry) ışıkölçüm program paketi ile yapılmıştır. IQ Cam ile birlikte alanda 23 yıldız mukayese yıldızı olarak incelenmiş ancak bunlardan 2 yıldızın mukayese ve denet yıldızı olarak kullanılması uygun görülmemiştir. Sistemin gözleminde kullanılan yıldızların kataloglarda yer almaması nedeniyle 2000 yılı koordinatları Tablo 2.6'da ve gözlem gecesine ilişkin bilgiler ise Tablo 2.1'de sunulmuştur. Mukayese yıldızının seçiminden sonra bu yıldızın parlaklık değeri IQ Cam sisteminin parlaklık değerlerinden çıkartılarak fark-ışıkölçümü yapılmıştır. Şekil 2.6'da sisteminin 01 Kasım ve 07 Aralık 2010 tarihlerinde R renginde elde edilmiş olan ışık eğrisi görülmektedir. 07 Aralık 2010 gecesinde elde edilen ~ 2.5 saatlik ışık

eğrisinde diğer gecelere kıyasla gözlem koşullarının da uygunluğuna bağlı olarak wd bileşenin sdB bileşen önünden geçişi daha belirgin şekilde görülmektedir.

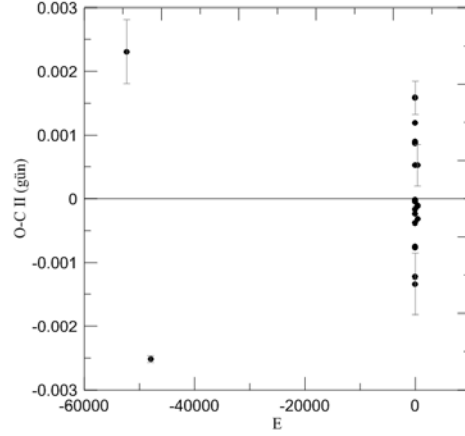


Şekil 2.6: IQ Cam yıldızının üstten alta doğru sırasıyla 1 Kasım ve 7 Aralık 2010 tarihinde yapılan gözlemlerinde elde edilen zamana göre parlaklık değişimi ve mukayese yıldızlarının parlaklık farkı.

Gözlem gecelerinde elde edilen minimumlar literatürdeki minimum zamanları ile birlikte Ek 2’de verilmiştir. IQ Cam’in $O-C$ değişimi Şekil 2.7’de gösterilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak T_0 ve P değerleri düzeltilmiştir. Buna göre sistemin hesaplanan yeni ışık öğeleri aşağıdaki gibidir ve gözlem zamanları bu ışık öğeleri kullanılarak evrendirilmiştir:

$$Min.I(BJD) = 245502.48852(3) + 0^s.09018058(2) \times E \quad (2.4)$$

Şekilde görüldüğü gibi IQ Cam dizgesinde kullanılan minimum zamanları dönemde bir değişim olup olmadığını göstermeye yeterli değildir.



Şekil 2.7: IQ Cam dizgesinin gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkın ($O-C$), çevrim sayısına göre değişimi.

Sistemin ışık eğrisi PHOBE programı kullanılarak çözülmüştür. Sistem ayrıık olduğundan program tarafından ayrıık sistemlerin ışık eğrisi çözümü için önerilen “Mode 2” seçeneği kullanılmıştır. Bileşenlerin yakınlık etkilerinden dolayı dairesel bir yörünge ve senkronize dönme varsayımı yapılmıştır. Çözüm sırasında T_1 sıcaklığı Orosz et al. (1999) tarafından verilen ve tayftan elde edilen 25000 K ve $q = 1.15 (\pm 0.011)$ değeri ($q = \frac{M_{wd}}{M_{sdB}}$) alınarak sabit tutulmuştur.

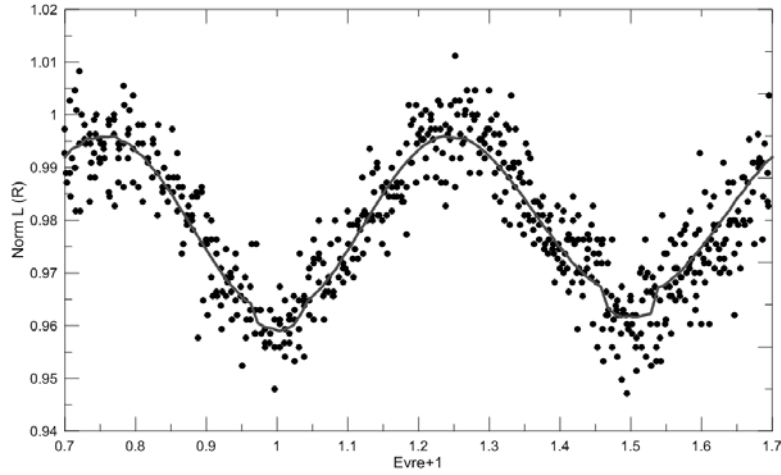
Tablo 2.7: IQ Cam yıldızının PHOBE ışık eğrisi analiz programı ile bulunan sistem parametreleri.

Sabit Parametreler (R)		Serbest Parametreler (R)			Serbest Parametreler (R)				
$T_1 (K)$	25000	$i (^\circ)$	86.91	\pm	0.59	$r_1 (pole)$	0.2141	\pm	0.0014
A_1	1.0	Ω_1	5.79	\pm	0.31	$r_1 (point)$	0.2212	\pm	0.0016
A_2	1.0	Ω_2	93.51	\pm	3.46	$r_1 (side)$	0.2164	\pm	0.0015
g_1	1.0	$T_2 (K)$	23090 \pm 395		$r_1 (back)$	0.2199	\pm	0.0016	
g_2	1.0	L_1	0.9962	\pm	0.001	$r_2 (pole)$	0.0124	\pm	0.0005
q	1.15				$r_2 (point)$	0.0124	\pm	0.0005	
$x_{1,2}$	0.5				$r_2 (side)$	0.0124	\pm	0.0005	
$a (R_\odot)$	0.81	$\Sigma(res)^2$	0.023		$r_2 (back)$	0.0124	\pm	0.0005	

sdB yıldızının radyatif bir zarfa sahip olmasından dolayı çekim kararma katsayısı, $g_1 = 1.0$ ve bolometrik albedo, $A_1 = 1.0$ sabit parametreler olarak kullanılmıştır. Beyaz cücenin toplam akıya katkısının küçük olmasında dolayı da $g_1 = g_2$ ve $A_1 = A_2$ alınmıştır. Serbest bırakılan parametreler sırasıyla: “ i ” sistemin yörünge eğikliği, “ T_2 ” ikinci bileşenin sıcaklığı, L_1 birinci bileşenin ışıması, “ Ω_1 ” ve “ Ω_2 ” bileşenlerin yüzey potansiyelleridir. R ışık eğrisinin çözümünden bulunan sistem parametreleri Tablo 2.7’de verilmektedir.

Gözlemlerle çözüm sonuçlarının karşılaştırılması ise Şekil 2.8’de verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi gözlemlerle çözüm sonuçları iyi bir uyum içerisindedir. Orosz & Wade (1999) ışık eğrisi çözümünde elde ettiği parametreler ile Monte Carlo kodunu kullanarak, bileşenlerin kütle sınırlarını, $M_{sdB} = 0.36 M_{\odot}$ ve $M_{wd} = 0.47 M_{\odot}$ olarak belirlemiştir. Benzer şekilde bu parametrelere ek bir sınırlama getirmek için beyaz cüce teorik kütle-yarıçap ilişkisinden $M_{sdB} = 0.51 M_{\odot}$ ve $M_{wd} = 0.53 M_{\odot}$ olarak hesaplamıştır.

Bu çalışmada ışık eğrisi çözümünden elde edilen yörünge eğikliği ve sdB bileşeni için $M_{sdB} = 0.36 M_{\odot}$ ve $M_{sdB} = 0.51 M_{\odot}$ varsayımı ile kütle fonksiyonu ($f(M) = \frac{M_{wd}^3 \sin^3 i}{(M_{wd} + M_{sdB})^2}$) kullanılarak beyaz cücenin kütlesi sırasıyla $M_{wd} = 0.43 \pm 0.18 M_{\odot}$ ve $M_{wd} = 0.51 \pm 0.08 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Bileşenlerin yarıçapları da $R_{sdB} = 0.18 \pm 0.03 R_{\odot}$ ve $R_{wd} = 0.01 \pm 0.003 R_{\odot}$ olarak belirlenmiştir.

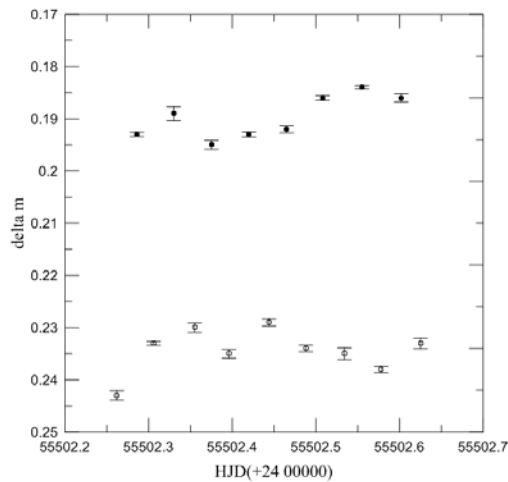


Şekil 2.8: IQ Cam dizgesine ilişkin ışık değişimi ve çözümden elde edilen kuramsal eğri ile uyumu. İçerideki dolu daireler gözlem noktalarını ve sürekli çizgi ise çözüm sonucunda ulaşılan sentetik eğriyi göstermektedir.

Orosz et al. (1999) yaptıkları çalışmada IQ Cam sisteminde yörünge dönemi ~ 2.1 saat olan değişimin dışında 7.8 saat dönemli ikinci bir değişim belirlemişlerdir. Maksimum ve minimum parlaklık farkı ~ 0.02 kadar olan böylesi bir değişimi, derinliği ~ 0.006 kadar mertebesinde olan sönük beyaz cüce tutulmasından hesaplamak zordur ve bu ek ışığın kaynağı sdB bileşenden kaynaklanabilir. Gözlenen bu değişim için yıldız lekesi ve zonklama olarak iki neden önerilmektedir. Orosz et al. (1999), sdB bileşeni üzerinde tek bir leke varsayımı ile yapılan çözümlerin uyumlu bir çözüm vermediğini belirtmiştir. Gözlemler ile uyumun sağlanması için özel yerlere ve belirlenen büyüklüklerde konulan çok sayıda leke yaklaşımı ile uyumun sağlanabildiği veya çok daha

belirgin bir V_{rot} sin i değerinin belirlenmesi gerektiğine işaret etmiştir. Dolayısıyla (eldeki verilerle) böylesi bir leke modellemesi parlaklık değişimini açıklamada yeterli olmamıştır. Diğer bir nedenin sdB bileşendeki zonklama kararsızlıkları olabileceği önerilmiştir. sdB yıldızlarının yeni bir alt sınıfı olarak bilinen EC 14026 yıldızları ≤ 0.01 kadir genliğinde ve ≤ 400 s dönemli değişimler göstermektedirler. Ancak IQ Cam sistemindeki bu 0.02 kadir mertebesindeki değişimin genliği EC 14026 türü sistemlerdeki ile uyumlu olsa da sistemin $T_e \approx 25000 K$ 'lik sıcaklığı, EC 14026 türü sistemlere göre ($30000 K \leq T_e \leq 35000 K$) çok soğuk kalmaktadır. Ayrıca EC 14026 türü sistemlerde sinüs benzeri dalga değişimi varken IQ Cam'de testere dişi (sawtooth) benzeri bir yapı gözlenmiştir. Sonuç olarak EC 14026 türü sistemlerin farklı bir sınıfı olabileceği önerilmiştir. Değişimin nedeninin zonklamadan kaynaklandığını söylemek için ise daha çok veriye ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada elde edilen ışık değişiminin maksimum ve minimum parlaklıkları belirlenmiş, zamana karşı değişimi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Değişimin genliği maksimumlarda ve minimumlarda sırasıyla ~ 0.010 , 0.015 kadir mertebesinde. Şekilde $\sim 7-9$ saat aralığında bir değişimin olduğu görülmektedir ancak gözlem gecelerinde hava koşulları ve teknik sorunlar nedeniyle ardışık gözlemler yapılamadığı için bu değişim ile ilgili kesin bir sonuç elde edilememiştir. Bu çalışmada Orosz et al. (1999) tarafından elde edilen testere benzeri yapı baş minimumlarda belirlenmiş ancak özellikle yan minimumlarda böyle bir yapı elde edilememiştir. Bunun nedeni gözlem yapılan teleskobun ayırma gücü ya da olası bir beyaz cüce zonklaması ile ilişki olabilir. Literatürde önerilen 7.8 saatlik değişimin doğrulanması için daha çok gözlem verisine ihtiyaç vardır.



Şekil 2.9: IQ Cam yıldızının 1 Kasım 2010 gözleminde elde edilen parlaklık değişiminde, maksimum (üstteki) ve minimum (alttaki) düzeylerden okunan parlaklıkların zamana göre değişimi.

2.2.3. HS 0705+6700

HS 0705+6700 (GSC 4123-265), Hamburg Schmidt taramasında bir cüce yıldız adayı olarak yer almaktadır (Hagen et al., 1995). Heber et al. (1999) ve Edelman et al. (2001) tarafından yapılan tayfsal çalışmalarda yıldızın etkin sıcaklığının zonklama kararsızlığı için önerilen aralıkta yer aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle zonklamaların araştırılması için Nordic Optik Teleskobu'ndaki (Ostensen et al., 2001a, 2001b) fotometrik olarak izlenen yıldızların yer aldığı programa dahil edilmiştir. Dreschel et al. (2001) tarafından yapılan ayrıntılı fotometrik ve tayfsal çalışmalar bu yıldızın kısa dönemli (~ 2.3 sa) ayırık bir örten çift yıldız olduğunu göstermiştir (Drechsel et al., 2001). Her iki bileşenin salt parametreleri, baş bileşenin bir sdB yıldızı ve yoldaş bileşenin de ışık eğrisindeki kuvvetli yansıma etkisiyle toplam ışınımına katkısının az olması nedeniyle soğuk bir yıldız olduğu varsayımı ile elde edilmiştir. Dreschel et al. (2001) HS0705+6700 dizgesinin tek çizgili bir tayfsal çift olduğunu belirleyerek dikine hız eğrisinden yarı-genliğini $K_1 = 85.8 \text{ km s}^{-1}$ ve kütle fonksiyonunu $f(m) = 0.00626 M_{\odot}$ olarak elde etmiştir. Tayfsal verilerin analizinden baş bileşen sdB yıldızının etkin sıcaklığı 28800 K ve $\log g = 5.40$ olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla HS 0705+6700, yörünge dönemi 2-3 sa aralığında yer alan çok sıcak bir sdB türü yıldız ile tamamen konvektif bir M türü ikinci bileşene sahip HW Vir türü örten çiftlerden biridir. Şimdiye kadar bu türden az sayıda çift sistem belirlenmiştir (Menzies & Marang, 1986; Kilkenney et al., 1998; Dreschel et al., 2001; Ostensen et al., 2007; Polubek et al., 2007; Wils et al., 2007). Bu çiftlerdeki sıcak sdB bileşenler, merkezlerinde helyum yakan ve çok ince bir hidrojen zarfa sahip olan HR diyagramındaki uç yatay kol yıldızlarıdır. Bu yıldızların ortak bir zarf evrimi sonucunda oluştuğu (Han et al., 2003) ve kataklismik değişen yıldızlar olarak evrimleşeceği önerilmektedir (Shimansky et al., 2006).

Bileşenler arasındaki büyük sıcaklık farklılığı ve yakın bir çift olmasından dolayı bu türdeki çift sistemlerin ışık eğrileri keskin bir baş minimum ve daha sığ bir yan minimum ile birlikte kuvvetli bir yansıma etkisi göstermektedir. Bu nedenle tutulma zamanları iyi bir şekilde elde edilebilirken, *O-C* diyagramlarının analizi ile de düşük genlikli yörünge dönem değişimleri belirlenebilmektedir. Bu türün prototipi olan HW Vir'de çevrimsel değişim ile uzun dönemli bir dönem azalması görülmektedir (Kilkenney et al, 1994; Qian et al., 2008a). HS 0705+6700 dizgesinin de 15.7 yıllık çevrimsel bir dönem değişimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu değişimin sistemde kahverengi bir cüce olduğu varsayılan üçüncü cisimden kaynaklandığı düşünülmektedir (Qian et al., 2010).

2.2.3.1. HS 0705+6700 Sisteminin Gözlemleri ve Verilerin Analizi

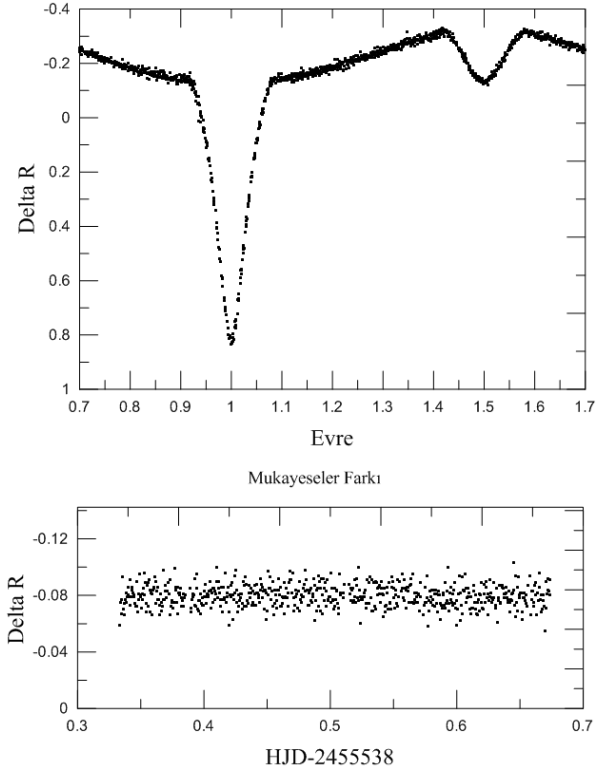
HS 0705+6700 sisteminin gözlemleri 7-8 Aralık 2010 tarihlerinde TUG'da 100 cm çaplı teleskop kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gözlemler Bessel R filtresinde elde edilmiştir. Sistemin parlaklığı baş minimumda ~ 1.1 kadir azalmaktadır ve $m(V) \sim 14.7$ kadir olduğundan 30 s poz süresi verilerek gözlenmiştir. CCD verilerinin indirgeme işlemleri, ön indirgeme işlemlerinin ardından IRAF içindeki APPHOT ışıkölçüm program paketi ile yapılmıştır. HS 0705+6700 ile birlikte alanda 26 yıldız, mukayese yıldızı olarak incelenmiş, bunlardan iki yıldızın mukayese ve denet yıldızı olarak kullanılması uygun görülmüştür. Sistemin gözleminde kullanılan yıldızlardan mukayese yıldızının kataloglarda yer almaması nedeniyle 2000 yılı koordinatları Tablo 2.8'de ve temel bilgiler ise Tablo 2.1'de verilmiştir. Mukayese yıldızının seçiminden sonra bu yıldızın parlaklık değeri HS 0750+6700 sisteminin parlaklık değerlerinden çıkartılarak fark-ışık ölçümü yapılmıştır.

Bileşenler arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle ortaya çıkan yansıma etkisi ışık eğrisinde kendini belirgin şekilde göstermektedir (bkz. Şekil 2.10). Bu etki ışık eğrisinin maksimumlarında dalga benzeri bir bozulmaya neden olmaktadır. Bu dalga benzeri bozulmanın genliği ~ 0.18 kadir kadardır. HS 0705+6700 sisteminin R rengindeki ışık eğrisi PHOBE programı kullanılarak çözülmüştür. Sistem ayrık olduğu için çözüm sırasında "Mode-2" seçeneği kullanılmıştır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi elde edilen çözümde minimum derinlikleri ile uyumlu bir fit elde edilmiştir.

Tablo 2.8: HS 0705+6700 ve sistemle birlikte gözlenen yıldızlara ilişkin literatür bilgileri.

Yıldız	İsim	α_{2000} (h m s)	δ_{2000} (° ' ")	V (mag)
HS 0705+6700	GSC 04123-00265	07 10 42.09	+66 55 43.97	14.7
Mukayese	Alan Yıldızı	07 09 10.73	+66 55 42.0	-
Denet	GSC 04123-00203	07 09 11.56	+66 56 23.4	15.2

Işık eğrisinin çözümüne Drechsel et al. (2001) tarafından verilen parametreler ile başlanmıştır. Çözüm sırasında çalışmada verilen kütle oranı $q = 0.278$ ve birinci bileşen için T_1 sıcaklığı sabit tutulmuştur. Kuvvetli yansıma etkisinden dolayı ikinci bileşenin kenar karma katsayısı olan x_2 serbest parametre olarak alınmıştır.



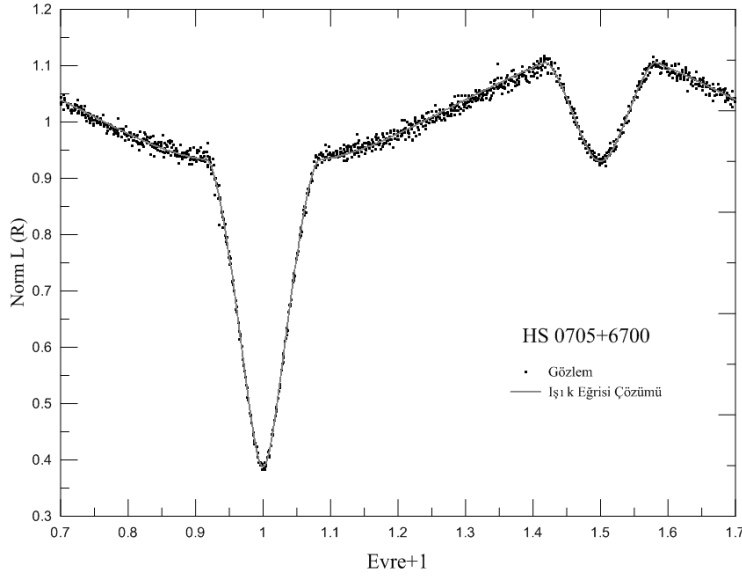
Şekil 2.10: HS 0705+6700 dizgesinin 7-8 Aralık 2010 tarihlerinde R renginde elde edilen ışık eğrisi (üstte). Tablo 2.11’de verilen ışık öğeleri kullanılarak evrelendirilmiştir. 7 Aralık gecesi için mukayese yıldızlarının parlaklık farkı (altta).

Sistemin ışık eğrisi analizinde T_2 , L_1 , i , x_2 , Ω_1 , Ω_2 ve L_3 sırasıyla ikinci bileşenin sıcaklığı, birinci bileşenin ısıtması, yörünge eğikliği, ikinci bileşenin kenar kararım katsayısı, birinci ve ikinci bileşenini yüzey potansiyelleri ve üçüncü cisim serbest parametre olarak alınmıştır. Yansıma etkisinin güçlü olması nedeniyle kenar kararım katsayısı negatif değerler vermektedir. Bu durum literatürde “kenar parlaması” olarak adlandırılmaktadır.

Tablo 2.9: PHOBE analiz programı ile HS 0705+6700 için elde edilen ışık eğrisinin çözüm sonuçları.

Sabit Parametreler (R)		Serbest Parametreler (R)				Serbest Parametreler (R)			
$T_1 (K)$	28800	$i(^{\circ})$	85.03	\pm	0.04	$r_1 (pole)$	0.2724	\pm	0.0009
A_1, A_2	1.0, 1.0	Ω_1	3.939	\pm	0.012	$r_1 (point)$	0.2792	\pm	0.0010
g_1	1.0	Ω_2	2.621	\pm	0.003	$r_1 (side)$	0.2760	\pm	0.0009
g_2	0.32	$T_2 (K)$	3057	\pm	346	$r_1 (back)$	0.2781	\pm	0.0009
q	0.278	L_1	0.887	\pm	0.004	$r_2 (pole)$	0.2168	\pm	0.0005
$x_1 (R)$	0.19	L_2	0.070	\pm	0.005	$r_2 (point)$	0.2430	\pm	0.0009
$x_2 (R)$	0.62	L_3	0.043	\pm	0.004	$r_2 (side)$	0.2220	\pm	0.0005
$a (R_{\odot})$	0.81					$r_2 (back)$	0.2357	\pm	0.0008
		$\Sigma(res)^2$	0.084						

HS 0705+6700 yıldızının Drechsel et al. (2001) tarafından elde edilen dikine hız eğrisinin belirgin bir biçimde sinüzoidal olması ve ikinci minimumun yerinin tam olarak 0.5 evrede yer alması nedeniyle, yörüngenin daire ve bileşenlerin dönme dönemi ile yörünge döneminin aynı olduğu eş dönme varsayımı yapılmıştır. Baş bileşen yıldızın ön tayf türünden olması nedeniyle radyatif zarflı yıldızlar için kabul edilen bolometrik albedo $A_1 = 1$ ve çekim kararım sabiti $g_1 = 1$ olarak alınmıştır (von Zeipel, 1924). Soğuk bileşen için Lucy (1967) yaklaşımından $g_1 = 0.32$ değeri kabul edilmiştir. Çözüm başladıktan bir kaç adım sonra ikinci bileşenin albedosu A_2 serbest parametre olarak bırakılmıştır. Işık eğrisinde belirgin şekilde görülen yansıma etkisi, çekimsel olarak kilitli ikinci bileşenin baş bileşene dönük olan ısıtılan yüzünde ayna benzeri bir etkiye neden olarak ışık eğrisinde minimumlar dışında kanbur benzeri bir çıkıntıya neden olmaktadır. Bu nedenle ikinci bileşenin yüzeyindeki bu ek ısıtmanın tamamen gözönüne alınabilmesi için çözümün diğer adımlarında A_2 yeniden 1.0 değerine sabitlenmiştir. Doğrusal kenar kararım katsayısı için $x_{1,2}$ Wade & Rucinski (1985) tablolarından aradeğer hesabı yapılarak $x_1(R) = 0.19$ ve $x_2(R) = 0.62$ değerleri kullanılmıştır. Tablo 2.9'da çözüm sırasında kullanılan parametrelere ilişkin detaylı bilgi yer almaktadır. Çözüm sonucunda elde edilen sentetik eğri ile gözlem noktalarının uyumu Şekil 2.11'de verilmiştir.



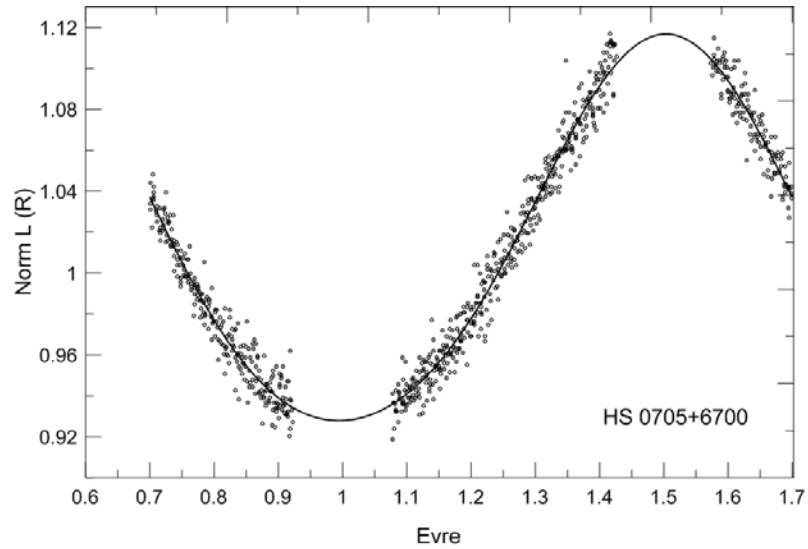
Şekil 2.11: HS 0705+6700 gözlem verileri ve Tablo 2.9'da verilen parametreler yardımıyla elde edilen kuramsal eğrinin uyumu.

Bu tür dizgelerde yoldaş bileşenin sıcaklığını belirlenmesindeki problemler literatürde de yer almaktadır. Bunun en önemli sebebi baş bileşenin sıcaklığı ile ısıtılan yoldaş bileşenin baş bileşene dönük yarıküresi ile diğer yarıküresi arasındaki büyük sıcaklık farkıdır. Bu etki kendisini ışık eğrisinde yansıma etkisi

olarak göstermektedir. Fourier serisinin (2.3 nolu eşitlik) katsayıları hesaplanarak bu etkinin belirlenmesi mümkündür. Işık eğrisinde tutulmalar dışı, sadece yansıma etkisinin kendisini gösterdiği maksimumlar kullanılarak Fourier katsayıları hesaplanmıştır. Katsayılar Tablo 2.10'da verilmektedir. Bu etkinin incelenmesi için ışık eğrisinden tutulma sırasında elde edilen veriler çıkartılmış ve geri kalan veri seti tekrar kuramsal eğri ile temsil edilmiştir (Şekil 2.12).

Tablo 2.10: HS 0705+6700 için normalize edilmiş Fourier katsayıları.

A_0	A_1	A_2	B_1	B_2
1.0136	-0.0944	0.0087	-0.0002	0.0012
± 0.0003	± 0.0005	± 0.0006	± 0.0003	± 0.0004



Şekil 2.12: HS 0705+6700 dizgesinin yansıma etkisini gösteren tutulma dışı ışık değişimi ve kuramsal eğri ile temsili.

HS 0705+6700 yıldızının ışık eğrisi analizi sonucunda elde edilen bileşenlerinin kesirsel yarıçap değerleri ve bileşenler arası uzaklık değeri $a = 0.81 R_{\odot}$ kullanılarak, yarıçaplar $R_1 = 0.22 \pm 0.04 R_{\odot}$ ve $R_2 = 0.18 \pm 0.03 R_{\odot}$ elde edilmiştir. Drechsel et al. (2001) tarafından HS 0705+6700 dizgesinin elde edilen tayfından baş bileşen için $\log g = 5.40$ değeri belirlenmiştir. Bu değer kullanılarak baş bileşenin kütlesi $M_1 = 0.45 \pm 0.09 M_{\odot}$ ve kütle fonksiyonu kullanılarak ikinci bileşenin kütlesi $M_2 = 0.13 \pm 0.03 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Işık eğrisi modellemesi sonucunda 0.25 evrede üçüncü cismin sistemin toplam ışığına katkısı 0.043 olarak belirlenmiştir. HS 0705+6700 dizgesinin R

filtresindeki ışık eğrisinin analizi üçüncü bir cismin olabileceğine işaret etmektedir. Düşük kütleli yıldızlar için kütle-ışıtma bağıntısı $L \propto M^{4.97}$ olduğu gözönüne alınır ve ışık katkısı kullanılarak üçüncü cismin kütlesi hesaplanırsa $m_3 \sim 0.12 M_{\odot}$ olarak elde edilmektedir. Bu kütle kullanılarak üçüncü cismin yörüngesi için de eğiklik açısı 20° olarak sınırlanabilir.

2.2.3.2. HS 0705+6700 Sisteminin Yörünge Döneminin İncelenmesi

Qian et al. (2009) çalışmasında HS 0705+6700 dizgesinin, 92.4 s genliğe sahip 7.15 yıllık bir çevrimsel dönem değişimi gösterdiğini belirlemiştir. Daha sonra Qian et al. (2010) bu yıldızın *O-C* değişimini, 71 s genlikli ve 15.7 yıl dönemli çevrimsel dönem değişimi ile birlikte uzun dönemli bir dönem azalması ile temsil etmiştir. HS 0705+6700 yıldızının TUG'da yapılan gözlemlerle elde edilen tutulma zamanları ile literatürde elde edilen minimum zamanları, birlikte değerlendirilmiştir (bkz. Ek 3). *O-C(I)* sapmaları Drechsel et al. (2001),

$$MinI = HJD 2451822.75982(\pm 22) + 0^s.09564665(\pm 39) \times E \quad (2.5)$$

ışık öğeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu sapmaların bir değişim gösterdiği görülmüştür. Ancak *O-C* analizi, Qian et al. (2010) tarafından önerilen uzun dönemli azalmanın, eklenen yeni minimum zamanları ile uyumlu olmadığını ve parabolik fit ile temsil edilemeyeceğini göstermiştir. *O-C(I)* sapmaları çevrim sayısına göre noktalandığında sinüsoidal bir değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.13). *O-C* sapmalarında dönemli yada sinüs benzeri değişimlerin, örten çiftlerde üçüncü bir cisimden kaynaklanan ışık-zaman etkisi yada anakol yıldızı olan küçük kütleli bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Böylesi bir yaklaşımda *O-C* farklarının değişimini aşağıda verilen denklemlerle temsil edebiliriz:

$$MinI = T_0 + P \times E + A_s \sin[2\pi(E - T_s)/P_s] \quad (2.6)$$

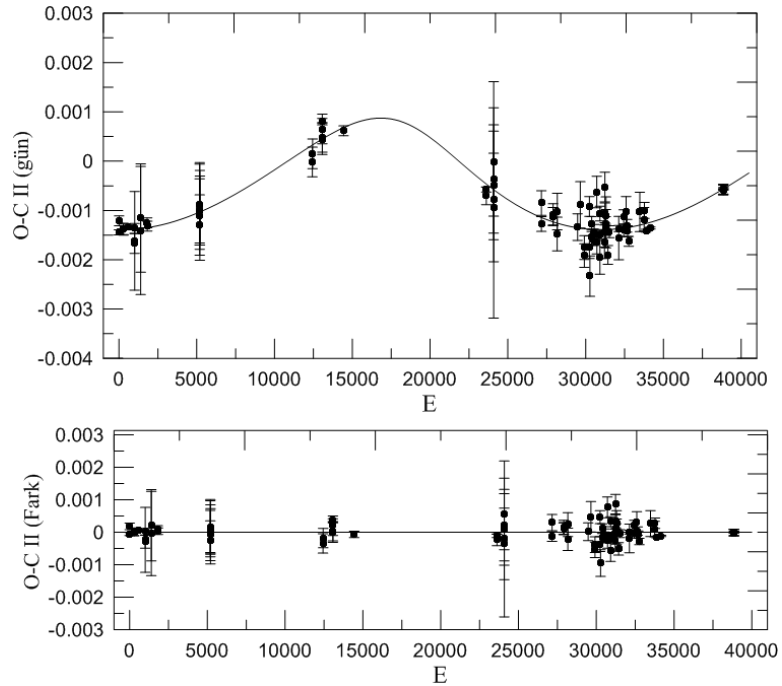
Bu bağıntıda A_s sinüs eğrisinin yarı-genliği, P_s sinüs eğrisinin dönemi, T_s sinüs eğrisinin çıkış kolunun sıfır eksenini kestiği noktaya karşılık gelen zamandır. HS 0705+6700 yıldızının *O-C* farklarına diferansiyel düzeltmeli regresyon yöntemi uygulanarak yapılan çakıştırma ile Tablo 2.11'de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda HS 0705+6700 yıldızının 0.0011 gün yarı-genlik ve

8.06 ± 0.28 yıllık zaman ölçeğinde çevrimsel bir dönem değişimi gösterdiği belirlenmiştir (bkz. Şekil 2.13). Sinüsoidal değişim temsilinden sapmalar olan $O-C(II)$ değerleri de Ek 3’de verilmiştir.

Örten çiftlerde gözlenen ışık zaman etkisi, üç ya da daha çok cismin varlığında, çift sistemin hareketi ile yörünge dönemindeki dönemli değişimlerden kaynaklanır. Işık eğrisinde tutulma zamanlarındaki yarı dönemli sinüsoidal değişimler basit ve doğrudan fiziksel bir anlama sahiptir: ışığın aldığı toplam yol, çift yıldız görünür olarak üçlü sistemin kütle merkezi etrafında dolarken dönemli olarak değişir (Ribas, 2005). Zaman gecikmesi (Δt) ve üçüncü cisme ilişkin parametreler, Irwin (1952) tarafından verilen aşağıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilir:

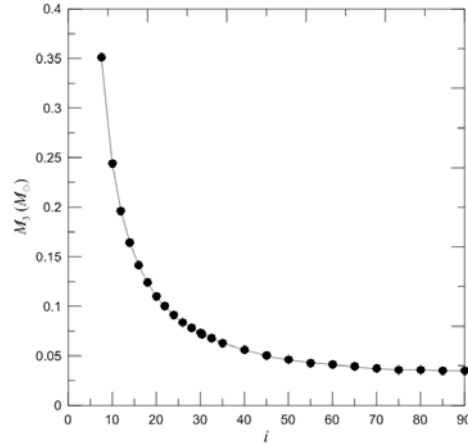
$$\Delta t = \frac{A}{\sqrt{1-e'^2} \cos^2 \omega'} \left[\frac{1-e'^2}{1+e' \cos \nu'} \sin(\nu' + \omega') + e' \sin \omega' \right] \quad (2.7)$$

Burada A parametresi, $(A = \frac{a'_{12} \sin i' \sqrt{e'^2 \cos^2 \omega'}}{2.590 \times 10^{10}})$ ışık-zaman etkisinin gün biriminde yarı-genliğidir. a'_{12} , e' , i' , ω' ve ν' ise sırasıyla yarı-büyük eksen uzunluğu, yörünge dış merkezliği, yörünge eğikliği, enberi noktasının boylamı ve gerçel ayrıklıktır.



Şekil 2.13: HS 0705+6700 dizgesinin Tablo 2.11’de verilen ışık öğeleri kullanılarak hesaplanan $O-C$ (I) (üstteki şekil) ve $O-C$ (II) (alttaki şekil) değerlerinin çevrim sayısına göre değişimi ve analizi sonucunda elde edilen kuramsal eğri ile uyumu.

HS 0705+6700 yıldızının gözlenen minimum zamanlarının doğrusal ögelerden sapmaları ışık-zaman denklemi etkisi ile temsil edilmeye çalışılmış, bunun için diferansiyel düzeltmeli regresyon yöntemi uygulanmıştır. Analiz sonucunda üçüncü cisme ilişkin kütle fonksiyonu $f(m_3) = 0.00012 M_\odot$ bulunmuştur. Üçüncü cismin farklı yörünge eğiklikleri için hesaplanan kütleleri şöyledir: $i = 90^\circ$ için $m_3 = 0.036 M_\odot$, $i = 75^\circ$ için $m_3 = 0.037 M_\odot$, $i = 60^\circ$ için $m_3 = 0.042 M_\odot$. Üçüncü cismin yörünge eğikliğinin $i \geq 30^\circ$ olması durumunda kütlesi kritik kütle olan $0.072 M_\odot$ 'den daha küçük olacağından, merkezinde hidrojen yakamayacak ve bir yıldız olamayacaktır (Şekil 2.14). Qian et al. (2009) yaptıkları çalışmada basık olmayan ($e = 0$) bir yörünge yaklaşımı ile üçüncü cismin %63.6 olasılıkla kahverengi cüce olabileceğini ancak yörünge eğikliğinin bilinmemesi sebebi ile olası düşük kütleli bir yıldız bileşenin de tümüyle ihmal edilemeyeceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.14: HS 0705+6700 sisteminde olası üçüncü cismin kütlesinin (m_3), yörünge eğikliğine göre değişimi.

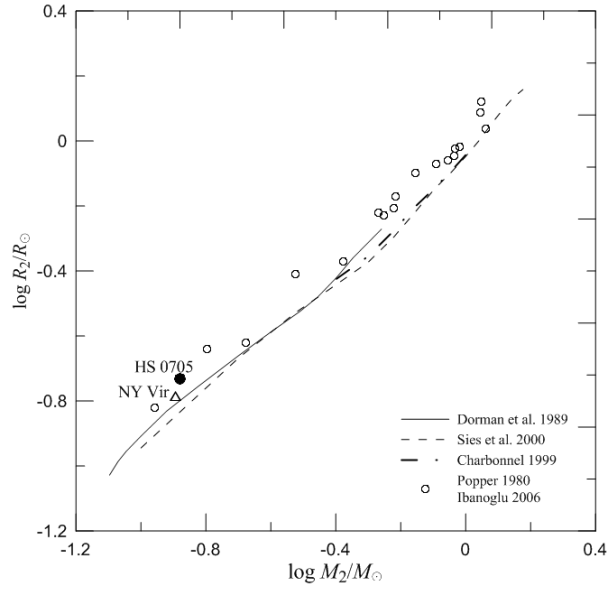
Bu dizgedeki olası üçüncü cismin sistemden $0.197 \pm 0.053 AB$ uzaklıkta olduğu hesaplanmıştır. Buna ek olarak HS 0705+6700 dizgesinin ışık eğrisi analizinde üçüncü cismin toplam ışığa katkısı $\sim \%4$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak bu sistemin $O-C$ değişiminde gözlemlenen çevrimsel değişimin üçüncü cisimden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 2.11: HS 0705+6700 yıldızının $O-C$ analizi ile bulunan parametreleri.

T_0 (BJD)	2451822.7619 (5)
$P_{yör}$ (gün)	0.095646625 (4)
ω (derece)	118.4 ± 35
K (gün)	0.00114 ± 0.0001
P_s (yıl)	8.06 ± 0.28
$a \sin i$ (AB)	0.197 ± 0.053
$f(m_3)$ (M_\odot)	0.00012 ± 0.00006
$\sum(O-C)^2$	0.00027

2.2.4. Gözlenen PCEB Yıldızlarının Evrimleri

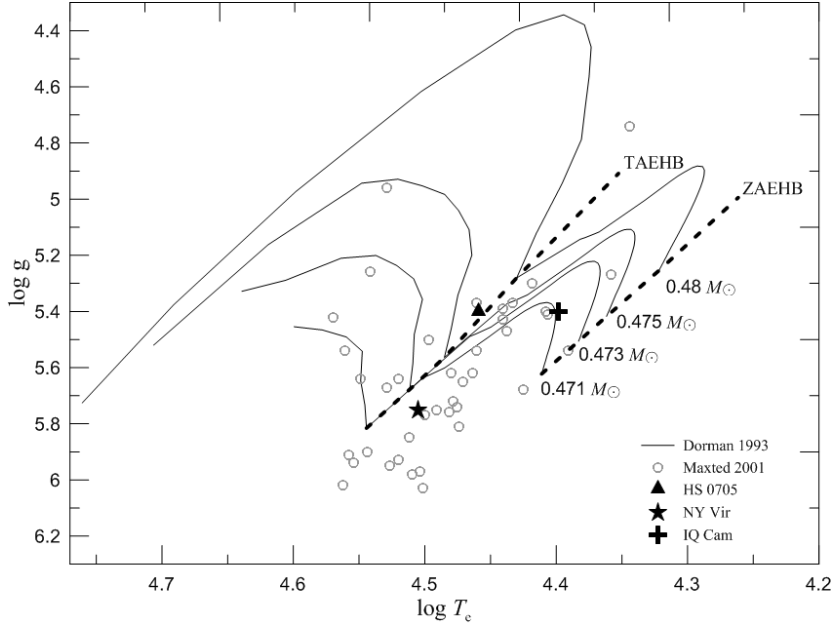
İkinci bileşen için çözümler sonucunda elde edilen salt parametreler, düşük kütleli cüce yıldızlar için yapılan modeller (Dorman et al., 1989; Sies et al., 2000; Charbonnel et al., 1999) ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca geri tayf türünden küçük kütleli anakol yıldızları ile karşılaştırma için Popper (1980) çalışmasında yer alan A-M5 tayf türü aralığındaki 10 görsel çift yıldızın ve İbanoğlu et al. (2006) çalışmasında yer alan 9 ayrı çift yıldızın anakol bileşenlerinin verileri kullanılmıştır (Şekil 2.15). Şekilde NY Vir ve HS 0705+6700 dizgelerinin geri tayf türünden ikinci bileşenleri için elde edilen kütle ve yarıçap değerlerinin, anakol yıldızları için elde edilen gözlemler ve modellerle uyumlu olduğu görülmektedir. Popper (1980) çalışmasında benzer kütle, yarıçap aralığındaki iki görsel çift yıldız (L726-8 ve Kr60) için elde edilen tayf türleri sırasıyla M5.5 ve M4.5 olarak belirlenmiştir. NY Vir ve HS 0705+6700 dizgelerinin ikinci bileşenlerinin, kütle-yarıçap grafiğinde bu yıldızlara benzer aralıkta yer alması nedeniyle ikinci bileşenlerin M5-M4 tayf türü aralığında olduğu söylenebilir.



Şekil 2.15: Geri tayf türünden anakol yıldızlarına ilişkin kütle-yarıçap ilişkisi. Diyagramda HS 0705+6700 yıldız için dolu daire ve NY Vir için boş üçgen ile gösterilmektedir. Düşük kütleli anakol yıldızları için evrim modelleri Dorman et al. (1989), Sies et al. (2000), Charbonnel et al. (1999) çalışmalarından alınmıştır. Gözlemsel olarak anakol yıldızları ile karşılaştırma için Popper (1980) ve İbanoğlu et al. (2006) çalışmalarındaki yıldızlar kullanılmıştır (içeride boş daireler).

Dizgelerin sdB yıldızı olan sıcak bileşenlerinin her üçünün de tek çizgili tayfsal çift olması nedeniyle baş bileşenin kütlesi dikine hız eğrisinden doğrudan belirlenmemektedir. Bu nedenle NY Vir, IQ Cam ve HS 0705+6700 için tayf çizgileri temel alınarak yapılan atmosfer modellerinden belirlenen T_e (Vuckovic et al., 2007; Orosz & Wade, 1999; Drechsel et al., 2001) ve $\log g$ (Charpinet et al.,

2008; Orosz & Wade, 1999; Drechsel et al., 2001) değerleri kullanılarak sıcak bileşenin $\log T_e - \log g$ diyagramındaki konumları karşılaştırılmıştır (Şekil 2.16). Diyagramda Dorman et al. (1993) tarafından verilen 0.471 , 0.473 ve $0.475 M_\odot$ kütleli uç yatay kol yıldızlarının evrim yolları ve Palomar-Green taraması ile belirlenen uç yatay kol yıldızları için Maxted et al. (2001) tarafından tayftan elde edilen gözlemsel değerler de yer almaktadır.



Şekil 2.16: NY Vir, IQ Cam ve HS 0705+6700 sistemlerinin baş bileşenlerinin $\log T_e - \log g$ diyagramındaki konumları. Sürekli çizgiler verilen kütleler için evrim yollarını gösterirken kesikli çizgiler ile “sıfır yaş EHB” (ZAEHB) ve “termal yaş EHB” (TAEHB) temsil edilmektedir.

NY Vir dizgesinin sıcak bileşeninin $\log g - \log T_e$ diyagramında $0.471 M_\odot$ 'den daha küçük kütleli olduğu ve yatay kol evriminin son yarısında olduğu görülmektedir. Ancak Haili Hu et al. (2007) çalışmasında, sdB yıldızları için $\log g - \log T_e$ diyagramında Kawaler & Hostler (2005)'in evrim modelleri kullanıldığında sıcak bileşenin, diyagramdaki konumuna göre kütesinin $0.4798 - 0.4801 M_\odot$ aralığında olduğu görülmektedir. Charpinet et al. (2008) yıldız sismolojisi verilerinin analizinden sdB yıldızının kütesini $M = 0.459 \pm 0.005 M_\odot$ bulmuştur. Vuckovic et al. (2007) tarafından yapılan ışıkölçüm gözlemlerinde de çiftin ışık eğrisi ile uyumlu üç modelin çözümünden sdB bileşeni için $M \approx 0.389$, 0.466 ve $0.530 M_\odot$ olmak üzere üç farklı kütle belirlenmiştir. Sonuç olarak NY Vir dizgesinin sıcak bileşeninin kütesi için Charpinet et al. (2008) ve Vuckovic et al. (2007)'in gözlemsel olarak belirlediği değerler, $\log g - \log T_e$ diyagramında Dorman et al. (1993) evrim modellerinin gösterdiği kütle değeri ile uyumludur.

Şekil 2.16’da Drechsel et al. (2001) tarafından HS 0705+6700’ın sıcak bileşenin tayfsal verisi kullanılarak yapılan atmosfer modellerinden elde edilen $\log g - \log T_e$ değerleri kullanılmıştır. HS 0705+6700 dizgesinin sıcak bileşeni diyagramda $0.475M_{\odot}$ - $0.480M_{\odot}$ kütle aralığında yer almaktadır ve yatay kol evrimini henüz tamamlamış olduğu görülmektedir. Bu çalışmada sıcak bileşen için elde edilen kütle değerinin, evrim modellerinin öngörüsüne göre biraz küçük olduğu görülmektedir ($0.45 M_{\odot}$). IQ Cam’ın sıcak bileşenin $\log g - \log T_e$ diyagramında $0.471M_{\odot}$ kütleli yatay kol yıldızlarının evrim yolu üzerinde ve yatay kol evriminin ortasında olduğu görülmektedir. Ayrıca bu değer Orosz & Wade (1999)’ın bu sdB yıldızı için belirlediği kütle sınırları ($0.36M_{\odot}$ - $0.511M_{\odot}$) aralığında yer almaktadır.

Scheiber & Gansicke (2003) çalışmasında yapılan hesaplamalar ile gözlemi yapılan PCEB yıldızlarının daha ileri evrim durumları tartışılabilir. NY Vir ve HS 0705+6700 dizgelerinin ikinci bileşen yıldızları için $M_2 < 0.3 M_{\odot}$ ’dir ve tamamen konvektiftirler. Bu durumda manyetik frenleme ile açısal momentum kaybı ihmal edilebilir (Verbunt & Zwan, 1981). Sadece çekimsel dalgalar ile açısal momentum kaybının gözönüne alındığı durumda açısal momentum kaybı (1.6) nolu eşitlik ile hesaplanabilir. Sonuç olarak bu dizgelerde yoldaş yıldız Roche lobunu dolduracak ve ikinci bir RLOF evresi başlayacaktır. İkinci bileşenler düşük kütleli yıldızlar olduğundan nükleer evrimleri de ihmal edilebilir. İkinci bileşenin Roche lobunu doldurması için gerekli zaman NY Vir için $t_{sd} = 3.2 \times 10^8$ yıl, HS 0705+6700 için $t_{sd} = 4.1 \times 10^8$ yıl olarak verilmektedir. Bir sdB yıldızının beyaz cüceye evrimleşme zaman ölçeği bir kaç 10^8 yıl olduğundan, bu yıldızlar daha ileri evrim sürecinde dönem boşluğunun altında bir döneme sahip olan kataklizmik değişen yıldızlar olarak evrimleşecektir. IQ Cam dizgesi bir sdB ile beyaz cüce bileşen içeren en kısa dönemli sistemlerden biri olduğundan çekimsel dalgalarla açısal momentum kaybı ile benzer bileşenlere sahip diğer sdB yıldızlarına göre daha hızlı evrimleşecektir. Orosz & Wade (1999), IQ Cam’ın yarı-ayrık bir sisteme evrimleşme zaman ölçeğini $t_{sd} = 1.48 \times 10^8$ yıl olarak hesaplamıştır ki bu süre merkezinde helyum yakan bir sdB yıldızının yaşam süresi kadardır ($\sim 1.5 \times 10^8$ yıl, Dorman et al., 1993). IQ Cam’ın açısal momentum kaybı ile her iki bileşenin birleşeceği önerilmektedir (Dorman, Rood & O’Connell, 1993).

3. PCEB YILDIZLARININ SALT PARAMETRELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

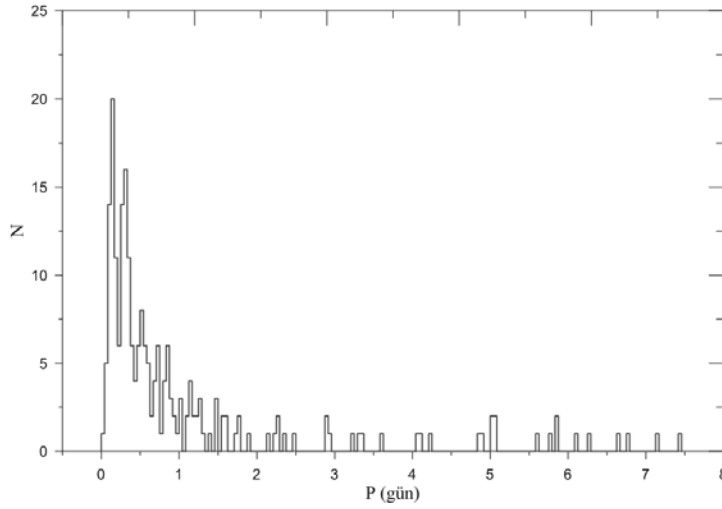
Yoldaş yıldızı Roche lobunu doldurmamış olan ortak zarf sonrası çift sistemler, CV'lerin ataları olarak görülmesinden dolayı CV'lerin yapısının ve evrimlerinin tartışılması açısından çok önemli sistemlerdir. Ritter & Kolb (2010) "kataklismik yıldızlar ve ilişkili cisimler" kataloğunda, yörünge dönemi belirlenen 235 PCEB yıldızına ilişkin literatürde elde edilen dönem, görsel parlaklık, bileşenlerin tayf türleri, kütle ve yarıçap gibi bilgiler yer almaktadır. Tez çalışmasının bu bölümünde bu yıldızlara ilişkin parametreler arasındaki ilişkiler incelenerek, bileşenlerin genel özellikleri ve yörünge evrimine ilişkin bilgiler ortaya konulmaya çalışılacaktır. Bu aşamada temel amaç PCEB'lerin yoldaş bileşenlerinin anakol yıldızlarıyla karşılaştırılmasıdır.

3.1 PCEB Yıldızlarının Yörünge Dönemlerinin Dağılımı

Bu sistemlerde bileşenler arası kütle aktarımının olmaması ve ortak zarf evresinden sonra beyaz cücenin giderek soğuması nedeniyle PCEB'ler sönük ve zor keşfedilebilen sistemlerdir. Katalogdaki dizgelerin görsel parlaklıkları $8^m - 20^m$ aralığında yer alırken bunların %80'ni 14 kadirde sönük dizgelerdir ve son on yıl içerisinde SDSS taraması ile keşfedilmiştir.

Bu bölümünde PCEB'lerin fotometrik ya da tayfsal yolla elde edilen yörünge dönemlerinin dağılımları incelenmiştir. Bir PCEB'nin yörünge dönemi genellikle sistemin en iyi bilinen fiziksel parametresidir. Burada farklı bir çok gözlemsel seçim etkisi de elbette yer almaktadır (Robinson, 1983). Uzun dönemlerle karşılaştırıldığında $P_{orb} < 1 \text{ gün}$ dönemli sistemlerin yörünge parlaklık değişimlerinin belirlenmesi görece olarak daha kolaydır. Bu nedenle dönem dağılımlarının istatistikleri yapılarak sonuçları tartışmanın yararlı olacağı düşünülmüştür. PCEB'lerin dönem dağılımını belirlemek amacıyla Ritter & Kolb (2010) kataloğunda yer alan $P_{orb} < 8 \text{ gün}$ olan sistemler seçilmiştir ve Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Histogramda yer alan PCEB yıldızlarının genel olarak homojen bir örneklem grubu oluşturduğu düşünülebilir. PCEB yıldızlarının %80'ni $P_{orb} < 1 \text{ gün}$ dönemli sistemlerden oluşmaktadır. Bu sistemlerin de 3-4 sa ve 7-8 sa aralıklarında yığılma gösterdikleri görülmektedir. $P_{orb} > 1 \text{ gün}$ olan sistemlerin sayısının, kısa dönemlilerle karşılaştırıldığında belirgin biçimde az olduğu ve daha uzun dönemlere doğru giderek azaldığı görülmektedir. Daha uzun

yörünge dönemlerinde çiftin yörünge enerjisinin, zarfı atmak için daha az etkin biçimde kullanıldığı varsayılmaktadır.

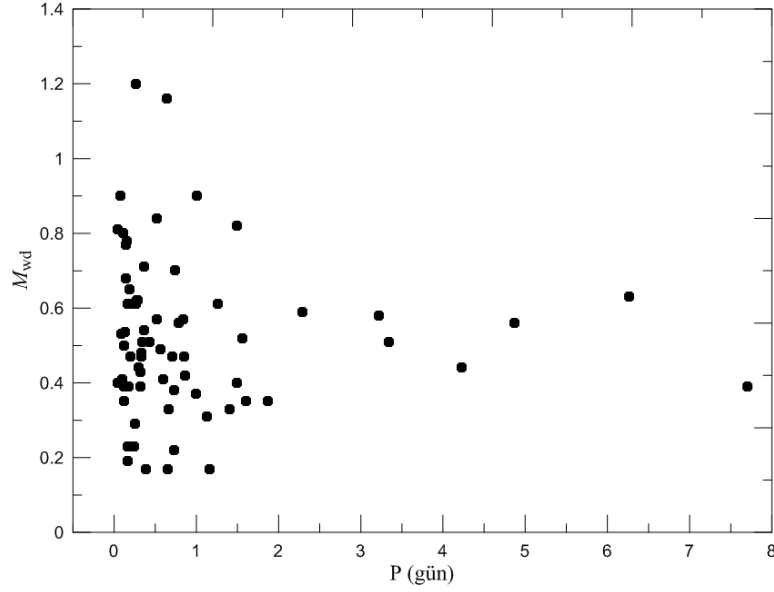


Şekil 3.1: Ritter & Kolb (2010) kataloğunda yer alan PCEB'lerin yörünge dönemlerinin dağılımı.

3.2. Baş Yıldızların Kütle Dağılımı

Ritter & Kolb kataloğunda yer alan 43 PCEB yıldızı tutulma göstermektedir. Buna ek olarak ayrıca 165 PCEB türü yıldızın da tayfsal çift olduğu belirlenmiştir. Tutulma gösteren çiftler içerisinde farklı evrim durumlarına sahip bileşenleri olan pek çok sistemin yer aldığı görülmektedir (K-M cücesi + wd; K-M cücesi + sdB; sdB + wd; wd + wd, vb.).

Baş bileşeni beyaz cüce olan ~ 70 PCEB türü sistemin kütesinin yörünge dönemine göre dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu örneklemede baş yıldızın ortalama kütesi $M_1 \sim 0.5 M_{\odot}$ ve standart sapması $\sigma_m = 0.21 M_{\odot}$ olarak elde edilmiştir. Baş bileşenin kütesinin bu kadar küçük olmasının CV'lerin büyük kısmının küçük kütleli beyaz cüce içermesinden ve CV'lerdeki beyaz cücelerin kütle dağılımlarının tek, alan beyaz cücelere uymamasından ileri geldiği düşünülmektedir (Ritter & Burkkert, 1985,1986). $P < 2$ gün dönemli sistemlerde baş bileşenin kütesi dönemden bağımsız olarak $0.2 < M_{wd} < 1.2 M_{\odot}$ gibi geniş bir aralıkta yer alırken $P > 2$ gün dönemli sistemlerde $0.4 < M_{wd} < 0.6 M_{\odot}$ aralığında sınırlı kaldığı görülmektedir.



Şekil 3.2: PCEB türü sistemlerde baş bileşen beyaz cücenin kütesinin yörünge dönemine göre dağılımı.

3.3. İkinci Bileşen Yıldızların Kütle-Yarıçap İlişkisi

Çift yıldızlarda ortak zarf (CE) evrimi ve bunun ikinci bileşen üzerindeki etkisi hala tam olarak anlaşılammış evrelerden biridir. Ortak zarf sonrası yıldızlar üzerine yapılan birçok gözlemsel çalışma, sistemin geri tayf türünden ikinci bileşeninin aynı kütleli yıldızlara göre daha büyük yarıçaplı olabileceğini göstermektedir (Bruch 1999; Bruch ve Diaz, 1999; Wood et al., 1999; Vennes et al., 1999; O'Brien et al., 2001). Literatürde bu durum, ikinci bileşenin ortak zarf evriminde kütle aktarımından dolayı ısısal dengeden ayrılması ile ya da ikinci bileşen yıldızın aktif olması ile ilişkilendirilmektedir. PCEB aday yıldızların parametrelerinin yer aldığı çalışmalardan (Ritter & Kolb, 2010; Hillwig et al., 2000; Schreiber, 2003) elde edilen veriler kullanılarak bu problemin araştırılması amacı ile ikinci bileşenlerin kütle-yarıçap ilişkisi incelenmiş ve büyük yarıçaplı ikinci bileşene sahip çok sayıda PCEB olduğu belirlenmiştir.

Beyaz cüce ve kırmızı cüce bileşen içeren yakın bir çift sistem CE evresinden bir kere geçerse, ikinci bileşenin kütle ve yarıçapı CE'nin oluşumu sırasında kütle aktarımından dolayı değişebilir. CV evriminde toplanma süreci boyunca ikinci bileşenin tepkisi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Prialnik & Livio (1985), $0.2 M_{\odot}$ kütleli, tamamıyla konvektif bir yıldız için farklı miktarlarda madde toplanması durumundaki evrim modellerini kullanarak toplanmanın ikinci bileşen üzerindeki etkisini incelemiştir. Toplanma miktarı 10^{-4} - $10^{-5} M_{\odot}$ /yıl aralığındaki modellerde, gelen madde sistemin küçülme miktarından daha hızlı toplanmaktadır ve sonuçta ikinci bileşenin yarıçapı büyümektedir. Hjellming &

Taam (1991) tarafından yayınlanan bir başka çalışmada CE koşullarında $1.25 M_{\odot}$ kütlesindeki bir anakol yıldızının tepkisi incelenmiştir. Göreli olarak yüksek toplanma miktarlarında (10^{-5} - $10^{-1} M_{\odot}/\text{yıl}$) ikinci bileşenin yarıçapının en yüksek toplanma miktarında anakol benzerine göre on kat daha büyük yarıçapa kadar genişleyebileceğini hesaplamışlardır. İkinci bileşen roche lobunu doldurduktan sonra topladığı kütlenin hemen hemen tamamını kaybeder ve sadece küçük bir miktar kütle ($\sim 0.01 M_{\odot}$), zarfın ortaya çıkmasından sonra toplanmış olarak ikinci bileşen üzerinde kalır. Sonuçta ikinci bileşenin yüzey katmanları ısısal dengeden ayrılır ve başlangıçtaki anakol yarıçapına göre daha büyük bir yarıçapta ısısal durulma (relaxation) aşamasına girer. Görüldüğü gibi CE evresi boyunca ikinci bileşenin kütlesinin hızlı bir biçimde değiştiğine ya da önemli miktarda değişimin olmayacağına ilişkin hala sorular olmasına rağmen, bileşenlerin yarıçaplarında önemli değişimler olduğunu gösteren gözlemsel kanıtlar vardır.

Düşük kütleli ikinci bileşen yıldızın yarıçapını arttırabilecek ikinci neden manyetik aktivite etkinliğidir. Manyetik olarak aktif ve aktif olmayan yıldızların parametreleri karşılaştırıldığında aktif yıldızların aktif olmayanlara göre soğuk ve daha büyük yarıçaplı olduğunu gösteren birçok çalışma literatürde yer almaktadır (Mullan & McDonald, 2001; Morales, Ribas & Jorde, 2008).

Çalışmanın bu bölümünde tartışılan sebepleri göz önüne alarak PCEB'lerin evrim durumlarını belirlemek için hesaplamalar yapılmış, büyük yarıçaplı ikinci bileşene neyin sebep olabileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için Afşar & İbanoğlu (2008) çalışmasında benzer biçimde büyük yarıçaplı ikinci bileşenleri incelemek için izlenen yöntem kullanılmıştır. Öncelikli olarak PCEB adaylarının parametreleri Ritter & Kolb (2010)'un hazırladıkları katalogdan alınmış, buna ek olarak birçok adayın parametreleri araştırılarak liste güncellenmiştir. Toplamda 212 dizge tespit edilmiş olsa da bunların büyük bir bölümünün yalnızca tayfsal çalışmalarından elde edilen dönemleri yer almaktadır. Bu sebeple yaptığımız çalışmaya uygun olarak beyaz cüce-geri tayf türünden anakol yıldız çiftleri seçilmiş ve bunların da ikinci bileşenlerinin kütle ve yarıçapı belirlenmiş olanları eklenerek toplam 45 dizgeden oluşan yeni bir liste oluşturulmuştur (Tablo 3.1ab). Bu yıldızlar evrimlerinin sonunda yarı-ayrık, etkileşen bir çift sisteme doğru evrimleşerek bir CV'ye dönüşecek olan PCEB'lerin, gözlemsel verileri elde edilmiş adaylarından oluşmaktadır. Listede bazı bileşenlerin etkin sıcaklıkları belirlenemediği için, önerilen tayf türleri, ilgili referanslardan alınmıştır ve bu tayf türlerine karşılık gelen etkin sıcaklıklar için Legget (1992) tarafından verilen sıcaklıklar kullanılmıştır. Yıldızlara ilişkin gözlemlerden elde edilen sıcaklıklar

($T_{göz}$) beyaz cücenin ikinci bileşen üzerindeki ek ısıtmasından dolayı farklı evrelerde farklı değerlerde elde edilebilmektedir. Bu çalışmada kullanılan gözlemsel sıcaklık değerleri yalnızca bu bileşenin bir anakol yıldız olması durumunda beklenen sıcaklıklar ile karşılaştırma ve yıldıza ilişkin gözlemlenen büyük yarıçapların nedenini tartışırken yorumlama amacıyla kullanılmıştır (t_{th} hesaplamalarında T_{teo} kullanılmıştır). Ayrıca dizgelerin aynı kütleli anakol modelleri ile yarıçapları arasındaki farklılıklar hesaplanmıştır (Bu yarıçaplara ilişkin $R_{2göz}/R_{2teo}$ oranları karşılaştırma amacıyla Tablo 3.1b’de verilmiştir).

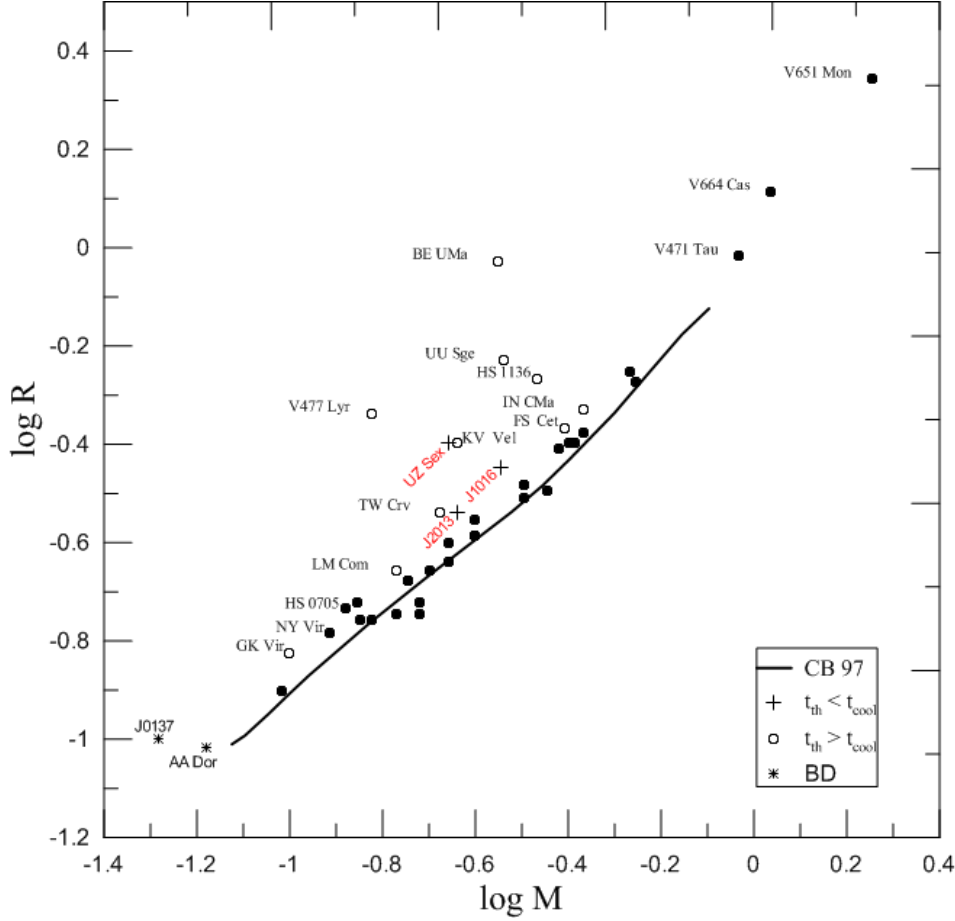
Bu liste kullanılarak PCEB yıldızlarına ilişkin M_2 - R_2 grafiği elde edilmiştir (bkz Şekil 3.3). Anakol yıldızları ile karşılaştırmak amacı ile Chabrier ve Baraffe (1997, CB97) çalışmasındaki teorik anakol modeli (10^6 yıl yaşında ve $[M/H] = 0.0$) de şekilde yer almaktadır.

Şekil 3.3’de M - R ilişkisi incelendiğinde PCEB’lerin çoğunluğunun (%66) CB97 tarafından elde edilen teorik anakol ile uyumlu olduğu görülmektedir. 15 PCEB dizgesi (J0137-3457, GK Vir, TW Crv, V477 Lyr, J1016-0520AB, RR Cae, UZ Sex, J2013+4002, KV Vel, BE UMa, UU Sge, HS 1136+667, IN CMa, FS Cet, LM Com) benzer kütleli anakol ve PCEB yıldızlarına göre ~ 1.6 kat daha büyük yarıçaplara sahiptir (bkz. Tablo 3.1b, $R_{2göz}/R_{2teo}$). Bazı durumlarda bu oranın ~ 3 kata kadar çıktığı (BE UMa) görülmektedir. Literatürde ikinci bileşenlerde gözlemlenen büyük yarıçaplar için olası iki neden önerilmektedir: (i) yıldızın ısıl dengede olmaması, (ii) yıldız yüzeyini kaplayan lekelerin, aktarılan konvektif enerjiyi engellemesi (manyetik aktivite).

Bu çalışmada yıldızın ısıl dengede olup olmadığını belirlemek amacı ile Prialnik & Livio (1985) tarafından verilen zarfın ısıl durulma zaman ölçeği,

$$t_{th} \approx (GM_2 M_{env} \Delta R) / (R_2^2 L_2) \quad (3.1)$$

kullanılmıştır. Bu eşitlikte M_2 yoldaş bileşenin kütlesi, R_2 yıldızın teorik olarak hesaplanan (bir anakol yıldızı olması durumunda beklenen) yarıçapı (R_{teo}), L_2 yıldızın beklenen sıcaklığı (T_{teo}) ile beklenen yarıçapı kullanılarak elde edilen (beklenen) ısıtmasıdır (L_{teo}). ΔR ise gözlenen yarıçap ($R_{göz}$) ile bir anakol yıldız varsayımında beklenen yarıçap (R_{teo}) arasındaki farktır. Diğer bir deyişle ısıl dengeden uzaklaşmasından dolayı aynı kütleli bir anakol yıldızına göre yıldızın yarıçapındaki farklılaşma (artış) miktarını göstermektedir.



Şekil 3.3: Tablo 3.1a (içi dolu daireler) ve Tablo 3.1b’de (içi boş daireler) yer alan PCEB adaylarının ikinci bileşenleri için $\text{Log}M\text{-Log}R$ grafiği. Teorik anakol Chabrier ve Baraffe (1997)’den alınmıştır. Aynı kütleli anakol yıldızlarına göre daha büyük yarıçapa sahip olma sebebi olarak “o” ile temsil edilen dizgelerde yoldaş bileşenin ısıl dengede olmaması ($t_{\text{th}} > t_{\text{cool}}$) öngörülürken, “+” ile temsil edilen dizgelerde durum aktivite ile açıklanmaya çalışılmıştır. “*” ile de kahverengi cüceler gösterilmiştir.

Yukarıda da anlatıldığı üzere ortak zarf evresinde yoldaş üzerinde madde birikmekte ve onu ısıl dengeden uzaklaştırmaktadır. Bununla birlikte yapılan çalışmalar (ortak zarf evresinin sona ermesiyle beraber) kütle aktarımından sonra yoldaş üzerinde çok az miktarda kütle ($\sim 0.01M_{\odot}$) kaldığını da ortaya koymaktadır. Bu sebeple t_{th} değerleri bu az miktardaki kütle toplanmasından kaynaklanan zarf kütlesi (M_{env}) için Prialnik & Livio (1985) tarafından önerilen üç teorik değer ($0.05, 0.01$ ve $0.005 M_{\odot}$) kullanılarak ayrı ayrı hesaplanmıştır (Tablo 3.1b).

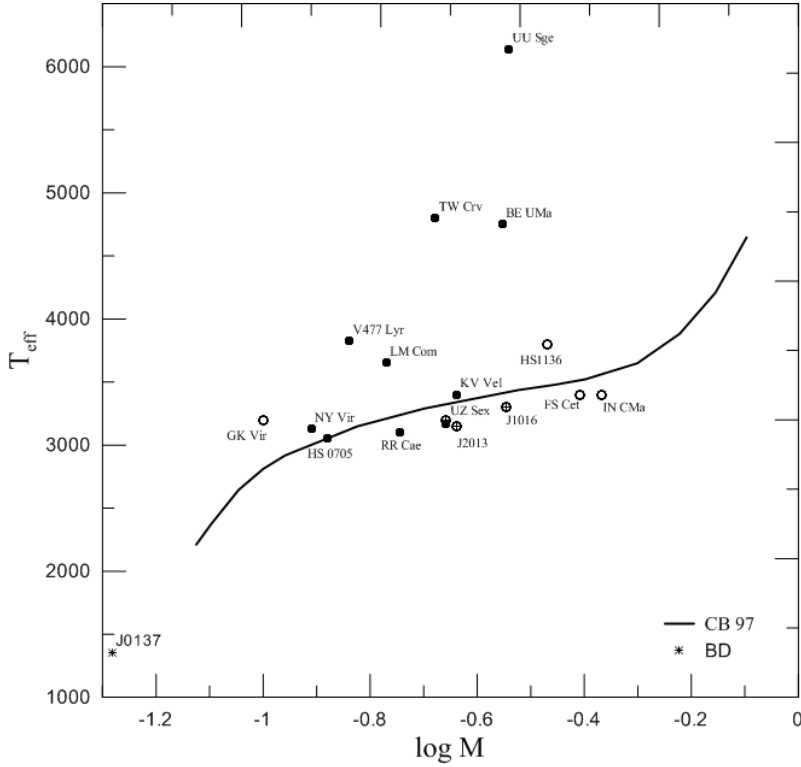
Baş bileşenin soğuma yaşı (t_{cool}), sistemin CE evresinden sonraki yaşını göstermektedir. Beyaz cüce soğuma yaşları için her bir dizgeye ilişkin kaynaklar incelenerek, verilen ve beyaz cüce evrim modellerinin önerdiği yaşlar kullanılmıştır. Örneğin Althaus ve Benvenuto (1997,1998) çalışmalarındaki modellerde, CO ya da He beyaz cüceleri için belli kütle aralıklarında (CO için $0.5M_{\odot}\text{-}1.2M_{\odot}$, He için $0.15M_{\odot}\text{-}0.5M_{\odot}$) farklı miktarlardaki H zarf kütlesi için (CO için $10^{-13}M_{\odot} \leq M_{\text{H}}/M_{\text{WD}} \leq 10^{-4}M_{\odot}$, He için $10^{-8}M_{\odot} \leq M_{\text{H}}/M_{\text{WD}} \leq 10^{-3}M_{\odot}$) farklı

metal bolluklarında ($Z=0.000$ yada $Z=0.001$) hesaplamalar yaparak soğuma yaşı elde etmektedir. $t_{cool} \propto f(A,M)$ 'dir ve A , yozlaşmış merkez bölgelerdeki iyonlara ilişkin atom ağırlığıdır. Dolayısıyla merkez bölgeleri büyük A değerine (daha ağır elementlere) sahip beyaz cüceler diğerlerine göre daha hızlı soğumaktadırlar. Bir başka deyişle merkez bölgeleri oksijenden oluşmuş beyaz cüceler verilen bir ışıtmaya, merkez bölgeleri karbondan oluşmuş beyaz cücelere göre daha çabuk ulaşacaklardır. Ayrıca daha büyük kütleli (M) beyaz cüceler diğerlerine göre daha yavaş soğuyacaklardır.

Bunun iki nedeni vardır: birincisi büyük kütleli oldukları için sahip oldukları ısısal enerji diğerlerinden daha fazladır; ikincisi, verilen bir sıcaklık için daha küçük yarıçapa sahip olduklarından dolayı ışıma yaptıkları yüzey alanları diğerlerine göre daha küçüktür. Mestel modeli olarak bilinen bu yaklaşım beyaz cüce soğuma hesaplamalarına oldukça uyum gösterse de beyaz cücelerin soğuma zamanları üzerine önemli etkilere sahip olan beyaz cüce öncesi evrim biçimi, nötrino soğuması, kristalleşme etkisi ve çekirdek tepkimeleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak genel trende bakıldığında yüksek ısıtma bölgesinde (genç yaş) nötrino soğuması (Mestel modeline göre daha düşük ısıtma), düşük ısıtma bölgesinde de kristalleşmenin etkilerinin (Mestel modeline göre daha yüksek ısıtma) görüldüğü yaş hesaplamaları büyük ölçüde birbirlerini nötrüleyebilmektedir ve beyaz cücenin kabaca basit bir Mestel modeline uygun biçimde soğuduğu varsayımı da yapılabilmektedir.

Gezegensimsi bulutsu çekirdeklerindeki çift sistemlerde gezegensimsi bulutsunun varlığı bu sistemlerin yaşlarının tahmin edilmesine olanak verir. Schönberner (1983) ve Soker (2006), CE'den çıkma zamanından sonra geçen süre için $3 \times 10^4 - 4 \times 10^4$ yıl önermektedirler. Bu nedenle UU Sge, V477 Lyr, KV Vel ve BE UMa için yaşlar 3×10^4 yıl olarak kabul edilmiştir. Diğer sistemlerin yaşları için parametrelerin alındığı her bir referans çalışmaya gidilerek önerilen yaşlar kabul edilmiştir (bkz. Tablo 3.2, Yaş-I). Ayrıca Schreiber & Gansicke (2003) çalışmasında bazı PCEB'ler için teorik olarak hesaplanan beyaz cüce soğuma (t_{cool}) yaşları da karşılaştırma amacıyla Tablo 3.2'de (Yaş-II) yer almaktadır. Soğuma yaşının hesabı beyaz cücenin kütledeki belirsizlikler ve merkez bölgesinin kimyasal kompozisyonu ile yakından ilişkilidir. Tabloda kütle-yarıçap ilişkisi incelenen PCEB'lerde, beyaz cücenin soğuma yaşı (RR Cae dışında) 2.5×10^8 yıldan küçük olan sistemlerin baskın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak amacımız büyük yarıçaplı bileşenler için en güvenilir nedeni araştırmak olduğu için ikinci bileşenin ısıl dengeye gelme zamanı (t_{th}) ile beyaz cücenin soğuma yaşları (t_{cool}) Tablo 3.1b ve Tablo 3.2 kullanılarak her bir yıldız için aşağıda karşılaştırılmıştır. Böylece ikinci bileşenin ısıl dengede olup olmadığı, ikinci bileşen için kütle-etkin sıcaklık ($\text{Log}M-T_{eff}$) grafiği de kullanılarak yorumlanmaya çalışılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: PCEB yıldızlarının ikinci bileşenlerinin kütle-etkin sıcaklık grafiği. Küçük kütleli anakol yıldızlarına ilişkin teorik model CB97'den alınmıştır. Aynı kütleli anakol yıldızlarına göre daha büyük yarıçapa sahip dizgeler içi dolu ve boş daireler ile gösterilmiştir. İçi boş olanlara ilişkin veriler tayf, dolu olanlara ilişkin veriler ise fotometrik çözümlerden elde edilmiştir. Yarıçap farklılığı aktivite kaynaklı olduğu düşünülen üç sistem “+” ile, kahverengi cüce olan J0137 ise yine “*” ile gösterilmiştir.

NY Vir ve HS0705+6700: Her iki dizgenin tez çalışması kapsamında fotometrik gözlemleri 2009-2011 yıllarında yapılmıştır. Işık eğrisi çözümünde elde edilen değerler bu çalışmada da kullanılmıştır. NY Vir ve HS0705+6700'nin soğuk bileşenlerinin aynı kütleli anakol yıldızları ile benzer yarıçapa sahip olduğu belirlenmiştir.

WD 0137-349: Metalce zayıf yıldızların taramasında çok sönük mavi bir yıldız olarak belirlenmiştir (Preston et al., 1991). Yıldız olma sınırının altında bir bileşene ($0.052 M_{\odot}$) sahip olduğu belirlenen, ≈ 116 dk. yörünge dönemli ilk PCEB yıldızdır (Maxted et al. , 2006). Her üç zarf kütlesi için hesaplanan ısıl dengeye gelme zaman ölçeği, beyaz cücenin soğuma yaşından büyük elde edilmektedir, bu

da yıldızın ısısal dengede olmadığını göstermektedir. Kahverengi cücenin sıcaklığı, CB97'nin teorik model aralığının dışında kaldığından ve modelin öngördüğü sıcaklık gözlenen değerden çok düşük elde edildiği için, ısısal zaman hesabında gözlenen sıcaklık değeri kullanılmıştır. Ayrıca kahverengi cüce için Maxted et al. (2006) tarafından verilen yarıçap gözlemsel olarak belirlenemediğinden, kahverengi cüce gözlemlerinden elde edilen ortalama bir yarıçap değeri kullanılmıştır. Bu nedenle ikinci bileşenin ileri dönemlerde yapılacak gözlemler ile elde edilecek hem yarıçap hem de sıcaklık değerleri ile bu sonuçlar değişebilir.

PNNei (V477 Lyr, BE UMa, KV Vel ve UU Sge): Gezegenimsi bulutsu yapısı hala gözlemlenebilen bu sistemler için önerilen 3×10^4 yıllık beyaz cüce soğuma yaşı, ısısal zaman ölçeklerinden 10^3 - 10^4 kat daha küçük elde edilmektedir. Zaman ölçekleri arasındaki bu fark ikinci bileşenin yüzey katmanlarının ısısal olarak kararsız olduğunu göstermektedir. KV Vel dışındaki sistemlerin gözlemler ile elde edilen etkin sıcaklıkları, ikinci bileşenlerin modelin öngördüğünden çok daha sıcak yıldızlar olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.1a: Seçilmiş PCEB adayları ve parametreleri (M - R grafiğinde teorik anakol ile uyumlu olanlar) (Ritter & Kolb (2010) Kataklimik değişen yıldızlar ve ilişkili cisimler kataloğu).

Yıldız	M_2	R_2	$\log M_2$	$\log R_2$	Yıldız	M_2	R_2	$\log M_2$	$\log R_2$
AA Dor	0.066	0.096	-1.18	-1.02	V1513 Cyg	0.250	0.280	-0.60	-0.55
HR Cam	0.096	0.125	-1.02	-0.90	J1016-0520AB	0.285	0.357	-0.55	-0.45
NY Vir	0.122	0.160	-0.91	-0.80	J0110+1326	0.320	0.310	-0.49	-0.51
0705+6700	0.134	0.186	-0.87	-0.73	J0052-0053	0.320	0.330	-0.49	-0.48
1042-6902	0.140	0.190	-0.85	-0.72	J2339-0020	0.320	0.330	-0.49	-0.48
HW Vir	0.142	0.175	-0.85	-0.76	EG UMa	0.360	0.320	-0.44	-0.49
NN Ser	0.150	0.175	-0.82	-0.76	J0246+0041	0.380	0.390	-0.42	-0.41
J1548+4057	0.170	0.180	-0.77	-0.74	J2125-0107	0.400	0.400	-0.40	-0.40
CC Cet	0.180	0.210	-0.74	-0.68	DE CVn	0.410	0.400	-0.39	-0.40
MS Peg	0.190	0.180	-0.72	-0.74	QS Vir	0.430	0.420	-0.37	-0.38
J1151-0007	0.190	0.190	-0.72	-0.72	BPM 71214	0.540	0.560	-0.27	-0.25
MT Ser	0.200	0.220	-0.70	-0.66	J2130+4710	0.555	0.534	-0.26	-0.27
J1435+3733	0.220	0.230	-0.66	-0.64	V471 Tau	0.930	0.960	-0.03	-0.02
J0303+0054	0.250	0.260	-0.60	-0.59	V664 Cas	1.090	1.300	0.04	0.11
J1529+0020	0.250	0.260	-0.60	-0.59	V651 Mon	1.800	2.200	0.26	0.34

GK Vir, HS 1136+6646, LM Com: Bu yıldızlar için gözlenen sıcaklık, benzer kütleli anakol yıldızlarına göre oldukça ön tayf türünden olduklarını göstermektedir. İki zaman ölçeği karşılaştırıldığında ikinci bileşenin zarfının dengede olmadığı görülmektedir.

Tablo 3.1b: *M-R* grafiğinde (bkz. Şekil 3.3) teorik anakol ile uyumlu olmayan PCEB adaylarının Prialnik & Livio (1985) tarafından önerilen 0.05, 0.01 ve 0.005 M_{\odot} kütleli zarflar için ısıl dengeye gelme zamanları (t_{th}). (Ritter & Kolb (2010) Katakizmik değişen yıldızlar ve ilişkili cisimler kataloğu).

Yıldız	M_2	R_2	$\log M_2$	$\log R_2$	$T_2_göz$	$T_2_göz$	T_2_teo	R_2_teo	$\frac{R_2_göz}{R_2_teo}$	$t_{th-0.05}$	$t_{th-0.01}$	$t_{th-0.005}$
0137-3457	0.052	0.1	-1.28	-1	1350	1350	1350	0.083	1.205	9.66E+09	1.93E+09	9.66E+08
GK Vir	0.1	0.15	-1	-0.82	M3-5	3200	2805	0.124	1.213	3.11E+08	6.21E+07	3.11E+07
TW Crv	0.15	0.31	-0.82	-0.51	4800	4800	3150	0.174	1.78	4.59E+08	9.17E+07	4.59E+07
V477 Lyr	0.145	0.463	-0.84	-0.33	3824	3824	3130	0.17	2.73	9.16E+08	1.83E+08	9.16E+07
J1016-0520AB	0.285	0.357	-0.55	-0.45	M3	3300	3418	0.278	1.283	4.69E+07	9.38E+06	4.69E+06
RR Cae	0.18	0.21	-0.74	-0.68	3100	3100	3245	0.2	1.05	1.74E+07	3.49E+06	1.74E+06
RR Cae	0.095	0.189	-1.02	-0.72	2500	2500	2732	0.118	1.598	1.06E+09	2.11E+08	1.06E+08
UZ Sex	0.22	0.4	-0.66	-0.4	3170	3170	3331	0.231	1.733	1.82E+08	3.65E+07	1.82E+07
UZ Sex	0.22	0.25	-0.66	-0.6	M4	3200	3331	0.231	1.083	2.07E+07	4.14E+06	2.07E+06
J2013+4002	0.23	0.29	-0.64	-0.54	M3-4	3150	3348	0.238	1.218	5.05E+07	1.01E+07	5.05E+06
KV Vel	0.23	0.402	-0.64	-0.4	3400	3400	3348	0.238	1.688	1.59E+08	3.19E+07	1.59E+07
BE UMa	0.28	0.94	-0.55	-0.03	4750	4750	3413	0.275	3.423	4.13E+08	8.27E+07	4.13E+07
UU Sge	0.288	0.558	-0.54	-0.25	6138	6138	3421	0.28	1.989	1.61E+08	3.23E+07	1.61E+07
HS 1136+667	0.34	0.54	-0.47	-0.27	K7	3800	3468	0.32	1.687	9.44E+07	1.89E+07	9.44E+06
IN CMa	0.43	0.47	-0.37	-0.33	M2	3400	3555	0.396	1.186	9.44E+07	1.89E+07	9.44E+06
FS Cet	0.39	0.43	-0.41	-0.37	M2	3400	3513	0.361	1.191	9.44E+07	1.89E+07	9.44E+06
LM Com	0.17	0.22	-0.77	-0.66	3650	3650	3217	0.192	1.148	9.44E+07	1.89E+07	9.44E+06

RR Cae: Schreiber & Gansicke (2003) tarafından önerilen beyaz cücenin soğuma yaşı 1 Gyr olup, bu çalışmadaki PCEB'ler içerisindeki en yaşlı sistemdir. Sistemin t_{th} ile t_{cool} zamanları karşılaştırıldığında, ikinci bileşenin dış katmanlarının ısıl durulma zamanını tamamladığı ve dengede olduğu görülmektedir. Ayrıca etkin sıcaklık-kütle grafiğinde benzer kütleli anakol yıldızlarından daha geri tayf türlerinde yer alması, sistemin ikinci bileşeninde gözlenen büyük yarıçapın manyetik aktivite ile ilişkili olabileceğini göstermektedir.

TW Crv: Exter (2005) baş bileşeni sıcak bir sdO yıldızı olan TW Crv'in tayfsal özelliklerini inceleyerek, gezegenimsi bulutsu gözlenmeyen bu yıldızın aslında UU Sge, BE UMa yıldızlarına benzer şekilde yaşının 3×10^4 yıl olduğunu önermektedir. Hesaplanan t_{th} bu değerden oldukça büyük olduğundan, ikinci bileşende gözlenen büyük yarıçap yıldızın ısıl dengede olmaması ile ilişkili görünmektedir.

Tablo 3.2: PCEB'lerin başbileşeninin (WD) parametreleri (* PNNi)

Yıldız	Tür 1	M_1	$T_1(K)$	log g	Yaş - I	Kaynak	Yaş - II Schreiber & Gansicke 2003
J0137-3457	DA	0.39	16500	7.49	2.50E+08	Maxted, 2006	
GK Vir	DAO	0.51	48800	7.70	5.00E+05	Fulbright, 1993	1.58E+06
TW Crv	DA	0.68	105000	7.00	3.00E+05	Exter, 2005	
V477 Lyr *	sdO	0.51	49500	5.67	3.00E+04	Afşar, 2008	
J1016-0520AB	DAO	0.57	55800	7.81	1.85E+06	Vennes, 1999	1.55E+06
RR Cae	DAwk	0.47	7005	7.70	1.90E+09	Benvuto, 1998	1.17E+09
RR Cae	DAwk	0.44	7540	7.70	1.90E+09	Benvuto, 1998	
UZ Sex	DA3	0.68	19900	8.10	1.40E+08	Bruch, 1999	8.32E+07
UZ Sex	DA3	0.65	17600	8.10	1.40E+08	Afşar, 2008	
J2013+4002	DAO	0.56	48000	7.69	5.00E+06	Kawka, 2008	1.20E+07
KV Vel *	sdO	0.63	77000	5.85	3.00E+04	Schönberner, 1983	
BE UMa *	DAO	0.59	123000	6.90	1.20E+05	Shimanski, 2008	
UU Sge *	sdO	0.63	78000	5.15	3.00E+04	Afşar, 2008	
HS 1136+667	DAO	0.63	70000	7.75	7.70E+05	Sing, 2004	3.55E+05
IN CMa	DAO1	0.56	52750	7.73			1.26E+06
FS Cet	DAO	0.57	57000	7.66			5.00E+06
LM Com	DA	0.35	29300	7.38	5.00E+06	Shimansky, 2003	1.12E+07

FS Cet, IN CMa: Bu yıldızların soğuk bileşenlerinin yarıçaplarının CB97'nin kütle-yarıçap ilişkisinden beklenenden daha büyük olduğu ve kabul edilen sıcaklıkların modelin öngördüğünden biraz küçük olduğu görülmektedir. Bu durum eğer $t_{th} < t_{cool}$ ise, ikinci bileşenin yüzeyindeki aktif bölgeler ile ilişkili

olabilir. Ancak t_{th} ve t_{cool} karşılaştırması, ikinci bileşenin yüzey katmanlarının ısısal olarak kararsız olduğunu göstermektedir ki, bu durumda ikinci bileşenin etkin sıcaklığının beklenenden daha büyük olması gerekir. Kawka et al. (2008) FS Cet ve IN CMA'nın dikine hız çalışmasında ikinci bileşenin kütlelerini iyi bir duyarlılıkla elde edilebilmiştir. Kütleye karşılık olarak kabul edilen M2 tayf türüne ilişkin, yıldızın renk-renk diyagramındaki konumuna göre ise tayf türünün M3 (IN CMA) ve K6-M2 aralığında (FS Cet) olabileceğini belirtmiştir.

UZ Sex: UZ Sex için önerilen her iki $t_{cool} \sim 10^8$ yıl olup, Bruch et al. (1999)'un elde ettiği parametreler kullanıldığında 0.01 ve 0.005 M_{\odot} zarf kütleleri için, Saffer et al. (1993)'nin parametreleri kullanıldığında ise her üç zarf kütleleri için de ikinci bileşenin ısısal dengede olduğu söylenebilir. İkinci bileşenin elde edilen sıcaklığı da bu öneriyi destekleyerek, manyetik aktivitenin varlığını doğrulamaktadır.

J2013+4002: Thorstensen et al. (1994)'un önerdiği beyaz cüce soğuma yaşı 0.005 M_{\odot} zarf kütleleri için t_{th} değerine yakın olup yıldızın henüz ısısal dengeye geldiğini göstermektedir. Schreiber & Gansicke (2003) tarafından verilen t_{cool} ise bu görüşü doğrularken 0.05 M_{\odot} zarf kütleleri için yıldızın dengede olduğunu göstermektedir. Gözlenen sıcaklıkların CB97 modelinden beklenenden düşük olması, ikinci bileşende gözlenen büyük yarıçapın olası manyetik aktif bölgelerle ilişkili olabileceğini göstermektedir.

RE 1016-053: Wood et al. (1999)'un çalışmasında ikinci bileşenin yarıçapı, aynı kütleli PCEB yıldızlarına ve modele (CB97) göre 1.3 kat daha büyük elde edilmiştir. Vennes et al. (1999)'un beyaz cücenin soğuma yaşı için önerdiği 1.85×10^6 yıl, Schreiber & Gansicke (2003)'nin teorik olarak hesapladığı yaş ile uyumludur (1.55×10^6). Önerilen t_{cool} değerinin, zarfın ısısal zaman ölçeğinden küçük olduğu görülmektedir ($M_{env} = 0.005 M_{\odot}$ alındığı durumda ısısal dengeye yakın olduğu söylenebilir). Bununla birlikte ikinci bileşen için tayfsal çalışmalardan elde edilen M3 (Wood et al., 1999) ve M5 (Vennes et al., 1999) tayf türlerine karşılık gelen sıcaklıkların, modelin öngördüğünden biraz düşük olduğu görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında yakın çift yıldızların evriminde en önemli basamaklardan biri olan ortak zarf evrimi süreci sonrasında oluşan PCEB türü sistemlerin yapıları ve evrimleri üzerine yapılan literatür çalışmaları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bileşenlerinden biri Roche lobunu dolduran ve madde aktaran K yada M tayf türünden kırmızı cüce olan, diğeri aktarılan bu maddeyi toplayan bir beyaz cüceden oluşan kataklismik değişen yıldızlar, etkileşen çift yıldız sistemleridir (Warner, 1995). CV'lerin, düşük kütleli bir bileşen ile orta kütleli bileşenin yer aldığı büyük yörüngelerde dolanan bir çift sistemden oluştuğu önerilmektedir. Büyük kütleli olan yıldız, evrim sürecinde dev yıldız boyutlarına ulaştığında Roche lobunu doldurur, diğer bileşene madde kaçıışı başlar ve sistem bir ortak zarf evresine girer. Zarf içerisindeki sürtünme, açısal momentum kaybına neden olur ve yörünge dönemi kısalır. Bu süreç sonrasında farklı bileşenleri içeren PCEB türü sistemler oluşur (sdOB+MS çiftleri, ayırık WD+MS çiftleri, WD+WD çiftleri). Bu ortak zarf evresinin ardından çift ilk olarak gezegenimsi bulutsunun çift çekirdeği olarak görülür. Yörünge dönemi bir günden kısa olan ortak zarf sonrası yıldızlar yörünge açısal momentumu kaybı ile yarı-ayırık CV'lere doğru evrimleşirler (Schreiber & Gansicke, 2003). Beyaz cüce ve anakol yıldızı içeren sistemlerde etkin mekanizma manyetik frenleme ile açısal momentum kaybıdır. Dolayısıyla fotometrik olarak gözlenecek minimum zamanlarındaki değişim, bu sistemler için öngörülen açısal momentum kayıp miktarlarının test edilmesi açısından önemlidir. Ayrıca bu tür sistemler CE evrimi üzerine şimdiye kadar yapılmış olan kuramsal çalışmaların test edilmesine de olanak sağlamaktadır. PCEB yıldızlarının salt parametreleri, evrim modellerinden bağımsız hesaplanabildiğinden yakın çiftlerin evrim süreçlerinin anlaşılması açısından da önemli sistemlerdir.

Tez kapsamında PCEB türü bir yıldız olan ve örten çift olduğu bilinen NY Vir dizgesinin 2009-2011 yıllarında Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde V renginde gözlemleri yapılmıştır. IQ Cam ve HS 0705+6700'in gözlemleri ise 2010 yılında Tübitak Ulusal Gözlemevi'nde R renginde yapılarak dizgelerin parlaklık değişimleri elde edilmiştir. Her üç yıldızın ışık eğrilerinin çözümünden yıldızlara ilişkin hesaplanan fiziksel parametreler tezde ayrıntılı biçimde sunulmuştur. Gözlenen PCEB yıldızlarının minimum zamanları literatür çalışmalarından derlenerek *O-C* değerleri hesaplanmış ve olası dönem değişimleri incelenmiştir. IQ Cam dizgesinde *O-C* değişiminin doğrusal olduğu belirlenmiş ve yeni ışık öğeleri hesaplanmıştır.

Qian et al. (2009) çalışmasında HS 0705+6700 dizgesinin ~ 7.15 yıllık bir çevrimsel dönem değişimine sahip olduğunu ve bu değişimin sistemde kahverengi bir cüce ($i > 32^\circ.8$ için $M_3 < 0.0.72 M_\odot$) olduğu varsayılan üçüncü cisimden kaynaklandığı önerilmiştir. Daha sonra Qian et al. (2010) dizgenin yörünge dönemindeki değişime ilişkin kütle fonksiyonunu $5.8 \times 10^{-5} M_\odot$ olarak belirlemiş ve 15.7 yıllık çevrimsel bir dönem değişimi gösterdiğini ileri sürmüştür. HS0705+6700 dizgesinin hem *O-C* hem de ışık eğrisi çözümleri sisteme bağlı üçüncü bir cismin varlığına işaret etmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan gözlemlerden elde edilen minimum zamanları kullanılarak yapılan incelemede, 98.5 s genlikli ve 8.06 yıl dönemli sinüsoidal bir değişim elde edilmiştir. *O-C* analizi ile üçüncü cisme ilişkin kütle fonksiyonu $f(m) = 1.2(\pm 0.6) \times 10^{-4}$ olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sinüsoidal değişimin $0.12 M_\odot$ kütleyle sahip üçüncü cisimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Qian et al. (2010) tarafından belirlenen dönemin iki kat büyük olması nedeniyle kütle fonksiyonunun iki kat daha küçük olduğu görülmektedir. HS 0705+6700 dizgesinin ışık eğrisi modellenmesi sonucunda 0.25 evrede üçüncü cismin sistemin toplam ışığına %4 katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar sisteme fiziksel olarak bağlı üçüncü bir cismin varlığını doğrulamaktadır.

NY Vir dizgesinin *O-C* analizi sistemin yörünge döneminin monoton olarak azaldığını göstermektedir. Yörünge dönemindeki azalma $dP/dt = -4.09 \times 10^{-8}$ gün yl^{-1} olarak belirlenmiştir. Kilkenny (2011) tarafından önerilen dönem azalması bu çalışma ile yapılan yeni gözlemlerle de doğrulanmıştır. NY Vir dizgesinde gözlenen bu dönem değişiminin nedeni sistemde kütle alışverişi/kaybı mekanizmaları ile açıklanabilmektedir. Bileşenler arasındaki kütle aktarımı genellikle ikinci bileşenin Roche lobunu doldurduğu ve L_1 Lagrange noktasından kütle aktarımının olduğu yarı-ayrık sistemlerde gerçekleşmektedir. Ancak PCEB'ler baş bileşenin bir beyaz cüce ya da alt cüce, yoldaş bileşenin ise düşük kütleli bir yıldız olduğu ayrık çift sistemlerdir ve bileşenler arasında kütle aktarımı gerçekleşmez. Bu nedenle yörünge dönemindeki azalma bileşenler arası kütle aktarımı ile açıklanamaz. NY Vir dizgesinde gözlenen *O-C* değişiminin açıklanabileceği bir diğer yaklaşım, çift sistemdeki açısal momentum kaybıdır. CV öncesi sistemlerde açısal momentum kaybı, çekimsel dalgalar ve tamamen konvektif ikinci bileşen ile ilişkili manyetik frenleme olmak üzere iki mekanizma ile açıklanmaktadır. Ancak yörünge dönemindeki herhangi bir değişimin belirlenebilmesi ve gözlemlerin doğru bir şekilde yorumlanabilmesi için *O-C* değişiminin en az bir çevrimi kapsaması gereklidir. NY Vir'de gözlenen dönem azalması eğer uzun dönemli çevrimsel bir değişimin yalnızca bir parçası ise,

sistemdeki üçüncü bir cismin varlığını ya da büyük bir olasılıkla manyetik aktiveden kaynaklı bir değişimi ortaya koyabilir. Bununla birlikte NY Vir dizgesinin ışık eğrisi analizi sistemin toplam ışığına katkıda bulunabilecek üçüncü bir cismin olmadığını göstermektedir. PCEB yıldızlarının büyük teleskoplar kullanılarak yapılacak hızlı ve çok renk fotometrik ölçümleri ile elde edilecek yeni minimum zamanları, her iki sistemde gözlenen *O-C* değişimlerinin gerçek doğasını ortaya çıkaracak ipuçları verecektir.

Çözümler sonucunda ikinci bileşen için elde edilen salt parametreler, düşük kütleli cüce yıldızlar için yapılan modeller ile karşılaştırılmıştır. NY Vir ve HS 0705+6700 dizgelerinin geri tayf türünden ikinci bileşenleri için elde edilen kütle ve yarıçap değerleri, düşük kütleli anakol yıldızları için yapılmış evrim modelleri ve gözlemler ile karşılaştırıldığında anakol yıldızları ile uyumlu oldukları görülmüştür.

NY Vir, IQ Cam ve HS 0705+6700 için tayf çizgileri temel alınarak yapılan atmosfer modellerinden belirlenen T_e ve $\log g$ değerleri kullanılarak sıcak bileşenlerin $\log T_e - \log g$ diyagramındaki konumları karşılaştırılmıştır. NY Vir dizgesinin sıcak bileşeninin $\log T_e - \log g$ diyagramında yatay kol evriminin son yarısında olduğu, HS 0705+6700 dizgesinin sıcak bileşeninin de diyagramda $0.475M_{\odot}$ - $0.480M_{\odot}$ kütle aralığında yer aldığı ve yatay kol evrimini henüz tamamlamış olduğu görülmektedir. IQ Cam'ın sıcak bileşeninin ise $\log T_e - \log g$ diyagramında $0.471M_{\odot}$ kütleli yatay kol yıldızlarının evrim yolu üzerinde ve yatay kol evriminin yarısında olduğu görülmektedir. NY Vir ve HS 0705+6700 dizgelerinin ilerideki evrim sürecinde dönem boşluğunun altında bir döneme sahip olan kataklismik değişen yıldızlar olarak evrimleşeceği önerilmektedir. IQ Cam dizgesi için ise bir sdB ile beyaz cüce bileşen içeren en kısa dönemli sistemlerden biri olduğundan, çekimsel dalgalarla açılal momentum kaybı ile benzer bileşenlere sahip diğer sdB yıldızlarına göre daha hızlı evrimleşeceği ve sonunda her iki bileşeninin birleşeceği önerilmektedir.

Günümüzde bilinen ve iyi gözlenmiş PCEB'lerin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, "kataklismik değişenler ve ilişkili cisimler" kataloğunda (Ritter & Kolb, 2010) yer alan PCEB'lerin yörünge dağılımları, baş bileşenlerinin kütle dağılımı ve ikinci bileşenleri için kütle-yarıçap ilişkileri incelenmiştir. Sonuç olarak PCEB yıldızlarının %80'inin $P_{orb} < 1 \text{ gün}$ dönemli sistemlerden oluştuğu ve bu sistemlerin de $3-4 \text{ sa}$ ve $7-8 \text{ sa}$ aralıklarında yığılma gösterdikleri belirlenmiştir. $P_{orb} > 1 \text{ gün}$ olan sistemlerin sayısı kısa dönemlilerle

karşılaştırıldığında belirgin biçimde azdır ve daha uzun dönemlere doğru giderek azalmaktadır. Baş bileşeni beyaz cüce olan PCEB türü sistemlerde baş yıldızın ortalama kütlesi $M_1 \sim 0.5 M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. Baş bileşenin kütlesinin bu kadar küçük olmasının CV'lerin büyük kısmının küçük kütleli beyaz cüce içermesinden ve CV'lerdeki beyaz cücelerin kütle dağılımlarının tek beyaz cücelere uymamasından ileri geldiği düşünülmektedir. $P < 2$ gün dönemli sistemlerde baş bileşenin kütlesi, dönemden bağımsız olarak $0.2 < M_{wd} < 1.2 M_{\odot}$ gibi geniş bir aralıkta yer alırken $P > 2$ gün dönemli sistemlerde $0.4 < M_{wd} < 0.6 M_{\odot}$ aralığında kaldığı görülmüştür.

PCEB türü sistemlerdeki ikinci bileşenlerin kütle-yarıçap ilişkisi incelendiğinde ve bu yıldızların anakol yıldızı oldukları düşünüldüğünde bazı PCEB yıldızlarında yarıçaplarının kütlelerine göre beklenenden daha büyük değerlere sahip oldukları bulunmuştur. Büyük yarıçapların nedeninin araştırılması için ikinci bileşenlerin ısıl dengeye gelme zamanı (t_{th}) ile beyaz cücenin soğuma yaşları (t_{cool}) karşılaştırılmıştır. Böylece ikinci bileşenlerin ısıl dengede olup olmadığı, ikinci bileşenler için kütle-etkin sıcaklık ($M-T_{eff}$) grafiği de kullanılarak, kütle-yarıçap diyagramında sapma gösteren her yıldız için ayrı ayrı tartışılmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Afsar, M. and Ibanoglu, C., 2008, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 391, 802p.

Althaus L. G. and Benvenuto O. G., 1998, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 296, 206 (AB98)p.

Althaus, L. G. and Benvenuto, O. G., 1997, The Astrophysical Journal, 477, 313p.

Beer, M. E., Dray, L. M., King, A. R. and Wynn, G. A., 2007, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 375, 1000p.

Bodenheimer, P. and Taam, R. E., 1984, The Astrophysical Journal, 280, 771p.

Brassard, P., Fontaine, G., Billères, M., Charpinet, S., Liebert, J. and Saffer, R. A., 2001, The Astrophysical Journal, Volume 563, Issue 2, pp. 1013-1030pp.

Bruch A., 1999, The Astronomical Journal, 117, 3031p.

Bruch A. and Diaz M. P., 1998, The Astronomical Journal, 116, 908p.

Bruch A. and Diaz M. P., 1999, Astronomy and Astrophysics, 351, 573p.

G. Chabrier, J. Gallardo, and I. Baraffe, 2007, Astronomy and Astrophysics, 472, 17-20pp.

Charbonnel, C., Däppen, W., Schaerer, D., Bernasconi, P. A., Maeder, A., Meynet, G. and Mowlavi, N., 1999 Astronomy and Astrophysics Supplement, v.135, p.405-413pp.

Charpinet, S., van Grootel, V., Reese, D., Fontaine, G., Green, E. M., Brassard, P. and Chayer, P., 2008, Astronomy and Astrophysics, 489, 377p.

Dorman, B., Nelson, L. A., and Chau, W. Y. 1989, The Astrophysical Journal, 342,1003p.

Dorman, B., Rood, R.T., and O'Connel, R.W., 1993, The Astrophysical Journal, 419, 596p.

Downes, R.A., 1986, The Astrophysical Journal Supplement Series,61, 569p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Drechsel, H., Heber, U., Napiwotzki, R., Østensen, R., Solheim, J.-E., Johannessen, F., Schuh, S. L., Deetjen, J., and Zola, S., 2001, *Astronomy and Astrophysics*, 379, 893p.

Exter K. M., Pollacco D. L., Maxted P. F. L., Napiwotzki R., and Bell S. A., 2005, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 359, 315p.

For, Bi-Qing; Green, E. M.; Fontaine, G.; Shaw, S., 2010, *Ap&SS*, 329, 87p.

Gänsicke, B. T., 2000, *Reviews in Modern Astronomy*, 13, 151p.

Green R. F., Schmidt M., and Liebert J., 1986, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 61, 305p.

Green, R. F., Liebert, J., and Wesemael, F., 1984, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 280, 177p.

Hagen, H-J., Groote, D., Engels, D., and Reimers, D. 1995, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 111, 195p.

Haili Hu, G., Nelemans, R., et al., 2007, *Astronomy and Astrophysics*, 473, 569-577pp.

Han Z, Podsiadlowski P, Maxted PFL, and Marsh TR., 2003, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 341:669–691pp.

Heber, U., Kudritzki, RP., Caloi V, Castellani V, and Danziger J., 1986. *Astronomy and Astrophysics*, 162:171–179 pp.

Heber, U., Edelmann, H., Lemke, M., Napiwotzki, R., and Engels, D. 1999, *11th European Workshop on White Dwarfs, ASP Conference Series* 169, 551p.

Heber, U., 2009, *Annu. Rev. Astron. Astrophys*, 47:211p.

Hillwig, Todd C., Honeycutt, R. K., Robertson, and Jeff W., 2000, *The Astronomical Journal*, 120, 1113p.

Hjellming M. S. and Taam R. E., 1991, *The Astrophysical Journal*, 370, 709p.

Hu H, Nelemans G, Østensen R, Aerts C, Vučković M, and Groot PJ., 2007, *Astronomy and Astrophysics*, 473:569p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hu, Haili, Nelemans, G., Østensen, R., Aerts, C., and Vučković, M., Groot, P. J., 2007, *Astronomy and Astrophysics*, 473, 569p.

Ibanoglu, C., et al., 2005, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 360, 1077p.

Iben, I.J. and Livio, M., 1993, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 105, 1373p.

Irwin, J.B., 1959, *ApJ*, 116, 211p.

Kawaler, S. D. and Hostler, S. R., 2005, *The Astrophysical Journal*, Volume 621,1, pp. 432-444pp.

Kawka, A., Vennes, S., Dupuis, J., Chayer, and P., Lanz, T., 2008, *The Astrophysical Journal*, 675, 1518p.

Kilkenny, et al., 1998, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296, 329p.

Kilkenny, D., Keuris, S., Marang, F., Roberts, G., van Wyk, F., and Ogloza, W., 2000, *The Observatory*, 120, 48p.

Kilkenny, D., Marang, F., Menzies, J. W., and R.A.S., 1994, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, V.267, NO. 3/APR1, P. 535p.

Kilkenny, D., O'Donoghue, D., Koen, C., Lynas-Gray, A. E., and van Wyk, F., 1998, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296, 329p.

Koen, C., Orosz, J.A., and Wade, R.A., 1998, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 300, 695p.

Lee, J.W., Kim, S.-L., Kim, C.-H., 2009, *Astronomical Journal*, 137, 3181p.

Leggett S. K., 1992, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 82, 351p.

Livio, M., 1989, *Space Science Reviews*, 50, 299p.

Livio, M. and Iben, I.J., 1993, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 105, 1373p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Livio, M. and Soker, N., 1988, *The Astrophysical Journal*, 329, 764p.

Lucy, L. B. 1967, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89p.

Mansergas, A.R., 2008, Phd Thesis.

Maxted, P. f. L., Heber, U., Marsh, T. R., and North, R. C., 2001, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 326, Issue 4, pp. 1391-1402pp.

Maxted, P. F. L., Napiwotzki, R., Dobbie, P. D., and Burleigh, M. R., 2006, *Nature*, 442, 543p.

Menzies, J. W. and Marang, F., 1986, *Symposium of the International Astronomical Union*, 118, 305p.

Mestel, L. and Spruit, H. C., 1987, *Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, vol. 226 , p. 57-66p.

Meyer, F., Meyer-Hofmeister, E., 1979, *Astronomy and Astrophysics*, 78, 167p.

Miller, J. S., Krzeminski, W., and Priedhorsky, W., 1976, *International Astronomical Union Circulars*, 2974, 1p.

Morales, J.C., et al., 2008, *Astronomy and Astrophysics*, 478-507pp.

Mullan D. J., MacDonald J., 2001, *Astronomy and Astrophysics*, 559, 353p.

Nelemans, G. and Tout, C., 2005, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 356, 753p.

Nelemans, G., Verbunt, F., Yungelson, L. R., Portegies Zwart, and Simon F., 2000, *Astronomy and Astrophysics*, 360, 1011p.

O'Brien M. S., Bond H. E., and Sion E. M., 2001, *The Astrophysical Journal*, 563, 971p.

O'Donoghue, D., Koen, C., Kilkenney, D., Stobie, R. S., and Lynas-Gray, A. E., 1999, 11th European Workshop on White Dwarfs, ASP Conference Series 169, Astronomical Society of the Pacific, 149 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Orosz, J.A. and Wade, R.A., 1999, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 310, 773-783pp.

Østensen, R., Solheim, J.-E., and Heber, U., et al. 2001a, Astronomy and Astrophysics, 368, 175p.

Østensen, R., Heber, U., Silvotti, R., Solheim, J.-E., Dreizler, S., and Edelman, H., 2001, Astronomy and Astrophysics, v.378, p.466-476pp.

Østensen, R., Oreiro, R., Drechsel, H., Heber, U., Baran, and A., Pigulski, A., 2007, 15th European Workshop on White Dwarfs ASP Conference Series, Vol. 372, Astronomical Society of the Pacific, 483p.

Ostriker, J.P., 1973, IAU Semp.,55, 143, Models for Compact Pulsing X-Ray Sources.

Ostriker, J.P., 1975, IAU Semp., 73.

Paczyński, B. 1976, in The Structure and Evolution of Close Binary Systems, ed. P. Eggleton, S. Mitton, and J. Whelan (Dordrecht, Reidel), 75p.

Paczyński, B. and Ziółkowski, J., 1967, Acta Astronomica, Vol. 17, 7p.

Pinsonneault, M. H., Andronov, N., and Sills, A., 2002, The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects, ASP Conference Proceedings, Vol. 261., Astronomical Society of the Pacific, 208p.

Polubek, G., Pigulski, A., Baran, A., and Udalski, A., 2007, 15th European Workshop on White Dwarfs ASP Conference Series, Vol. 372, Astronomical Society of the Pacific, 487p.

Popper, D.M., 1980, Ann. Rev. Astron. Astrophys., 18, 115p.

Podsiadlowski, P., Han, Z., Lynas-Gray, A.E. and Brown, D., 2008, ASP Conference Series, 392,15-25pp.

Preston, George W., Sheckman, Stephen A., Beers, and Timothy C., 1991, The Astrophysical Journal, 375, 121p.

Prialnik D. and Livio M., 1985, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 216, 37p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Prsa, A. and Zwitter, T., 2005, Proceedings of the Gaia Symposium "The Three-Dimensional Universe with Gaia", ESASP, 576, 623p.

Qian, S.B., Dai, Z.A., et al., 2008a, The Astrophysical Journal, 689, L49p.

Qian, S.B., Zhu, L.Y., et al., 2009, The Astrophysical Journal, 695,163-165pp.

Rappaport, S., Verbunt, F., and Joss, P. C., 1983, Astrophysical Journal, vol. 275, Dec. 15, p. 713-731pp.

Rassio, F.A. and Livio, M., 1996, The Astrophysical Journal., 471, 366p.

Raymond, S. N., Szkody, P., and Hawley, S. L., 2003, The Future of Cool-Star Astrophysics: 12th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, , 992-997pp.

Rebassa-Mansergas, A., Gänsicke, B. T., Rodríguez-Gil, P., Schreiber, M. R., and Koester, D., 2007, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 382, Issue 4, pp. 1377-1393pp.

Ribas, I., 2005, ASPC, 335, 55p.

Ritter, H. and Kolb, U., 2009, "Cataclysmic Variable and Related Object", yCat, 102018.

Ritter, H. and Burkert, A., 1986, Astronomy and Astrophysics, vol. 158, no. 1-2, April, 161-173pp.

Ritter, H. and Burkert, A., 1985, In ESA Recent Results on Cataclysmic Variables, 17-20pp.

Ritter, H. and Kolb, U., 2010, VizieR On-line Data Catalog: B/cb, 102018. Originally published in: 2003, Astronomy and Astrophysics,404, 301p.

Robinson, E. L., 1983, Cataclysmic variables and related objects; Proceedings of the Seventy-second Colloquium, 101, 1-14pp.

Saffer R. A., Wade R. A., Liebert J., Green R. F., Sion E. M., Bechtold J., Foss D., and Kidder K., 1993, The Astronomical Journal, 105, 1945p.

Saffer, R. A., Green, E. M., and Bowers, T., 2001, 12th European Workshop on White Dwarfs, ASP Conference Proceedings, Vol. 226. , Astronomical Society of the Pacific, ISBN: 1-58381-058-7, 408p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Saio H. and Jeffery C.S., 2000, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 313, 671–77pp.

Schonberner D., 1983, The Astrophysical Journal, 272, 708p.

Schreiber, M. R. and Gänsicke, B. T., 2003, Astronomy and Astrophysics, 406, 305p.

Schultz, Greg, Zuckerman, B., and Becklin, E. E., 1996, Astrophysical Journal v.460, 402p.

Shimansky, V., Sakhbullin, N. A., Bikmaev, I., Ritter, H., Suleimanov, V., Borisov, N., and Galeev, A., 2006, Astronomy and Astrophysics, Volume 456, Issue 3, , pp.1069-1075pp.

Siess L., Dufour E., and Forestini M., 2000, Astronomy and Astrophysics, 358, 593p.

Sills, Alison, Pinsonneault, M. H., and Terndrup, D. M., 2000, The Astrophysical Journal, Volume 534, Issue 1, pp. 335-347pp.

Silvestri, N. M., Hawley, S. L., West, A.A., Szkody, P. And 19 coauthors, 2006, The Astrophysical Journal,3,1674-1686pp.

Sion, E. M., Greenstein, J. L., Landstreet, J. D., Liebert, J., Shipman, H. L., and Wegner, G. A., 1983, Astrophysical Journal, Part 1, vol. 269, p. 253-257pp.

Soker N., 2006, The Astrophysical Journal, 645, L57p.

Soker, N., Livio, M., and Harpaz, A., 1984, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 208, 763p.

Taam, R.E. and Bodenheimer, P., 1989, The Astrophysical Journal, 337, 849p.

Taam, R.E. and Fryxell,B.A., 1988, Bulletin of the American Astronomical Society, Vol. 20, 1043p.

Thorstensen, J. R., Vennes, S., and Shambrook, A, 1994, The Astronomical Journal, vol. 108, no. 5,1924-1930pp.

Vennes S., Thorstensen J. R., and Polomski E. F., 1999, The Astrophysical Journal, 523, 386p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vennes, S., Thorstensen, and John R., 1994, *Astrophysical Journal*, Part 2, vol. 433, no. 1, L29-L32pp.

Verbunt, F. and Zwaan, C., 1981, *Astronomy and Astrophysics*, vol. 100, no. 2, July, L7-L9pp.

von Zeipel, H. 1924, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, 665p.

Vučković, M., Aerts, C., Östensen, R., Nelemans, G., Hu, Haili, Jeffery, C. S., Dhillon, V. S., and Marsh, T. R., 2007, *Astronomy and Astrophysics*, 471, 605p.

Wade, R. A. and Rucinski, S. M. 1985, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 60, 471p.

Warner, B., 1995a, "*Cataclysmic Variable Stars*", Cambridge Uni. Press, Cambridge.

Webbink, R.F., 1975, Ph.D. thesis, Univ. of Cambridge, Cambridge, England.

Webbink, R.F., 1984, *The Astrophysical Journal*, 279, 252p.

Willems, B. and Kolb, U., 2004, *Astronomy and Astrophysics*, v.419, p.1057-1076pp.

Wils, P., di Scala, G., and Otero, S. A., 2007, *Information Bulletin on Variable Stars*, 5800, 1p.

Wood J. H., Harmer S., and Lockley J. J., 1999, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 304, 335p.

Wood J. H., Zhang E-H., and Robinson E. L., 1993, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 261, 103p.

Wood, J.H. and Saffer, R., 1999, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 305, 820p.

Wood, J. H., 1992, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 104, 780p.

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : C. Muzaffer ÇAMURDAN

Doğum Tarihi : 09/06/1977

Doğum Yeri : Adana

Cinsiyeti : Bay

Uyruğu : T. C.

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

ÖĞRENİM DURUMU

1983 - 1988 : Celalettin Sayhan İlkokulu (Seyhan-Adana)

1988 - 1995: Adana Anadolu Lisesi (Seyhan-Adana)

1996 - 2001: Lisans (Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri) Diploma Çalışması, “Be Yıldızları”, Danışman: Prof. Dr. C. İbanoğlu

2001 - 2004: Yüksek Lisans (Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı-Astrofizik Bilim Dalı)

2007 - 2009: Ön Lisans (Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü)

2009 - 2011 : Lisans (Anadolu Üniversitesi, Açıköğretim Fakültesi, İşletme Bölümü)

2005- ----- : Doktora –Tez Aşaması (Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı- Genel Astronomi Bilim Dalı)

BİLİMSEL FAALİYETLER

I) ARAŞTIRMA ALANI : Değişen yıldızlar, yakın çift yıldızlar, ortak zarf sonrası çift yıldız sistemleri (PCEBs), CCD Fotometri ve Tayf Analizi.

II) YÜKSEK LİSANS

Yakın Çift Yıldızların Yörünge Evrimi, 2004, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İZMİR, Danışman: Prof. Dr. Cafer İbanoğlu.

III) DOKTORA

Yakın Çift Yıldızların Ortak Zarf Sonrası Evrimi (PCEBs), Danışman: Prof. Dr. Cafer İbanoğlu. 2005 Yılında Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı, Genel Astronomi Bilim Dalı'nda Doktora öğrenimine başlamış olup tez savunma aşamasındadır.

IV) KAZANDIĞI BURSLAR, ÖDÜLLER ve SERTİFİKALAR

1) **Bölüm Birinciliği**, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 2001.

2) Yayın Teşvik, **TÜBİTAK** , 2008-2010 (4 kez).

3) Yükseköğrenim Kredi Yurtlar Kurumu, Doktora Bursu, 2005-2009

4) **KOSGEB-EGE** Üniversitesi “GENÇ GİRİŞİMCİ GELİŞTİRME PROGRAMI”, sunulan en iyi “İŞ PLANI” birincilik ödülü ve “KOSGEB Genç Girişimci Desteği”ne başvurma hakkı (2009-İzmir; 3 ay toplam 66 saat).

5) **ESBAŞ-Uzay** Kampı Türkiye “EĞİTİMCİ YETİŞTİRME PROGRAMI” (2002-İzmir; 15 gün toplam 85 saat).

V) ÇALIŞMALARI

- 1) İzmir, Bornova Belediyesi, Mevlana Toplum ve Bilim Merkezi, Bilim Merkezi Koordinatörü (2010- bugün,)
- 2) Amatör Astronomlar Yaz Okulu “eğitmeni” (1997, 2006, 2007, Ege Üniversitesi Gözlemevi-İzmir)
- 3) Araştırma alanlarına yönelik “gök cisimi gözlemleri” (1996, 1997, 1998, 2001... bugün, Ege Üniversitesi Gözlemevi-İzmir ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi-Antalya).
- 4) Bölüm içi ve halka açık “seminerler” (1996, 1997, 2000, 2001, 2003, 2004, 2006, 2008, Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü-İzmir)
- 5) Bornova Açıköğretim Dershanesi bünyesinde “matematik, ingilizce, temel bilgi teknolojileri, yönetim bilgi sistemi ve uluslararası işletmecilik dersleri” (2004-2005, 2008-2009 Bornova-İzmir)
- 6) Hava Kuvvetleri Komutanlığı, Kontrol İhbar Sınıfı, “Sözleşmeli Subay Adayı” (Mart-Ağustos 2003-Gaziemir-İzmir)

VI) YAYINLARI

(SCI, SSCI, AHCI indekslerine giren dergilerde yayınlanan makaleler)

- 1) **C.M. Çamurdan**, Zengin Çamurdan, D., İbanoglu, C., “ Photometric *Observations and Orbital Period Variations of HS0705+6700 and NY Vir*”, 2011, New Astronomy (accepted).
- 2) Zengin Çamurdan, D., İbanoglu, C., **C.M. Çamurdan**, “*Observation of faint eclipsing cataclysmic variables*”, 2010, New Astronomy, 15,476-482.
- 3) İbanoglu, C., Evren, S., Taş, G., Çakırlı, Ö., Bozkurt, Z., Afsar, M., Sipahi, E., Dal, H.A., Özdarcın, O., Zengin Çamurdan, D., **Çamurdan, M.** and Frasca, A., “*Spectroscopic and photometric observations of the selected Algol-type binaries - IV. V799Cassiopeiae, BX Piscium and HD 172189*”, 2009, MNRAS,392,757.

- 4) İbanoglu, C., Evren, S., Taş, G., Çakırlı, Ö., Bozkurt, Z., Afsar, M., Sipahi, E., Dal, H.A., Özdarcın, O., Zengin Çamurdan, D., **Çamurdan, M.** and Frasca, A., “*Spectroscopic and photometric observations of the selected Algol-type binaries - III. LL Aquarii, MP Delphini and NSV 20913*”, 2008, MNRAS, 390, 958.
- 5) İbanoglu, C., Evren, S., Taş, G., Çakırlı, Ö., Bozkurt, Z., Afsar, M., Sipahi, E., Dal, H.A., Özdarcın, O., Zengin Çamurdan, D., **Çamurdan, M.**, “Spectroscopic and Photometric Observations of the Selected Algol-Type Binaries: II. V2080 Cygni and V2365 Ophiuchi”, 2008, MNRAS, 384, 331.
- 6) İbanoglu, C., Evren, S., Taş, G., Çakırlı, Ö., Bozkurt, Z., Afsar, M., Sipahi, E., Dal, H.A., Özdarcın, O., Zengin Çamurdan, D., **Çamurdan, M.**, “Spectroscopic and Photometric Observations of the Selected Algol-Type Binaries: I. V1665 Aquilae and AG Arietis”, 2007, MNRAS, 380, 1422.
- 7) Cakirli, Ö., Gungor, C., Pinar, A., **Camurdan, C. M.**, “New Times of Minima of Some Eclipsing Binary Stars”, 2006, IBVS, 5729.

(Hakemli konferans/sempozyumların bildiri kitaplarında yer alan yayınlar)

- 1) Zengin Çamurdan D., **Çamurdan M.**, İbanoğlu C., “*Sönük Kataklistmik Değişen Yıldızların Fotometrik Gözlemleri*”, XVI. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, p: 338-348, 2008.
- 2) İbanoğlu, C., Evren, S., Taş, G., Çakırlı, Ö., Bozkurt, Z., Afşar, M., E.Sipahi, H.A.Dal, O.Özdarcın, D.Zengin Çamurdan, **M.Çamurdan**, “*Algol Türü Örtlen Çift Yıldızların Işık Ölçümü ve Tayfsal Gözlemleri*”, XVI. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, p: 661-688, 2008.

VII) ARAŞTIRMA PROJELERİ

- 1) Seçilmiş Algol Türü Örtlen Çiftlerin Işıkkölçüm ve Tayfsal Gözlemleri, Tübitak Araştırma Projesi, Proje No: **105T267**, 2005-2007.

2) Yakın Çift Yıldızların Ortak Zarf Sonrası Evrimi (PCEBs), E.Ü. Rektörlüğü Araştırma Fon Saymanlığı, Proje No: **2006 / FEN / 004**, 2006-2010.

VIII) BİLİMSEL TOPLANTILAR

(Ulusal Toplantılar)

- 1) XI. Ulusal Astronomi Kongresi, 7-10 Ağustos 1999, Elazığ, Türkiye.
- 2) XII. Ulusal Astronomi Kongresi, 4-8 Eylül 2000, İzmir, Türkiye.
- 3) XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi, Antalya, 2002.
- 4) XIV. Ulusal Astronomi Toplantısı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2004, “EE Cet Dizgesinin Salt Öğeleri, **Bildiri**.
- 5) XV. Ulusal Astronomi Toplantısı, Kültür Üniversitesi, İstanbul, 28 Ağustos- 1 Eylül, 2006.
- 6) XVI. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye, 2008.
- 7) Gökbilim Terimlerinde Dil Birliği Sempozyumu, Ege Üniversitesi, 4 Aralık 2009, İzmir.
- 8) Astrofizikte Manyetik ve Hidrodinamik Süreçler I. Çalıştayı, Ege Üniversitesi, İzmir, 1-3 Şubat 2010.
- 9) XVII. Ulusal Astronomi Kongresi ve VI. Ulusal Astronomi Öğrenci Toplantısı, Ağustos 2010, Çukurova Üniversitesi, Fizik Bölümü, Adana. “Yaşam Boyu Eğitimde Bir Kent Projesi: Mevlana Toplum Ve Bilim Merkezi” , **Poster**.

(Uluslararası Toplantılar)

- 1) The Magnetized Interstellar Medium Conference, 8-12 September 2003, Antalya, Turkey, supported by the Max-Planck-Institut für Radioastronomie and the Akdeniz Üniversitesi.

EKLER

- Ek 1** NY Vir'in literatürdeki ve bu tez kapsamında yapılan gözlemlerinden elde edilen minimum zamanları ve (O-C) sapmaları.
- Ek 2** IQ Cam yıldızının literatürdeki ve bu tez kapsamında yapılan gözlemlerinden elde edilen minimum zamanları ve (O-C) sapmaları.
- Ek 3** HS 0705+6700 yıldızının literatürdeki ve bu tez kapsamında yapılan gözlemlerinden elde edilen minimum zamanları ve *O-C* sapmaları

EK 1

NY Vir'in literatürdeki ve bu tez kapsamında elde edilen minimum zamanları.

O (+24 00000) BJD	σ	O-C (I) (gün)	O-C (II) (gün)	Tür	Süzgeç	Kaynak
50223.36201	0.00004	-0.00004	-0.00018	Min I	-	Kilkenny et al. (1998)
50223.46314	0.00002	0.00007	-0.00007	Min I	-	Kilkenny et al. (1998)
50224.47326	0.00003	0.00003	-0.00011	Min I	-	Kilkenny et al. (1998)
50230.23106	0.00002	-0.00008	-0.00022	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
50244.27235	0.00004	-0.00001	-0.00015	Min I	U	Kilkenny (2000)
50245.28255	0.00004	0.00003	-0.00011	Min I	R	Kilkenny (2000)
50245.38351	0.00005	-0.00003	-0.00016	Min I	V	Kilkenny (2000)
50252.25262	0.00005	-0.00001	-0.00014	Min I	V	Kilkenny (2000)
50274.27405	0.00007	-0.00006	-0.00019	Min I	V	Kilkenny (2000)
50513.47999	-	-0.00001	-0.00007	Min I	-	Kilkenny (2000)
50513.58100	-	-0.00002	-0.00007	Min I	-	Kilkenny (2000)
50554.49250	-	0.00000	-0.00004	Min I	-	Kilkenny (2000)
50556.41182	-	0.00002	-0.00003	Min I	-	Kilkenny (2000)
50572.37242	-	0.00009	0.00005	Min I	-	Kilkenny (2000)
50573.28147	-	0.00000	-0.00004	Min I	-	Kilkenny (2000)
50632.27482	-	0.00000	-0.00002	Min I	-	Kilkenny (2000)
50635.30532	-	0.00002	0.00000	Min I	-	Kilkenny (2000)
50637.22457	-	-0.00003	-0.00005	Min I	-	Kilkenny (2000)
50638.23479	-	0.00003	0.00001	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
50640.25515	-	0.00007	0.00005	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
50932.39341	-	0.00006	0.00012	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
50948.35391	-	0.00003	0.00010	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
51018.25696	-	0.00001	0.00010	Min I	-	Kilkenny (2000)
51020.27726	-	-0.00001	0.00008	Min I	-	Kilkenny (2000)
51209.58122	-	-0.00003	0.00012	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
51234.53219	-	-0.00001	0.00014	Min I	CuSO ₄	Kilkenny (2000)
52017.40603	0.00003	-0.00017	0.00021	Min I	-	Kilkenny (2011)
52017.50707	0.00006	-0.00014	0.00023	Min I	-	Kilkenny (2011)
52017.60808	0.00004	-0.00015	0.00023	Min I	-	Kilkenny (2011)
52019.52742	0.00005	-0.00011	0.00026	Min I	-	Kilkenny (2011)
53174.24093	0.00007	-0.00049	0.00022	Min I	BG38	Kilkenny (2011)
53185.25163	0.00004	-0.00053	0.00018	Min I	BG38	Kilkenny (2011)
53412.53767	0.00004	-0.00049	0.00029	Min I	-	Kilkenny (2011)
53562.24327	0.00003	-0.00060	0.00022	Min I	B	Kilkenny (2011)
55367.19638	0.00005	-0.00136	-0.00002	Min I	-	Kilkenny (2011)
55367.29733	0.00003	-0.00142	-0.00009	Min I	-	Kilkenny (2011)
55368.20648	0.00006	-0.00142	-0.00008	Min I	-	Kilkenny (2011)
55369.21663	0.00005	-0.00143	-0.00009	Min I	-	Kilkenny (2011)
54979.34559	0.0001	-0.00122	0.00000	Min II	V	Bu çalışma

EK 1 (Devamı)

O (+24 00000) BJD	σ	O-C (I) (gün)	O-C (II) (gün)	Tür	Süzgeç	Kaynak
54950.50552	0.00020	-0.00122	0.00000	Min I	V	Bu çalışma
54967.47626	0.00009	-0.00117	0.00005	Min I	V	Bu çalışma
54967.42572	0.00009	-0.00120	0.00002	Min II	V	Bu çalışma
55733.37916	0.00009	-0.00157	-0.00013	Min I	V	Bu çalışma
55734.28823	0.00005	-0.00165	-0.00018	Min I	V	Bu çalışma
55734.38928	0.00005	-0.00162	-0.00162	Min I	V	Bu çalışma

EK 2

IQ Cam yıldızının literatürdeki ve bu tez kapsamında yapılan gözlemlerinden elde edilen minimum zamanları.

O (+24 00000) BJD	σ	O-C (I) (gün)	O-C (II) (gün)	Tür	Süzgeç	Kaynak
50785.82062	0.005000	0.00630	0.00231	MinII	B	Koen et al. 1998
51174.49413	0.000057	0.00114	-0.00252	MinII	R	Orosz & Wade 1999
55501.31593	0.001332	-0.00030	-0.00024	MinI	R	Bu çalışma
55501.36088	0.000737	-0.00044	-0.00038	MinII	R	Bu çalışma
55501.40559	0.000766	-0.00082	-0.00077	MinI	R	Bu çalışma
55501.49773	0.000497	0.00114	0.00120	MinI	R	Bu çalışma
55501.54249	0.000311	0.00081	0.00087	MinII	R	Bu çalışma
55501.58538	0.000483	-0.00139	-0.00134	MinI	R	Bu çalışma
55502.26360	0.000403	0.00047	0.00053	MinII	R	Bu çalışma
55502.30800	0.000388	-0.00022	-0.00016	MinI	R	Bu çalışma
55502.35415	0.000224	0.00084	0.00090	MinII	R	Bu çalışma
55502.39830	0.000329	-0.00010	-0.00004	MinI	R	Bu çalışma
55502.44341	0.000305	-0.00008	-0.00002	MinII	R	Bu çalışma
55502.48729	0.000455	-0.00129	-0.00123	MinI	R	Bu çalışma
55502.53356	0.000222	-0.00011	-0.00005	MinII	R	Bu çalışma
55502.57796	0.000432	-0.00080	-0.00074	MinI	R	Bu çalışma
55502.62537	0.000266	0.00153	0.00158	MinII	R	Bu çalışma
55538.19971	0.000580	-0.00041	-0.00032	MinII	R	Bu çalışma
55538.24565	0.000327	0.00043	0.00052	MinII	R	Bu çalışma
55538.29010	0.000425	-0.00020	-0.00011	MinI	R	Bu çalışma

EK 3

HS 0705+6700 yıldızının literatür ve bu çalışmada elde edilen minimum zamanları ve *O-C* sapmaları.

O (+24 00000) BJD	σ	<i>O-C (I)</i> (gün)	<i>O-C (II)</i> (gün)	Tür	Süzgeç
51822.76052	0.00005	0.00070	-0.00051	Min I	Dreschel et al. 2001
51823.71722	0.0001	0.00093	-0.00028	Min I	Dreschel et al. 2001
51850.59375	0.00011	0.00075	-0.00045	Min I	Dreschel et al. 2001
51850.68940	0.00012	0.00076	-0.00045	Min I	Dreschel et al. 2001
51878.71390	0.00003	0.00079	-0.00041	Min I	Dreschel et al. 2001
51919.26774	0.0002	0.00045	-0.00073	Min I	Dreschel et al. 2001
51919.36344	0.001	0.00051	-0.00068	Min I	Dreschel et al. 2001
51919.45934	0.0001	0.00076	-0.00043	Min I	Dreschel et al. 2001
51956.47454	0.0013	0.00071	-0.00047	Min I	Dreschel et al. 2001
51956.57044	0.0011	0.00096	-0.00021	Min I	Dreschel et al. 2001
51996.35934	0.0001	0.00085	-0.00031	Min I	Dreschel et al. 2001
51997.31574	0.0001	0.00079	-0.00038	Min I	Dreschel et al. 2001
52319.26259	0.00065	0.00101	-0.00005	Min I	Niarchos et al. 2003
52319.31054	0.00082	0.00114	0.00007	Min II	Niarchos et al. 2003
52319.35795	0.00061	0.00073	-0.00034	Min I	Niarchos et al. 2003
52319.40616	0.00088	0.00111	0.00005	Min II	Niarchos et al. 2003
52320.26679	0.00091	0.00092	-0.00014	Min II	Niarchos et al. 2003
52320.60165	0.0007	0.00102	-0.00004	Min I	Niarchos et al. 2003
53012.03209	0.0003	0.00183	0.00096	Min I	Nemeth et al. 2005
53013.08437	0.0003	0.00199	0.00112	Min I	Nemeth et al. 2005
53072.76853	0.0003	0.00264	0.00179	Min I	Nemeth et al. 2005
53072.95966	0.0003	0.00248	0.00163	Min I	Nemeth et al. 2005
53073.05509	0.0003	0.00226	0.00141	Min I	Nemeth et al. 2005
53073.24643	0.00005	0.00231	0.00146	Min I	Nemeth et al. 2005
53203.99550	0.00002	0.00240	0.00160	Min I	Nemeth et al. 2005
54081.59992	0.00005	0.00099	0.00044	Min II	Qian et al. 2009
54081.64762	0.00018	0.00087	0.00032	Min I	Qian et al. 2009
54126.41045	0.0011	0.00107	0.00053	Min I	Kruspe et al. 2007
54126.45875	0.0011	0.00155	0.00101	Min II	Kruspe et al. 2007
54126.50565	0.0011	0.00062	0.00009	Min I	Kruspe et al. 2007
54126.55405	0.0011	0.00120	0.00067	Min II	Kruspe et al. 2007
54126.60145	0.0024	0.00078	0.00024	Min I	Kruspe et al. 2007
54420.23610	0.00015	0.00021	-0.00024	Min I	Qian et al. 2009
54420.28435	0.00025	0.00064	0.00019	Min II	Qian et al. 2009
54492.06687	0.00018	0.00034	-0.00009	Min I	Qian et al. 2009
54492.11473	0.00022	0.00038	-0.00005	Min II	Qian et al. 2009
54492.16252	0.00018	0.00034	-0.00008	Min I	Qian et al. 2009
54517.41287	0.00034	-0.00002	-0.00044	Min I	Qian et al. 2009

EK 3 (Devamı)

O (24 00000+) BJD	σ	<i>O-C (I)</i> (gün)	<i>O-C(II)</i> (gün)	Tür	Kaynak
54517.50897	0.00037	0.00043	0.00001	Min I	Qian et al. 2009
54642.42315	0.00027	0.00009	-0.00030	Min I	Qian et al. 2009
54659.44870	0.00047	0.00053	0.00016	Min I	Qian et al. 2009
54684.41144	0.00024	-0.00050	-0.00087	Min I	Qian et al. 2009
54684.50725	0.00024	-0.00034	-0.00071	Min I	Qian et al. 2009
54715.49759	0.0002	0.00049	0.00013	Min I	Qian et al. 2009
54715.59241	0.00023	-0.00034	-0.00070	Min I	Qian et al. 2009
54718.55687	0.00041	-0.00093	-0.00129	Min I	Qian et al. 2009
54729.31817	0.00015	0.00012	-0.00023	Min II	Qian et al. 2009
54729.36573	0.00015	-0.00014	-0.00049	Min I	Qian et al. 2009
54741.32164	0.00008	-0.00006	-0.00041	Min I	Qian et al. 2009
54741.36932	0.00011	-0.00020	-0.00056	Min II	Qian et al. 2009
54745.33877	0.0002	-0.00009	-0.00044	Min I	Qian et al. 2009
54760.64309	0.00032	0.00077	0.00042	Min I	Qian et al. 2009
54761.40724	0.00023	-0.00026	-0.00060	Min I	Qian et al. 2009
54780.24978	0.00015	-0.00011	-0.00045	Min I	Qian et al. 2009
54780.25021	0.00009	0.00032	-0.00002	Min I	Qian et al. 2009
54780.34497	0.00034	-0.00056	-0.00090	Min I	Qian et al. 2009
54808.27410	0.00034	-0.00025	-0.00059	Min I	Qian et al. 2009
54808.36995	0.00031	-0.00005	-0.00038	Min I	Qian et al. 2009
54810.47456	0.0002	0.00033	0.00000	Min I	Qian et al. 2009
54810.57073	0.0003	0.00086	0.00052	Min I	Qian et al. 2009
54815.25656	0.0001	0.00000	-0.00033	Min I	Qian et al. 2009
54815.35232	0.00014	0.00011	-0.00022	Min I	Qian et al. 2009
54817.26515	0.00039	0.00001	-0.00032	Min I	Qian et al. 2009
54817.36105	0.00039	0.00026	-0.00007	Min I	Qian et al. 2009
54829.41174	0.00019	-0.00052	-0.00085	Min I	Qian et al. 2009
54838.21170	0.00012	-0.00006	-0.00038	Min I	Qian et al. 2009
54895.98232	0.00006	-0.00001	-0.00031	Min I	Qian et al. 2010
54896.02995	0.00044	-0.00020	-0.00051	Min II	Qian et al. 2010
54926.30253	0.00015	0.00022	-0.00008	Min I	Qian et al. 2010
54926.39791	0.00013	-0.00005	-0.00035	Min I	Qian et al. 2010
54941.31916	0.00031	0.00032	0.00003	Min I	Qian et al. 2010
54946.57944	0.00013	0.00004	-0.00026	Min I	Qian et al. 2010
54950.02261	0.00011	-0.00007	-0.00036	Min I	Qian et al. 2010
54957.05243	0.0001	-0.00028	-0.00057	Min II	Qian et al. 2010
55025.39254	0.0004	0.00030	0.00003	Min I	Qian et al. 2010
55051.50392	0.00024	0.00014	-0.00012	Min I	Qian et al. 2010
55053.51268	0.00016	0.00032	0.00006	Min I	Qian et al. 2010
55063.36387	0.00003	-0.00009	-0.00035	Min I	Qian et al. 2010

EK 3 (Devamı)

O (24 00000+) BJD	σ	<i>O-C (I)</i> (gün)	<i>O-C(II)</i> (gün)	Tür	Kaynak
55090.43192	0.00002	-0.00005	-0.00030	Min I	Qian et al. 2010
55102.29214	0.0004	-0.00001	-0.00026	Min I	Qian et al. 2010
55538.34585	0.000007	0.00062	0.00050	Min I	Bu çalışma
55538.44149	0.000018	0.00061	0.00050	Min I	Bu çalışma
55538.53715	0.000019	0.00063	0.00051	Min I	Bu çalışma
55538.63280	0.000018	0.00063	0.00051	Min I	Bu çalışma
55539.39798	0.000017	0.00063	0.00052	Min I	Bu çalışma
55539.58928	0.000021	0.00064	0.00052	Min I	Bu çalışma