

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

DEĞMEYE YAKIN VE ERKEN DEĞME EVRESİNDEKİ YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN TEMEL PARAMETRE İLİŞKİLERİNİN VE EVRİM DURUMLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Faruk YILDIRIM

Fizik Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

DEĞMEYE YAKIN VE ERKEN DEĞME EVRESİNDEKİ YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN TEMEL PARAMETRE İLİŞKİLERİNİN VE EVRİM DURUMLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Faruk YILDIRIM

Fizik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **27/08/2019**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

Eş Danışman:

Prof. Dr. Selçuk BİLİR

ÇANAKKALE

Muhammed Faruk YILDIRIM tarafından Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN yönetiminde [ve Prof. Dr. Selçuk BİLİR ikinci danışmanlığında] hazırlanan ve **27/08/2019** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Değmeye Yakın ve Erken Değme Evresindeki Yakın Çift Yıldızların Temel Parametre İlişkilerinin ve Evrim Durumlarının İncelenmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**'nda **DOKTORA TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Ömür ÇAKIRLI ……

Başkan

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN ……

Üye

Prof. Dr. Caner ÇİÇEK ……

Üye

Prof. Dr. İbrahim BULUT ……

Üye

Prof. Dr. Mustafa Can AKAN ……

Üye

Prof.Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:……

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FDK-2018-2458

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Muhammed Faruk YILDIRIM

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN'a ve çok yoğun bir programı olmasına rağmen tez çalışması boyunca yardımlarını esirgemeyen saygı değer ikinci danışman hocam Prof. Dr. Selçuk BİLİR'e teşekkürlerimi sunarım. Çalışma süresince varlığını hep hissettiğim ve bütün zorluklarda yanımda olan saygı değer abim Prof. Dr. Muhammet Cevat YILDIRIM ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Muhammed Faruk YILDIRIM

Çanakkale, Ağustos 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

$a \sin i$	Üçüncü Cismin Çift Sisteme Olan İzdüşüm Uzaklığı
c	Işık Hızı
v	Gerçek Ayrıklık
w	Enberi Noktasının Boylamı
e	Yörüngenin Basıklığı
i	Yörünge Düzlemi ile Gökyüzü Düzlemi Arasındaki Açı
a	Çiftin Yörüngesinin Yarı-Büyük Eksen Uzunluğu
ΔL	Aktarılan Enerji
c_p	Sabit Basınçtaki Özısı
$\dot{M}$	Kütle Akısı
r	Kesirsel Yarıçap
R	Yarıçap
$M_{1,2}$	Bileşenlerin Kütleleri
$L_{1,2}$	Lagrange Noktaları
f	Değme Taşma Parametresi
Δt	Zaman Gecikmesi
ΔT	Sıcaklık Farkı
$\Omega_{\text{iç}}$	İç Kritik Roche Eş-Potansiyeli
$\Omega_{\text{dış}}$	Dış Kritik Roche Eş-Potansiyeli
q	Kütle Oranı
s	Saniye
ρ	Açısal Ayrıklık
ZAMS	Sıfır Yaş Anakolu
LITE	Işık-Zaman Etkisi
GSCV	General Catalogue of Variable Stars
HR	Hertzsprung-Russell Diyagramı
TRO	Isısal Durulma Salınımı
AML	Açısal Momentum Kaybı
DSC	Değme Süreksizliği Teorisi
CCD	Yük Bağlaşımlı Aygıt
$L_{\odot}$	Işınım Gücü

$M_\odot$	Güneş Kütlesi
$R_\odot$	Güneş Yarıçapı
γ	Kütle Merkezinin Dikine Hızı
T_1,T_2	Bileşenlerin Sıcaklıkları
J	Yörünge Açısal Momentumu
Ω	Açısal Hız
U	Galaksi Merkezi Doğrultusundaki Uzay Hız Bileşeni
V	Güneşin Dönme Doğrultusundaki Uzay Hız Bileşeni
W	Kuzey Galaktik Kutup Doğrultusundaki Uzay Hız Bileşeni
S	Toplam Uzay Hızı
σ_U, σ_V, σ_W, σ_S	Uzay Hız Bileşenleri ve Toplam Uzay Hızındaki Dispersiyonları
v_a	Asimetrik Sürüklenme Hızı
C_v	Difüzyon Katsayısı
LSR	Local Standart of Rest
X, Y, Z	Güneş Merkezli Kartezyen Koordinatları
π	Paralaks
μ_α, μ_δ	Öz Hareket Bileşenleri
τ	Kinematik Yaş
α, δ	Ekvatoral Koordinatlar (sağ açıklık, dik açıklık)
l, b	Galaktik Koordinatlar (Galaktik boylam, Galaktik enlem)
σ	Dispersiyon
Gyıl	Milyar yıl
Myıl	Milyon yıl
CB	Değen Çift Yıldızlar
ECB	Erken Değme Evresindeki Çift Yıldızlar
NCB	Değmeye Yakın Çift Yıldızlar
SDB	Yarı Ayrık Çift Yıldızlar
DB	Ayrık Çift Yıldızlar

ÖZET

DEĞMEYE YAKIN VE ERKEN DEĞME EVRESİNDEKİ YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN TEMEL PARAMETRE İLİŞKİLERİNİN VE EVRİM DURUMLARININ İNCELENMESİ

Muhammed Faruk YILDIRIM
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı Doktora Tezi
Danışman: Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
İkinci Danışman: Prof. Dr. Selçuk BİLİR
27/08/2019, 172

Bu çalışmada, değmeye yakın (NCB) ve erken değme evresindeki (ECB) yakın çift yıldızların temel parametre ilişkileriyle dinamik ve kinematik evrimsel bağlantıları araştırılmıştır. Öncelikle kinematik ve dinamik incelemeler için gerekli parametreleri içerecek şekilde güncel katalog ve yayınlar derlenerek ECB ve NCB veri tabanları oluşturuldu. Fotometrik gözlemlerden CN And, GZ And ve LS Del sistemlerinin ışık eğrileri elde edildi ve analizleri yapıldı. CB ve ECB türü sistemlerin, birinci ve ikinci bileşenleri için, kütle-yarıçap ($M_{1,2}-R_{1,2}$) ve kütle-ışınım gücü ($M_{1,2}-L_{1,2}$) değişimleri incelenerek ilgili bağıntılar elde edildi. CB ve ECB sistemleri için $M_1 \alpha P^{0,85}$ bağıntısı belirlendi. Ayrıca birinci bileşenin sıcaklığı ile yörünge dönemi arasındaki ilişki araştırıldı ve bu dağılım $T_1 \alpha P^{0,32}$ ile temsil edildi. Ek olarak CB, ECB ve NCB türü sistemlerin fotometrik ve *Gaia* uzaklıkları karşılaştırıldı.

Yakın çift yıldızlar için sistemden kütle veya açısal momentum kaybı, bileşenler arası kütle ve enerji aktarımı gibi fiziksel süreçler yıldız yapı ve evrimi için önemlidir. Bu nedenle, bu çalışmada, ECB ve NCB türü sistemlerin dönem değişim analizleri yapıldı. Yörünge dönem değişimlerinin araştırılması amacıyla 15 ECB ve 18 NCB türü sistemin $O-C$ analizi yapılmıştır. ECB türü sistemlerden TW Cet ve TT Cet'in dönem değişimleri ilk kez bu çalışmada analiz edilmiştir. CN And ve V752 Cen sistemlerinin $O-C$ analizlerinde ilk kez sinüs benzeri değişim bu çalışmada ortaya çıkarılmıştır. GZ And ve PY Vir sistemlerinin $O-C$ analizlerinde ise literatürdeki çalışmaların aksine, dönemlerinin azaldığı belirlendi. NCB türü sistemlerden RV Crv ve FO Vir'in $O-C$ analizleri ilk kez bu

çalışmada yapılmıştır. RU Eri ve AG Phe sistemlerinin $O-C$ analizlerinde ilk kez sinüs benzeri değişim elde edilmiştir.

Kinematik ve dinamik inceleme için, CB, ECB ve NCB türü çift yıldızların galaktik uzay hız bileşenleri (U, V, W) hatalarıyla birlikte hesaplandı. Türlerin $U-V$ ve $W-V$ uzay hız diyagramları oluşturuldu. Her bir grubun (NCB, ECB ve CB) Galaktik popülasyon analizleri yapıldı ve ince disk popülasyonuna ait üye sistemler belirlendi. NCB, ECB ve CB türü sistemlerin kinematik yaşları, sırasıyla, 3,95, 2,25 ve 2,75 Gyıl olarak hesaplandı. CB ve ECB türü çift yıldızların yörünge dönemleri, toplam kütle ve açısal momentum değerlerinin zamanla değişimleri incelenerek yorumlandı.

Anahtar sözcükler: Yıldızlar, Çift Yıldızlar, Yakın Çift Yıldızlar, Değen Çift Yıldızlar, Değmeye Yakın Çift Yıldızlar.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF BASIC PARAMETER RELATIONSHIPS AND EVOLUTIONARY STATUS OF CLOSE BINARY STARS IN NEAR AND EARLY CONTACT STAGES

Muhammed Faruk YILDIRIM
Çanakkale Onsekiz Mart University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Doctoral of Science Thesis in Physics Science
Advisor: Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selçuk BİLİR
27/08/2019, 172

In this study, we investigated that basic parameter relations of near contact (NCB) and early contact phase binary systems (ECB) with dynamic and kinematic evolutionary connections. First of all, ECB and NCB databases were formed by using up-to-date catalogs and publications including the parameters required for kinematic and dynamic investigations. Light curves of CN And, GZ And and LS Del systems were obtained from photometric observations and analyzed. For the primary and secondary components of CB and ECB tye systems, the mass-radius ($M_{1,2}-R_{1,2}$) and mass-luminosity ($M_{1,2}-L_{1,2}$) distributions were obtained and related correlations were obtained. $M_1 \alpha P^{0,85}$ correlation was determined for CB and ECB type systems. In addition, the relationship between the temperature of the primary component and the orbital period was investigated and this distribution was represented by $T_1 \alpha P^{0,32}$. Photometric and Gaia-DR2 distances of CB, ECB and NCB type systems were compared.

For close binary stars, physical processes such as mass and/or angular momentum loss from the system, mass and energy transfer between components are important for stellar structure and evolution. Therefore, in this study, analysis of period changes of ECB and NCB type systems were performed. In order to investigate orbital period changes; $O-C$ analysis of 15 ECB and 18 NCB type systems were made. The period variations of TW Cet and TT Cet, ECB type systems, were analysed for the first time. In the $O-C$ analysis of CN And and V752 Cen, the presence of sinus-like change was first revealed in this study. In the $O-C$ analysis of GZ And and PY Vir systems, it was determined that their periods decreased in

contrast to the recent analysis in the literature. $O-C$ analyzes of RV Crv and FO Vir from NCB type systems were performed for the first time in this study. $O-C$ analysis of RU Eri and AG Phe systems revealed sinus-like changes for the first time.

The galactic space velocity components (U, V, W) of the CB, ECB and NCB type systems and their errors were calculated. $U-V$ and $W-V$ space velocity diagrams of the species were formed. Population analyzes of each group (NCB, ECB and CB) were performed and member systems of the thin-disc population were identified. The kinematic ages of NCB, ECB and CB type systems were calculated as 3,9, 2,25 and 2,75 Gyr, respectively. The orbital periods, total mass and angular momentum values of the CB and ECB type binary stars were interpreted by examining their changes over time.

Keywords: Stars, Binary Stars, Close Binary Stars, Contact Binary Stars, Near Contact Binary Stars.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vii
ABSTRACT ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ xix
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1. Çift Yıldızlarda Roche Sınıflaması 2
1.2. Değen Çift Yıldızlar 5
1.3. Tezin Amacı 7
BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 8
2.1. Değen Çiftlerin Temel Parametreleri 8
2.2. Değmeye Yakın Çiftlerin Temel Parametreleri 13
2.3. Değen ve Değmeye Yakın Çiftlerde Dönem Değişimi 16
2.4. Yakın Çiftlerin Oluşum ve Evrimi 22
2.4.1. Isısal Durulma Salınım Modelleri 25
2.4.2. Açısal Momentum Kaybı 27
2.4.3. Değme Süreksizliği Teorisi 28
2.5. Yakın Çiftlerde Kinematik ve Dinamik Araştırmalar 30
2.6. Çalışılan Sistemlerin Tarihçesi 32
2.6.1. Erken Değme Evresindeki Sistemlerin Tarihçesi 32
2.6.2. Değmeye Yakın Sistemlerin Tarihçesi 37
BÖLÜM 3 43
MATERYAL VE YÖNTEM 43
3.1. Veri 43
3.1.1. Yeni Gözlemler 43
3.1.2. Gökyüzü Tarama Gözlemleri 45
3.1.3. *Gaia* Astrometrik Verisi 46
3.2. Yörünge Dönem Değişimi Analiz Yöntemi 48

3.3. Işık Eğrisi Analiz Yöntemi 52
3.4. Galaktik Uzay Hız Bileşenlerinin Hesaplanması 53
3.4.1. Uzay Hız Bileşenlerine Uygulanan Düzeltmeler 56
3.4.2. Uzay Dağılımları ve Toplam Uzay Hızları 57
3.4.3. Popülasyon Dağılımı 58
3.5. Yıldızların Kinematik Yaşı 60
3.6. Yörünge Açısal Momentum Hesaplamaları 61
BÖLÜM 4 64
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 64
4.1. CB, ECB ve NCB Yıldızlarının Temel Parametreleri 64
4.2. ECB Türü Sistemlerin Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Eş-Zamanlı Analizleri 72
4.2.1. CN And 73
4.2.2. GZ And 75
4.2.3. LS Del 78
4.3. Çalışılan Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimlerinin İncelenmesi 80
4.3.1. ECB Türü Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimleri 81
4.3.1.1. Dönemi Azalan ECB Türü Sistemler 81
4.3.1.2. Dönemi Artan ECB Türü Sistemler 92
4.3.2. NCB Türü Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimleri 100
4.3.2.1. Dönemi Azalan NCB Türü Sistemler 100
4.3.2.2. Dönemi Artan NCB Türü Sistemler 111
4.4. Kinematik ve Dinamik Analizler 119
4.4.1. Toplam Kütleye Göre Sınıflama 123
4.4.2. Yörünge Dönemlerine Göre Sınıflama 124
4.4.3. Yörünge Açısal Momentuma Göre Sınıflama 125
4.4.4. Yarı Büyük Eksen Uzunluğuna Göre Sınıflama 126
4.4.5. Kütle Oranına Göre Sınıflama 128
4.4.6. Taşma Parametresine Göre Sınıflama 129
4.4.7. Kütle, Yörünge Dönemi ve Yörünge Açısal Momentum Temelinde Bulgular 130
4.4.8. Yarı Büyük Eksen Uzunluğu, Kütle Oranı ve Taşma Parametresi Temelinde Bulgular 133
BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER 136
KAYNAKLAR 152

EKLERİ I
EK 1. SuperWASP veri arşivinden elde edilen minmum zamanlar. II
ÖZGEÇMİŞ VI

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kütle oranı q=0,4 olan bir çift yıldız sisteminin yörünge düzleminde eş potansiyel yüzeylerini gösterimi (Benacquista ve Downing, 2013) 3
Şekil 1.2. Ayrık çift yıldız sistemi olan TX Her'in Roche geometrisi (a) ve *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrilerinin (b) gösterimi (Erdem ve ark., 2011) 3
Şekil 1.3. Yarı ayrık çift yıldız sistemi olan GW Gem'in 0,75 evresindeki Roche geometrisi (a) ve BVRI filtrelerindeki ışık eğrileri (b) gösterimi (Lee ve ark., 2009) 4
Şekil 1.4. Taşma parametre değeri f=% 94,7' olan VZ Psc sisteminin 0,75 evresindeki Roche geometrisi (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Ma ve ark., 2018) 5
Şekil 1.5. A-türü CN And sistemi (a) ve W-türü AO Cam sisteminin (b) dikine hız eğrileri (Rucinski ve ark., 2000) 6
Şekil 2.1. Taşma parametre değeri f=0 olan CN And Sisteminin 0,75 evresindeki Roche görünümü (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Yıldırım ve ark., 2019) 9
Şekil 2.2. W tipi W UMa (kare), A tipi W UMa (artı), NCB (içi boş daire) ve ayrık (içi dolu daire) sistemlerin HR diyagramında gösterimi. Birinci bileşenler (kırmızı) ve ikinci bileşenler ise yeşil renk ile gösterilmiştir (Yakut ve Eggleton, 2005) 11
Şekil 2.3. Birinci bileşen (kırmızı) ve ikinci bileşenler (yeşil), W tipi W UMa (kare) ve A tipi W UMa (artı), sistemlerinin log $M-$log R diyagramında gösterimi (Yakut ve Eggleton, 2005) 12
Şekil 2.4. Değen çift sistemler için yörünge dönemine karşılık toplam kütlenin değişimi. Birinci bileşenler yıldız, ikinci bileşenler ise içi boş karelerle belirtilmiştir (Gazeas ve Stepien, 2008) 13
Şekil 2.5. Birinci bileşen (kırmızı) ve ikinci bileşenler (yeşil), NCB (içi boş daire) ve DB (içi dolu daire) sistemlerinin log $M-$log R diyagramında gösterimi (Yakut ve Eggleton, 2005) 14
Şekil 2.6. Doldurma oranı birinci ve ikinci bileşenlerin sırasıyla %96 ve %98 olan KR Cyg sisteminin 0,75 evresindeki Roche lob geometrilerinin görünümü (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Sipahi ve ark., 2013) 15
Şekil 2.7. NCB'ler için yörünge dönemiyle yörünge dönem değişimlerinin grafiği (Qian, 2002) 18
Şekil 2.8. Aşırı değen sistemler için kütle oranıyla dönem değişim grafiği (Qian, 2003) .. 19
Şekil 2.9. A-türü 23 değen çift sistem için kütle oranına karşılık dönem değişimi (Dryomova ve Svechnikov, 2006) 20
Şekil 2.10. W-türü 37 değen çift sistem için kütle oranına karşılık dönem değişimi (Dryomova ve Svechnikov, 2006) 20
Şekil 2.11 ECB türü çift sistem XY Leo'nun $O-C$ veri değişimi. Kare sembolleri görsel, orta boyutlu daireler fotoğrafik ve büyük boyutlu daireler CCD ya da fotoelektrik verilerini temsil etmektedir. İçi dolu olan semboller birinci minimum zamanı ve içi boş olanlar ise ikinici minimum zamanı göstermektedir (Paschke ve Brat, 2006) 21
Şekil 2.12 NCB türü çift sistem UU Lyn'nin $O-C$ veri değişimi. Açıklama Şekil 2.11 ile aynıdır (Paschke ve Brat, 2006) 22
Şekil 2.13. Isısal dengede olmayan değen çift sistemin kütle-yarıçap ilişkisi (Smith, 1984) 25
Şekil 2.14. TRO çevrimi, a, b ve e durumlarında değme halinde, c ve d durumlarında ise yarı ayrık durumdadır (Rucinski, 1985) 27

Şekil 2.15. Açısal momentum 10^{51} cgs biriminde verilen değen çift sistemlerin yörünge dönemine karşılık açısal momentum dağılımı, noktalı çizgiler değme öncesi evrimi ve düz çizgiler ise değme evrimini temsil etmekte (Gazeas ve Stepien, 2008) 28
Şekil 2.16. Değen çiftlerin yapısının şematik diyagramı (Shu ve ark., 1976) 29
Şekil 2.17. Değen çift sistemlerin yörünge açısal momentum (J_0) ve toplam kütlenin (M) yörünge dönemine (P) göre dağılım grafiği, sürekli çizgi, W UMa bölgesine genişletilmiş kromosferik aktivite gösterenlerin üst sınırı, kesikli çizgi ise q=0,39 (W UMa sistemlerin medyan değeridir) değeri kullanılarak hesaplanılmış (Eker ve ark., 2006) 31
Şekil 3.1. Gaia uzay teleskobu, (a):Yük taşıma çadırı, (b): Yük modülü: optik tezgah, teleskoplar, aletler ve odak düzlemi düzeneği, (c): Servis modülü (yapı): ayrıca bazı elektronik yük taşıma ekipmanlarını da barındırmaktadır (örneğin video işleme üniteleri ve yük taşıma veri birimi), (d): İtici sistemler, (e): Faz dizili anten ve (f): Güneş panelleri içeren açılabilir güneşlik montajı (Gaia iş birliği; Prusti ve ark., 2016) 47
Şekil 3.2. Trigonometrik paralaksı sıfırdan büyük olan (π >0) 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB yıldızının göreli paralaks hatalarının frekans dağılımı 48
Şekil 3.3. SX Aur sisteminin $O-C$ grafiği (Öztürk ve ark., 2014) 49
Şekil 3.4. SX Aur sisteminin WD yöntemiyle üç farklı filtrede (*BVR*) ışık eğrisi analizi, gözlemsel noktalar ile kuramsal fitlerin uyumu (Öztürk ve ark., 2014) 53
Şekil 3.5. Güneş'e uzaklığı d olan bir yıldızın kartezyen Galaktik koordinat sistemindeki uzay dağılımları 58
Şekil 4.1. CB, ECB ve NCB türü tüm sistemlerin yörünge dönem frekans dağılımları ve dönemlerinin medyan değerleri 65
Şekil 4.2. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin fotometrik uzaklıklarıyla *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması 66
Şekil 4.3. a) CB, ECB ve NCB türü sistemlerin HR diyagramındaki gösterimi: içi dolu kareler CB1, içi boş kareler CB2, içi dolu daireler ECB1, içi boş daireler ECB2, içi dolu üçgenler NCB1 ve içi boş üçgenler de NCB2'yi ifade etmektedir. (Sürekli çizgi ZAMS ve kesikli çizgi de TAMS'ı göstermektedir (Bressan ve ark., 2012) b) Tüm sistemlerin log M – log R ve c) log M –log L düzlemlerinde gösterimi 67
Şekil 4.4. CB ve ECB yıldızları için M_1-R_1(a) ve M_2-R_2(b) dağılımları. Sürekli çizgi yapılan en iyi doğrusal temsilleri göstermektedir 68
Şekil 4.5. CB ve ECB yıldızları için M_1-L_1(a) ve M_2-L_2(b) dağılımları. Sürekli çizgi doğrusal bağıntı uygulanarak yapılan temsilleri göstermektedir 69
Şekil 4.6. CB ve ECB türü sistemler için dönem−kütle ilişkisi 71
Şekil 4.7. 153 CB ve 20 ECB türü sistemin dönem−sıcaklık ilişkisi 72
Şekil 4.8. (a): CN And sisteminin *BVR* filtrelerindeki ışık eğrileriyle eş-zamanlı çözümden elde edilen parametreler ile oluşturulan kuramsal eğrilerin uyumu. Analiz sonucu elde edilen kuramsal eğriler sürekli çizgiyle gösterilmektedir (b): CN And sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri 75
Şekil 4.9. (a): GZ And sisteminin *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrileri. Açıklama Şekil 4.9 ile aynıdır. (b): GZ And sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri 76
Şekil 4.10. (a): LS Del sisteminin *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrileri. Açıklama Şekil 3.8 ile aynıdır. (b): LS Del sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri 80
Şekil 4.11. CN And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğrilerle temsili. Üst panelde;

kesikli çizgili parabol, sürekli çizgi ise parabol+sinüs fitini temsil etmekte, alt panel ise kuramsal eğriden olan farkları gösterilmektedir 84
Şekil 4.12. CN And sisteminin parabolik değişimden arındırılan çevrimsel $O-C$ değişimi ve kuramsal temsili 84
Şekil 4.13. TW Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 85
Şekil 4.14. TW Cet sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile ayndıdır 85
Şekil 4.15. BX And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 86
Şekil 4.16. BX And sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 86
Şekil 4.17. RW Com sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 87
Şekil 4.18. RW Com sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 87
Şekil 4.19. PY Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 88
Şekil 4.20. PY Vir sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 88
Şekil 4.21. V1073 Cyg sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 89
Şekil 4.22. V1073 Cyg sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 89
Şekil 4.23. GZ And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Üst panelde, sürekli çizgi parabol fitini temsil etemekte, alt panel ise kuramsal eğriden olan farklar gösterilmektedir 90
Şekil 4.24. TT Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 91
Şekil 4.25. GW Cnc sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 91
Şekil 4.26. XY Leo sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 94
Şekil 4.27. XY Leo sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 95
Şekil 4.28. V752 Cen sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 95
Şekil 4.29. V752 Cen sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 96
Şekil 4.30. HT Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 96
Şekil 4.31. HT Vir sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 97
Şekil 4.32. YY Eri sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 97
Şekil 4.33. YY Eri sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 98
Şekil 4.34. LS Del sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 99
Şekil 4.35. S Ant sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 99
Şekil 4.36. EE Aqr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 102
Şekil 4.37. EE Aqr sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 102
Şekil 4.38. RU Eri sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 103
Şekil 4.39. RU Eri sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 103
Şekil 4.40. TT Her sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 104

Şekil 4.41. TT Her sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 104
Şekil 4.42. AG Phe sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 105
Şekil 4.43. AG Phe sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 105
Şekil 4.44. RZ Dra sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Kesikli çizgi üçüncü cismi, üstüne binmiş sürekli çizgi de dördüncü cismin kuramsal fitini temsil etmektedir 106
Şekil 4.45. RZ Dra sistemi için dördüncü cisim kuramsal fiti 106
Şekil 4.46. RT Scl sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 108
Şekil 4.47. FO Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 109
Şekil 4.48. V361 Lyr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 109
Şekil 4.49. UU Lyn sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 110
Şekil 4.50. RS Ind sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 110
Şekil 4.51. FT Lup sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 111
Şekil 4.52. CX Aqr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 113
Şekil 4.53. CX Aqr sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 114
Şekil 4.54. EG Cep sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 114
Şekil 4.55. EG Cep sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 115
Şekil 4.56. RV Crv sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 115
Şekil 4.57. RV Crv sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 116
Şekil 4.58. DD Mon sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 116
Şekil 4.59. DD Mon sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 117
Şekil 4.60. KR Cyg sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır 117
Şekil 4.61. KR Cyg sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır 118
Şekil 4.62. SW Lyn sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.44 ile aynıdır 118
Şekil 4.63. SW Lyn sistemi için dördüncü cisim kuramsal fiti 118
Şekil 4.64. YY Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır 119
Şekil 4.65. Diferansiyel düzeltme ve LSR düzeltmesi yapılmış 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB yıldızının $V-U$ (a) ve $V-W$ (b) hız−hız grafikleri 120
Şekil 4.66. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin toplam uzay hızlarının frekans dağılımı .. 120
Şekil 4.67. Tez çalışmasında incelenen sistemlerin Güneş merkezli Galaktik uzay dağılımları: $X-Y$ (a) ve $X-Z$ (b) grafikleri 121
Şekil 4.68. CB, ECB ve NCB sistemlerinin *TD/D* değerlerinin frekans dağılımları 122
Şekil 4.69. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik toplam kütlelerinin frekans dağılımı 124
Şekil 4.70. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik yörünge dönemlerinin frekans dağılımı 125

Şekil 4.71. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik yörünge açısal momentumlarının frekans dağılımı 126
Şekil 4.72. CB, ECB ve NCB sistemlerinin yarı büyük eksen uzunluklarının frekans dağılımı 127
Şekil 4.73. CB, ECB ve NCB sistemlerinin kütle oranlarına ait frekans dağılımı 128
Şekil 4.74. CB ve ECB sistemlerinin taşma parametresine göre frekans dağılımı 130
Şekil 4.75. CB, ECB ve NCB'lerin toplam kütle, yörünge açısal momentum ve yörünge dönemi parametrelerinin kinematik yaş ile değişimleri 132
Şekil 4.76. CB, ECB ve NCB'lerin yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin kinematik yaş ile değişimleri 135
Şekil 5.1. CB, ECB ve NCB türü örten çiftler için kütle oranı, toplam kütle, dönem ve yarı büyük eksen uzunluğuna karşı dönem değişim oranlarını dağılımı 144
Şekil 5.2. (a): CB, ECB ve NCB türü sistemler için, (b): ECB ve NCB türü sistemler için $\log M - \log J$ değişimi, sürekli çizgi yapılan doğrusal fitini temsil etmektedir (Türler dönem değişimlerine göre sembolize edilmiş olup; üçgen sembolü dönem azalması, ters üçgen dönem artması ve içi boş daire değişim yok ya da verisi bulunmayan sistemleri temsil etmektedir) 147
Şekil 5.3. CB, ECB ve NCB türü sistemler için $\log P - \log J$ ve $\log P - \log M$ değişimi, sürekli çizgiler yapılan doğrusal fitleri temsil etmektedir 149
Şekil 5.4. Yüksek olasılıklı ince disk üyesi olan CB, ECB ve NCB çift yıldızlarının toplam kütle, yörünge açısal momentumu ve yörünge dönemlerinin ortalama kinematik yaş ile değişimleri 150

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. ECB türü sistemlerin bazı temel fiziksel parametreleri 10
Çizelge 2.2. DB, NCB ve LTCB türleri için ortalama parametre dağılımı (Yakut ve Eggleton, 2005) 12
Çizelge 2.3. NCB türü sistemlerin bazı temel fiziksel parametreleri 16
Çizelge 2.4. Değen çift sistemlerin alt gruplarının tahmin edilen uzay hız dispersiyonları ve kinematik yaşları (Bilir ve ark., 2005) 32
Çizelge 3.1. Erken değme evresindeki sistemlerin gözlem bilgileri 44
Çizelge 3.2. ECB türü sistemlerin gözlemlerden elde edilen minimum zamanları ve hataları 45
Çizelge 4.1. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin temel parametre dağılım ortalama değerleri 64
Çizelge 4.2. CN And sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçlarıyla daha önceki çalışmaların karşılaştırılması 74
Çizelge 4.3. CN And örten çift sisteminin temel fiziksel parametreleri ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması 75
Çizelge 4.4. GZ And sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları ile daha önceki çalışmaların karşılaştırılması 77
Çizelge 4.5. GZ And örten çift sisteminin analizleri sonucunda bulunan temel fiziksel parametreler ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması 78
Çizelge 4.6. LS Del sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları ile daha önceki çalışmaların karşılaştırılması 79
Çizelge 4.7. LS Del örten çift sisteminin analizleri sonucunda bulunan temel astrofiziksel parametreler ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması 80
Çizelge 4.8. Dönemi azalan ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları 83
Çizelge 4.9. Dönemi azalan ECB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler 83
Çizelge 4.10. Yörünge döneminde sadece azalan parabolik değişim gösteren ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları 90
Çizelge 4.11. Dönemi artan ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları 93
Çizelge 4.12. Dönemi artan ECB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler 94
Çizelge 4.13. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları 98
Çizelge 4.14. Dönemi azalan NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları 101
Çizelge 4.15. Dönemi azalan NCB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler 101
Çizelge 4.16. RZ Dra ve SW Lyn için Applegate parametreleri 106
Çizelge 4.17. NCB türü RZ Dra ve SW Lyn sistemlerinin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreler ve hataları 107
Çizelge 4.18. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları 108
Çizelge 4.19. Dönemi artan NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları 112
Çizelge 4.20. Dönemi artan NCB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı

parametreler 113
Çizelge 4.21. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren YY Cet sisteminin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları 119
Çizelge 4.22. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin yüksek olasılıklı ince disk ($TD/D \leq 0,1$) ve düşük olasılıklı ince disk ($0,1 < TD/D \leq 1$) ile yüksek olasılıklı ($TD/D > 1$) kalın disk ve halo yıldızlarının hız dağılımları. Hızlar km s-1 birimindedir .. 122
Çizelge 4.23. Çalışılan sistemlerin toplam kütleye göre yapılan kinematik hesaplamaları 124
Çizelge 4.24. Çalışılan sistemlerin yörünge dönemlerine göre yapılan kinematik hesaplamaları 125
Çizelge 4.25. Çalışılan sistemlerin yörünge açısal momentumlarına göre yapılan kinematik hesaplamaları 126
Çizelge 4.26. Çalışılan sistemlerin yarı büyük eksen uzunluğuna göre yapılan kinematik hesaplamaları 127
Çizelge 4.27. Çalışılan sistemlerin kütle oranlarına göre yapılan kinematik hesaplamaları 128
Çizelge 4.28. Çalışılan sistemlerin taşma parametresine (f) göre yapılan kinematik hesaplamaları 129
Çizelge 4.29. Yörünge açısal momentuma göre yapılan gruplamalar için ortalama yörünge açısal momentum, ortalama yörünge dönemi, ortalama kütle, toplam hız dispersiyonlarıyla kinematik yaşları 131
Çizelge 4.30. Yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin ortalama değerlerine göre yapılan farklı alt gruplar ve toplam hız dispersiyonlarıyla kinematik yaşlar 134
Çizelge 5.1. Bu çalışma ve Gazeas ve Stepien (2008) ile Deb ve Singh (2011) çalışmaları için kütle dönem bağıntıları 137
Çizelge 5.2. $O-C$ analizi yapılan ECB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri 139
Çizelge 5.3. Dönem analizi incelenen ECB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri 140
Çizelge 5.4. $O-C$ analizi yapılan NCB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri 142
Çizelge 5.5. Yörünge dönem değişim analizi yapılan NCB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri..... 142
Çizelge 5.6. CB türü sistemler için bu çalışmada elde edilen toplam kütle, açısal momentum ve yörünge döneminin yıllık azalma miktarları..... 151

BÖLÜM 1
GİRİŞ

Gözlenebilir evrenin fiziksel özelliklerini tanımlamanın/anlamanın en iyi yolu galaksilerin yapısını ve özelliklerini iyi bir şekilde belirlemekle olur. Termonükleer reaktörler olarak bilinen ve evrenin yapıtaşları olarak kabul edilen yıldızların araştırılmasıyla galaksiler hakkında detaylı bilgiye ulaşır ve dolayısıyla evrenin oluşumu ve evren daha iyi anlaşılabilir. Yıldızları anlamanın en iyi yolu ise yıldızın temel fiziksel parametrelerinin duyarlı bir şekilde belirlenmesiyle mümkün olur. Son yıllarda artan teknolojik gelişmeler (*Kepler*, *Gaia*, *TESS* vb.) ile birlikte daha hassas veriler elde edilmekte ve böylece temel astrofiziksel parametreler (kütle, yarıçap, uzaklık vb.) çok daha duyarlı hesaplanabilmektedir. Bu ilerlemeler, yıldız astrofiziği açısından çok büyük önem taşımaktadır. Daha duyarlı bir şekilde belirlenen parametreler, yıldızların evrimini ve yapısını daha iyi anlamımıza yardımcı olmaktadır. Tek yıldızların kütle, yarıçap ve sıcaklık gibi temel parametrelerini belirlemek oldukça zordur. Bu yüzden; astrofizik alanındaki araştırmacılar için en önemli alanlardan biri de temel parametreleri duyarlı belirlenebildiği çift yıldız çalışmalarıdır.

Galaksimizdeki yıldızların yarısından fazlası ya çift yıldız ya da çoklu yıldız sistemlerinin üyesi oldukları istatistiksel çalışmalarda ortaya konulmuştur (Masevich ve Tutukov, 1988). Çift yıldızlar; değişen yıldızların (parlaklıkları zaman ile değişen ve ölçülebilen) bir sınıfıdır ve bu tür sistemlerin çalışılması, onların hem temel fiziksel parametrelerinin belirlenmesi hem de evrendeki bazı farklı fiziksel olayları (manyetik etkinlik, bileşenler arası kütle ve enerji aktarımı, sistemde olası üçüncü bir cismin varlığı vb.) anlamımıza önemli katkı sağlamaktadır. Çift yıldızlar, görsel, astrometrik, tayfsal ve örten çift yıldızlar olmak üzere dört temel sınıfa ayrılmaktadır. Bu çalışmada örten çift yıldızlar incelenmiş olup özellikle çift çizgili tayfsal çift yıldız (SB2) sınıfına giren adaylar tercih edilmiştir. Çünkü SB2'lerin ışık ve dikine hız eğrilerinin analizlerinden mutlak parametreleri (kütle, yarıçap gibi) duyarlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler ile birlikte SB2'lerin sayısı artmakla birlikte (Eker ve ark., 2014, 2015 ve 2018) halen bazı tür ya da alt tür sistemler için SB2'lerin sayısı azdır. Bunun yanında teknolojik gelişmeleri avantaja çevirerek, temel parametreleri iyi bilinmeyen sistemlerin daha fazla araştırılması gerekmektedir.

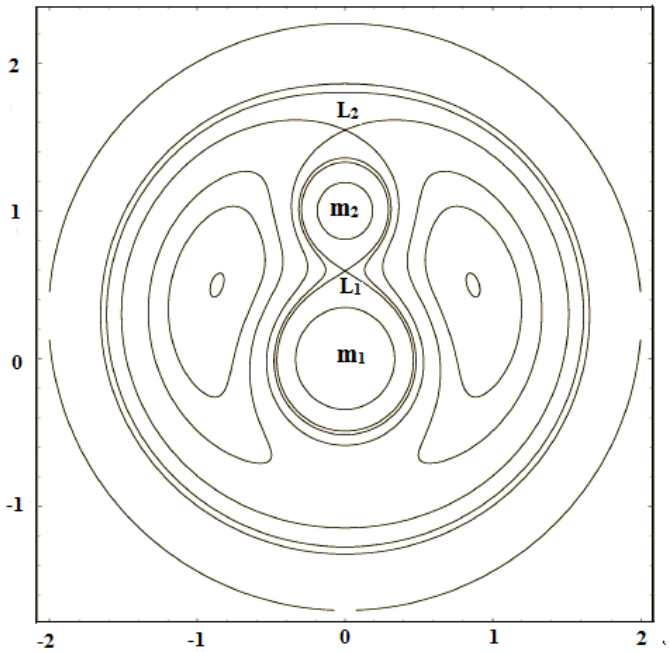
1.1. Çift Yıldızlarda Roche Sınıflaması

Çift yıldız sistemleri için farklı sınıflamalar yapılmaktadır (ışık eğrisi biçimine göre ya da gözlemsel olarak keşfedilme ve inceleme yöntemlerine göre sınıflama gibi). Öne çıkan ve kullanılan sınıflamalardan biri de Roche sınıflaması olup sistemdeki bileşenlerin evrimi ve özellikleri hakkında bilgi vermektedir. 19. yüzyılda matematikçi Edouard Albert Roche tarafından ortaya atılan "sınırlı üç cisim problemi" olarak çözülen sorun, Roche modeli olarak adlandırılır ve çift yıldızların Roche sınıflamasının da temelini oluşturmuştur. Bu çalışmalar çift yıldız sistemlerinde, Roche sınıflamasının temelini oluşturmaktadır. Model temelde, ortak kütle merkezi etrafında çembersel yörüngede dolanan iki noktasal kütle kaynağıyle birlikte üçüncü bir noktasal kaynak, diğer iki kütlenin çekim kuvvetinden dolayı hareket etmektedir. Modelde eşpotansiyel yüzeyler sabit olup dönme ve çekimsel enerjileri toplamına eşittir. Eşpotansiyel yüzeyler Roche yüzeyi olarak tanımlanmakta ve "sınırlı üç cisim problemi" bu yüzeylerin belirlenmesiyle çözülmektedir. Çift yıldız sistemleri için Roche yüzeyleri, evrimleri sırasında hacimlerini genişletebilecekleri en büyük sınırdır. Bu sınır bileşenlerin Roche yüzeylerinin kesim noktalarından ikisi, iç ve dış Lagrange noktaları olarak adlandırılan L_1 ve L_2 noktalarıdır. Şekil 1.1'de q=0,4 olan ve L_1, L_2 noktaları gösterilen bir çift sisteme ait Roche geometrisi gösterilmektedir (Benacquista ve Downing, 2013). Eğer sistemde herhangi bir bileşen Roche lobunu doldurup L_1 noktasına ulaştığı zaman bu noktadan diğer bileşene kütle aktarır. Dış Lagrange noktası olan L_2 ise kütlenin sistemden kaçacağı diğer bir Lagrange noktasıdır.

Roche lobunun hacminin, çift yıldız evrimindeki yeri oldukça önemlidir. Bunu hesaplamak için Eggleton (1983) tarafından "etkin yarıçap (r_L)" olarak ifade edilen eşitlik kullanılabilir.

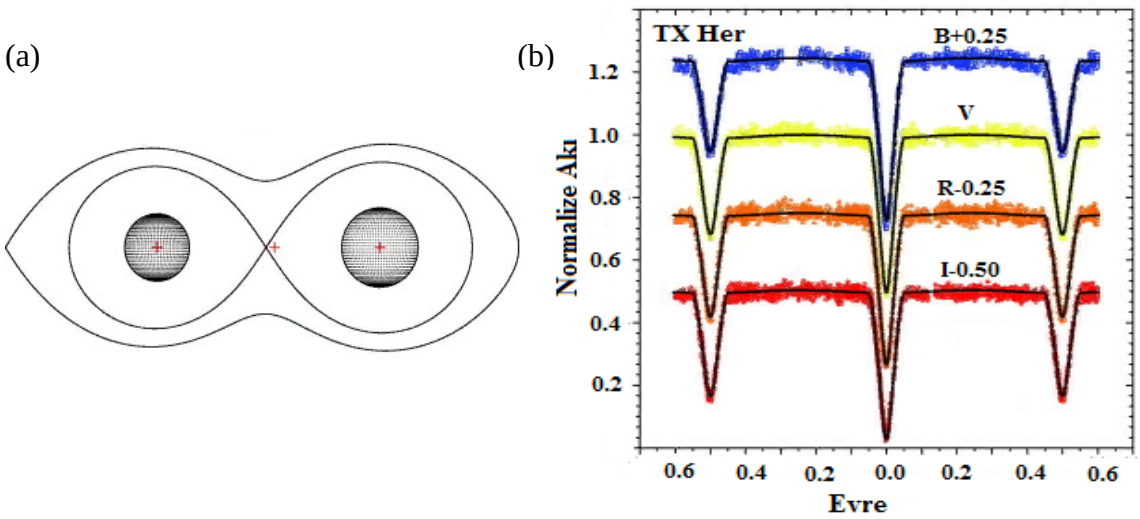
$$r_L = \frac{0.49\,q^{2/3}}{0.69\,q^{2/3} + \ln(1+q^{1/3})} \tag{1.1}$$

Burada $q=M_2/M_1$ olup sistemdeki bileşenlerin kütle oranını ifade etmektedir. Gerçek yarıçap ise; eğer bir yıldız Roche lobunu doldurmuşsa "$R_L = r_L\,.\,a$" eşitliğiyle hesaplanır. Burada a sistemin yarı büyük eksen uzunluğudur (iki bileşen arasındaki uzaklık).



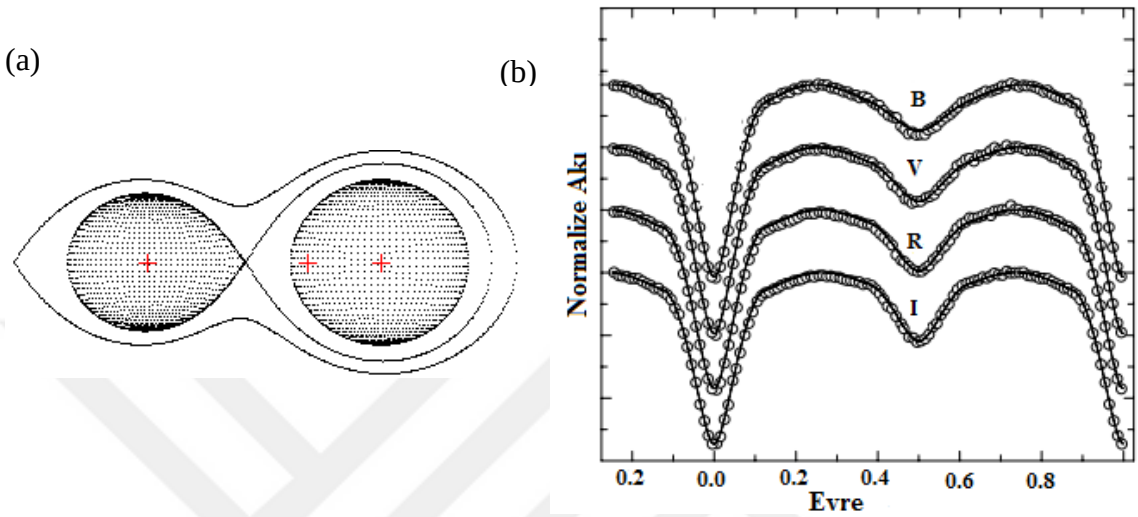
Şekil 1.1. Kütle oranı q=0,4 olan bir çift yıldız sisteminin yörünge düzleminde eş potansiyel yüzeylerini gösterimi (Benacquista ve Downing, 2013)

Çift yıldızlar için Roche geometrisini temel alan ve sıklıkla kullanılan sınıflama Kopal (1959) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflama yıldızların evrimleriyle ilgili bilgi vermektedir. Buna göre çift sistemdeki her iki bileşende iç Roche loblarını doldurmadıysa "ayrık çift yıldızlar (DB)" olarak adlandırılır. DB türü sistemlerde her bir bileşen iç Roche loblarını doldurmadıkları için genellikle küresel bir yapı göstermekte ve ışık eğrisinin maksimum evreleri neredeyse düz bir yapıda görünmektedir (bakınız Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Ayrık çift yıldız sistemi olan TX Her'in Roche geometrisi (a) ve *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrilerinin (b) gösterimi (Erdem ve ark., 2011)

Bileşenlerden biri iç Roche lobunu doldurup diğeri doldurmadıysa "yarı-ayrık çift yıldızlar (SDB)" olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.3'te ikinci bileşen Roche lobunu doldurmuş ve birinci bileşen iç Roche lobu içinde kalan GW Gem yarı ayrık sisteminin Roche geometrisi ve ışık eğrileri gösterilmektedir.



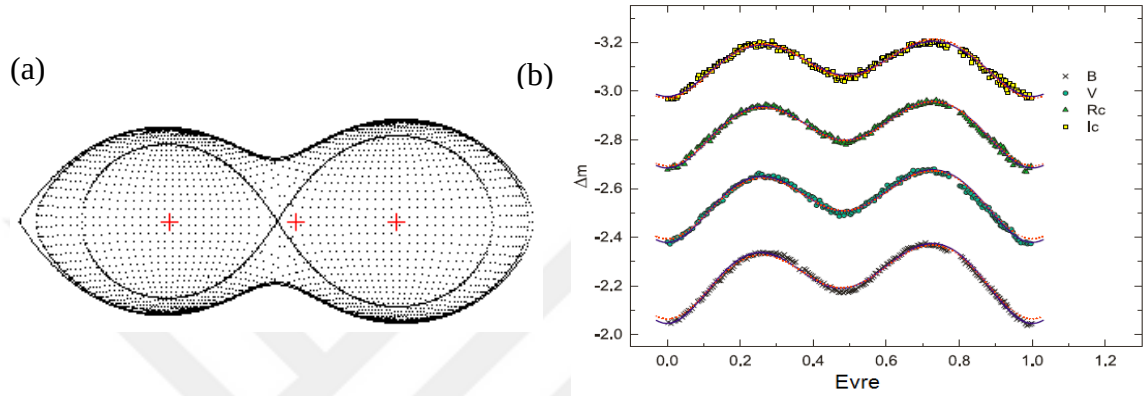
Şekil 1.3. Yarı ayrık çift yıldız sistemi olan GW Gem'in 0,75 evresindeki Roche geometrisi (a) ve *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrileri (b) gösterimi (Lee ve ark., 2009)

Eğer her iki bileşen iç Roche loblarını doldurduysa "değen çift yıldızlar (CB)" olarak sınıflandırılmaktadır. Çift yıldızlar için iç Roche yüzeyleri evrimleri sırasında genişletebilecekleri sınırlardır. Değme ve taşma oranı Roche geometrisine göre yapılan *f* parametresi ile belirlenir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır:

$$f = \frac{\Omega_{iç} - \Omega}{\Omega_{iç} - \Omega_{dı}} \tag{1.2}$$

Bağıntıda; çift sistemin yüzey potansiyel değeri (Ω), iç kritik Roche eş potansiyel (Ωiç) ve dış kritik Roche eş potansiyel (Ωdış) değeridir. Değme oranı büyürse ve hatta taşarsa "aşırı değen çift yıldızlar (OCB)" olarak isimlendirilir. *f* değeri OCB sistemleri için 0-1 aralığındadır. Aşırı değen VZ Psc sisteminin Roche geometrisi ve ışık eğrisi Şekil 1.4'de verilmektedir. Bileşenlerin her ikisi de iç Roche loblarının yaklaşık %90'nından fazlasını doldurmuşsa "değmeye yakın çift yıldızlar (NCB)" olarak isimlendirilir. W UMa türü sistemlerde; her iki bileşen iç Roche loblarını doldurduysa "değen çift sistemler" olarak, değme oranı büyürse ve hatta taşarsa "aşırı değen çift yıldız sistemleri" olarak adlandırılır.

Ayrıca değmeye yeni başlayan sistemler için “erken değme evresindeki çift yıldızlar (ECB)” diye ek bir tanımlama da kullanılmaktadır. ECB türü sınıftaki sistemlerin tümü CB üyeleridir. Değmeye yakın sistemler için ilk kez Lucy (1976), Lucy ve Wilson (1979) tarafından tanımlama yapıldı. Bu tür sistemler için ilk katalog ise, Shaw (1994) tarafından yayınlandı. Değmeye yakın ya da erken değme evresindeki değen sistemler ısısal dengede olmadıkları için bileşenler arası sıcaklık farkı çoğu değen sistemlerin aksine büyüktür.



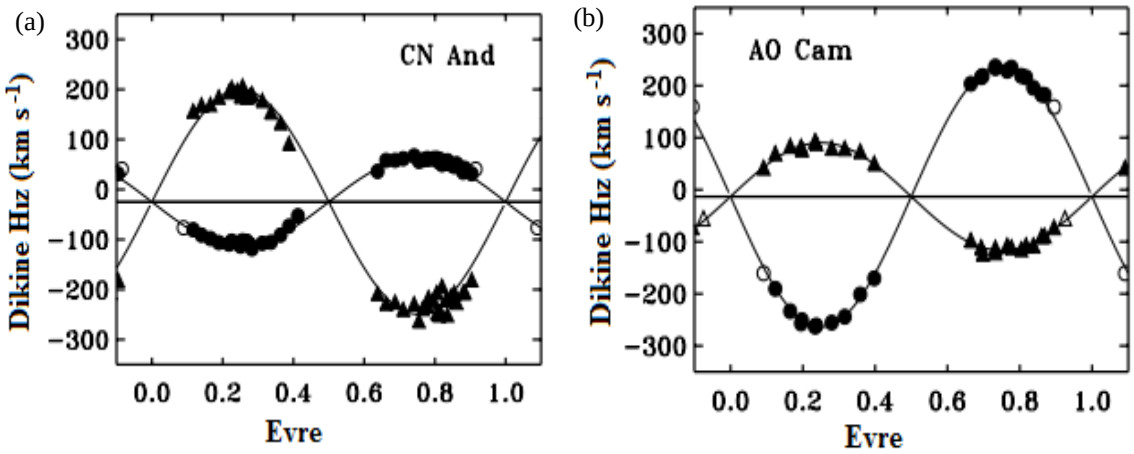
Şekil 1.4. Taşma parametre değeri *f*=% 94,7’ olan VZ Psc sisteminin 0,75 evresindeki Roche geometrisi (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Ma ve ark., 2018)

1.2. Değen Çift Yıldızlar

Işık eğrisi biçimine göre W UMa türü olarak bilinen değen ya da aşırı değen örten çift sistemler neredeyse eşit derinlikteki minimumlara sahiptirler. Bu durum sıcaklıkları birbirine çok yakın olan iki bileşenden oluştuklarını gösterir. Değen çift sistemler (W UMa), Binnendijk (1970) tarafından iki alt sınıfa ayrılmış olup bunlar W ve A-türü dizgeler olarak rapor edilmiştir. A-türü sistemlerde birinci minimumda büyük kütleli bileşen örtülürken (Binnendijk, 1970), bu tür sistemlerin yörünge dönemi genellikle büyük değişimler göstermemekte ve kararlı ışık eğrilerine sahiptirler (Robertson ve Eggleton, 1977). A-türü değen sistemlerin daha ileri evrim aşamasında olduğu, bileşenlerinin toplam kütlelerinin daha büyük olduğu ve daha kalın ortak zarfa sahip oldukları öngörülmektedir (Wilson, 1978). Ayrıca, bu sistemlerde değme/taşma oranı (*f*) daha büyüktür. A-türü sistemlerde, bileşenler daha erken tayf türünden (A-F) olup yörünge dönemleri genellikle 0,5 gün civarındadır ve genellikle kütle oranları ($q=M_2/M_1$) 0,3’ten küçüktür. W-türü sistemlerde birinci minimumda küçük kütleli bileşen örtülmektedir (Binnendijk, 1970). Yörünge dönemleri genellikle değişim göstermekte olup kararsız ışık eğrisine sahiptirler (Robertson ve Eggleton, 1977). Bu tür değen sistemlerde, bileşenler farklı sıcaklıklarda olup

aralarındaki sıcaklık farkı A-türlerindekilere göre daha büyüktür (Rucinski, 1974). W-türü değenlerin değme oranı daha küçük ve genellikle kütle oranları ($q=M_2/M_1$) 0,3'ten büyüktür. Bileşenler geri tayf türünden (F-K) ve dolayısıyla daha soğuk olup sistemin toplam kütlesi de daha küçüktür. Genellikle her iki sınıf (W-A) içinde sıcaklık farkı (ΔT) 1000 K'den küçüktür. "Thermal Relaxation Oscillation (TRO)" teorisine göre (Lucy, 1976; Flannery, 1976) maksimum sıcaklık farkı 880-1000 K değerlerini aşmamalıdır. Marjinal değme konfigürasyonu için sıcaklık farkının 300-700 K arasında olması gerektiğini teorik bulgular ile Lucy ve Wilson (1979) tarafından rapor edilmiştir. Değen çift sistemler için hesaplanan kütle oranları daima q=1'den farklı olup bu durumda anakol yıldızları için kütle-ışınım gücü bağıntısı göre, herbir yıldızı yüzey sıcaklıklarının farklı olduğu anlamına gelir.

Dikine hız eğrilerinde, sistemlerin W veya A-türü W UMa olduğu belirlenebilir. Derin olan (birinci minimum) minimumdan sonra büyük bileşenin gözlemciye yaklaşıyorsa (ki burada dikine hız değer (V_r) değeri negatif çıkmaktadır) A-türü, gözlemciden uzaklaşıyorsa (ki burada dikine hız (V_r) değeri pozitif çıkmaktadır) W-türü W UMa olarak sınıflandırılmaktadır. A ve W-türü sistemlerin dikine hız grafikleri Şekil 1.5 (a) ve Şekil 1.5(b)'de gösterilmiştir.



Şekil 1.5. A-türü CN And sistemi (a) ve W-türü AO Cam sisteminin (b) dikine hız eğrileri (Rucinski ve ark., 2000)

Değen çift sistemler için sıcaklık farkının ΔT=1000 K ve üzeri olan sistemlerin olduğu Rucinski (1986) ve Eggleton (1996) tarafından yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Lucy ve Wilson (1979), bu tür özellik gösteren sistemlere B tipi yani geometrik değen tanımını literatüre kazandırmıştır. Bu sistemlerin ısısal olarak birbirlerine değmediğinden bileşenler arası sıcaklık farkının büyük olmasının ancak bu şekilde ifade edilebileceği söylenmiştir.

Ayrıca B tipi sistemlere, “Poor Thermal Contact” sistemler olarak (Rucinski ve Duerbeck, 1997) adlandırdılar. Değen çift sistemlerin bir alt grubu olan bu dizgelerin ayrık ama değmeye yakın olduğu ve zaman ile açısal momentum kaybı (=“Angular Momentum Lost”; AML) ve bu kaybın sebep olduğu yörünge döneminin küçülme gösterdikleri Rucinski (1986) tarafından önerilmiştir. Ayrıca manyetik frenleme ve çekimsel kilitlenmeyle ayrık olan sistemlerin değen sistemler oluşturabileceğini Demircan (1999) ve Huang (1966) tarafından vurgulanmıştır.

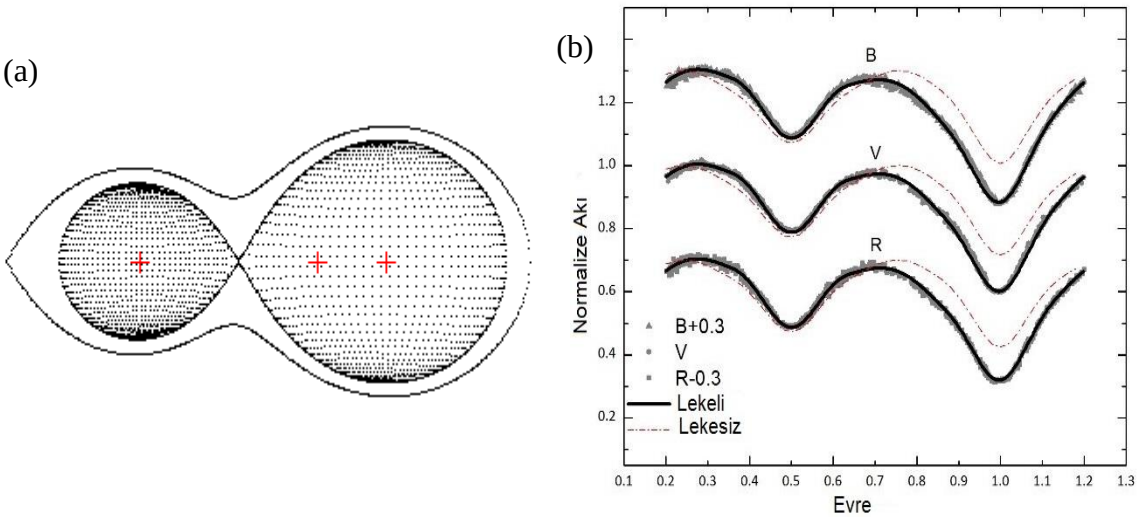
1.3. Tezin Amacı

Önerilen tez çalışmasının amacı temelde, değmeye yakın dizgeler ile erken değme evresindeki değen dizgelerin temel parametre ilişkileriyle evrimsel bağlantılarının araştırılması olarak söylenebilir. Günümüzde teknolojik ilerlemelerle birlikte daha duyarlı verilerin elde edilebilmesi, araştırmalarda özellikle uydu verilerinin kullanımı ön planda tutmaktadır. Tez çalışması kapsamında kinematik hesaplamalarda, *Gaia* DR2 uydu verileri (paralaks ve özhareket verileri) kullanılmıştır. Yörünge dönemi, yıldız sisteminin evrimini anlaşılmasına doğrudan katkı yapacağından, bu tez çalışmasında NCB ve ECB türü sistemlerin yörünge dönem değişimlerini toplu bir şekilde analiz edilmesi ve yorumlanması açısından önemlidir. Ayrıca literatürde dönem analiz çalışması olan CB türü sistemler ile birlikte ECB ve NCB’lerin farklı diyagramlar (dP/dt–$M_{top.}$, dP/dt–P, gibi.) üzerinde yorumlanması ve varsa genel çıkarımlar yapmak büyük önem taşımaktadır. Toplam kütle ve yörünge açısal momentumu, çift yıldızların dinamik yapısını belirleyen temel iki fiziksel parametre olduğundan, NCB, ECB ve CB gruplarının yörünge açısal momentumlarının hesaplanması ve bu grupların farklı diyagramlar üzerinde incelenmesi (log J–log M, log J–log P gibi) ile birlikte bu dağılımların yorumlanması çalışmanın önemli motivasyon kaynaklarındandır. Dinamik ve kinematik evrimleri için genel bilgiye ulaşmak için grupları homojen olarak farklı alt sınıflara ayrılması, NCB ve ECB türlerinin grup yaşlarıyla temel parametre ilişkilerinin incelenerek dinamik evrimlerinin araştırılması ve CB’ler ile aynı düzlemlerde tartışılması ayrıca önemlidir. Bu kapsamda, ECB ve NCB’leri, CB gruplarıyla birlikte dinamik ve kinematik evrimlerinin araştırılması tez çalışmasının hedeflerindendir.

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Değen Çiftlerin Temel Parametreleri

Bütün değen sistemler benzer fiziksel özelliklere sahiptir. Bu yüzden, değen sistemlerin aynı oluşum ve evrim senaryosuna sahip olmaları beklenir (Gazeas ve Stepien 2008). Fakat değen dizgelerin aynı şekilde oluşup oluşmadığı tartışma konusudur. Kütle, yarıçap, ışıtma ve kimyasal bolluk gibi temel fiziksel parametreler yıldızların evrimini daha iyi anlamamıza yardımcı olan verilerdir. Günümüzdeki teknolojik aletler ile daha duyarlı ölçüm yapıldığı için (özellikle tayfsal ve fotometrik gözlemlerden elde edilen verilerin daha da duyarlı hale gelmesiyle) temel fiziksel parametreleri daha hassas belirlenebilmektedir. Bu durumda da yıldızlar hakkında daha doğru bilgiye ulaşmış olunur. Değen çift sistemler fiziksel olarak değme durumunda oldukları için ayrık yıldızlara göre bileşenler arası daha fazla etkileşim vardır. Son yıllarda daha hassas gözlemler ile birlikte fazla sayıda örten çift gözlenmiştir. Gözlenen sistemlerinin sayısının artması, başka sınıflandırmaların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Örneğin, değen sistemlerde değme oranı küçük veya değmenin henüz başladığı durumda Erken Değme Evresindeki (ECB) türlerden bahsedilir. Bunlar literatürde "Shallow Contact", "Poor Thermal Contact" ve "Marjinal Contact" diye de sınıflandırılmaktadır. Bu tür sistemlerde bileşenlerin arası sıcaklık farkı genellikle büyüktür ki bu durumda değmenin henüz başlamasından dolayı ısısal denge henüz sağlanmamıştır. Etkileşim halindeki bileşen yıldızlar birbirlerine ileri derecede tedirginlik kuvveti uygulayarak küresellikten saparlar. Örneğin ECB türü sistem CN And'ın Roche geometrisi ve ışık eğrisi, bu etkileşmelerin yansımalarını göstermektedir (bakınız Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Taşma parametre değeri *f*=0 olan CN And Sisteminin 0,75 evresindeki Roche görünümü (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Yıldırım ve ark., 2019)

Değen çift sistemler için ilk kez marjinal değen diye bir sınıflama Lucy (1976) tarafından yapıldı. Bu sınıflamada W türlerin henüz ısısal dengede olmadıkları ya da ısısal dengeden ayrıldıkları, A türlerinin ise ısısal dengede olmaları gerektiğini belirtti. Bu sınıflama gözlemsel veriler ile Lucy ve Wilson (1979) tarafından test edildi. "Poor Thermal Contact" adıyla erken değme evresindeki değen çift sistemler Kaluzny (1983, 1986) tarafından incelenmiştir. Literatüde son güncel çalışma örnekleri de Odell ve ark. (2009) ve Lee ve ark. (2011) tarafından yapılmıştır.

Erken değme evresindeki sistemler, genellikle geri tayf türünden soğuk konvektif zarfa sahip iki bileşenden oluşur. Bu çalışmada seçilen ECB türlerinin taşma oranı %0≤ *f* ≤%10 aralığından olduğu için bileşenler ısısal olarak dengeye gelemediklerinden dizgeler arası sıcaklık farkı normal CB'lere göre daha büyüktür. Bu kapsamda, literatür ve kataloglar taranarak oluşturulan ECB kataloğundan alınmış, temel fiziksel parametreleri bilinen 20 ECB türü sistemin bazı temel fiziksel parametreleri aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir.

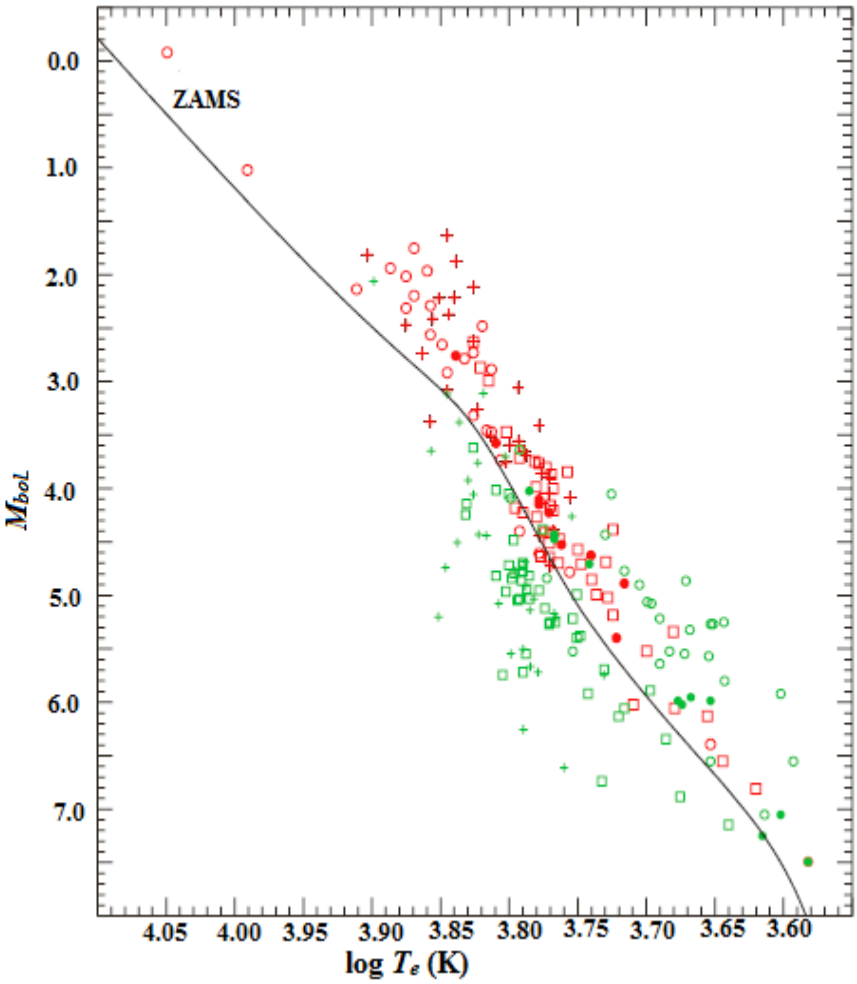
Çizelge 2.1. ECB türü sistemlerin bazı temel fiziksel parametreleri

Sistem	M_1 ($M_\odot$)	M_2 ($M_\odot$)	R_1 ($R_\odot$)	R_2 ($R_\odot$)	P (gün)	Tayf Türü	f (%) (Taşma Oranı)	ΔT (K)
CN And	1,4[1]	0,55[1]	1,45[1]	0,94[1]	0,4627930[2]	F5V[3]	0[1]	618[1]
GZ And	0,62[1]	1,22[1]	0,76[1]	1,04[1]	0,3050067[2]	G5V[4]	6[1]	237[1]
LS Del	0,54[1]	1,44[1]	0,86[1]	1,32[1]	0,3638384[2]	F5/8V[5]	9[1]	567[1]
TW Cet	0,722[6]	0,963[6]	0,831[6]	0,95[6]	0,3168510[2]	G1V[7]	6[6]	112[6]
TT Cet	2,109[6]	0,823[6]	1,729[6]	1,155[6]	0,4859540[2]	F4V[7]	8[6]	1535[6]
BX And	2,148[8]	0,977[8]	2,01[8]	1,4[8]	0,6101124[2]	F2V[8]	4,5[8]	1892[8]
S Ant	1,94[9]	0,76[9]	2,07[9]	1,36[9]	0,6483460[2]	F4[10]	7[9]	460[9]
XY Leo	0,813[11]	0,593[11]	0,833[11]	0,714[11]	0,2840978[2]	K0V[12]	8[11]	499[11]
V752 Cen	0,4[13]	1,302[13]	0,754[13]	1,28[13]	0,3702277[2]	F7,5+F8[14]	8,7[13]	266[13]
RW Com	0,38[15]	0,8[15]	0,54[15]	0,77[15]	0,2373464[2]	K2/5V[5]	6,1[15]	180[15]
HT Vir	1,046[16]	1,284[16]	1,107[16]	1,223[16]	0,407670[2]	F8V[17]	8[16]	90[16]
PY Vir	0,95[18]	0,74[18]	0,923[18]	0,819[18]	0,311251[2]	K1/2 V[19]	0,3[18]	128[18]
V1073 Cyg	1,81[20]	0,549[20]	2,545[20]	1,481[20]	0,785851[2]	A9V[21]	3[20]	691[20]
GW Cnc	0,257[22]	0,971[22]	0,526[22]	0,961[22]	0,281411[2]	G2V+G4V[22]	9,41[22]	141[22]
V376 And	2,44[23]	0,74[23]	2,6[23]	1,51[23]	0,798669[2]	A4V[24]	7[23]	1920[23]
YY Eri	1,54[25]	0,62[25]	1,2[25]	0,77[25]	0,321498[2]	G3 V[7]	3,41[25]	-244[25]
V402 Aur	1,638[26]	0,327[26]	0,915[26]	1,997[26]	0,603491[2]	F2V[26]	3[26]	-75[26]
AC Boo	0,36[27]	1,2[27]	0,69[27]	1,19[27]	0,352431[2]	F8 V[27]	4,6[27]	9[27]
V972 Her	0,15[28]	0,91[28]	0,59[28]	1,35[28]	0,443094[2]	F4V[29]	1[28]	476[28]
V1464 Aql	1,74[30]	1,23[30]	2,1[30]	1,8[30]	0,697822[2]	F[31]	0,01[30]	1188[30]

Referans: 1: Bu çalışma, 2: Kreiner ve ark. (2001), 3: Rucinski ve ark. (2000), 4: Rucinski ve ark. (2007), 5: Pribulla ve ark. (2009), 6: Deb.ve Singh (2010), 7: Duerbeck ve Rucinski (2007), 8: Siwak ve ark. (2010), 9: Maceroni ve van't Veer (1996), 10: Liao ve Qian (2010), 11: Zola ve ark. (2010), 12: Pribulla ve ark. (2007), 13: Barone ve ark. (1993), 14: Leung (1976), 15: Djurasevic ve ark. (2011), 16: Zola ve ark. (2005), 17: Lu (2001), 18: Zhu ve ark. (2013), 19: Rucinski ve ark. (2008), 20: Tian ve ark. (2018), 21: Pribulla ve ark. (2006), 22: Gürol ve ark. (2016), 23: Çiçek (2011), 24: Rucinski ve ark. (2001), 25: Nesci ve ark. (1986), 26: Zola ve ark. (2004), 27: Nelson (2010), 28: Selam ve ark. (2018), 29: Rucinski ve ark. (2002), 30: Dal ve Sipahi (2013), 31: Rucinski ve ark. (2006).

Yıldız astrofiziği açısından Hertzsprung-Russell (HR) diyagramı (renk parlaklık diyagramı olarak ta bilinir) büyük öneme sahiptir. Yıldızların HR diyagramındaki konumları yıldızların temel parametreleri ve evrimi hakkında bilgi vermektedir. Karşılaştırma amacıyla, CB, NCB ve DB sistemlerin HR diyagramındaki konumları Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Ayrıca CB, NCB ve DB sistemlerinin $M-R$ diyagramlarındaki gösterimi de Şekil 2.3 ve 2.5'te gösterilmiştir. Değen çift sistemler için birinci bileşen genellikle sıfır

yaş anakolu (ZAMS) yakınında ve üzerinde yer alırken ikinci bileşenler genellikle sıfır yaş anakolun (ZAMS) altında yer almaktadır (Yakut ve Eggleton, 2005). Şekil 2.3'te kütle yarıçap diyagramında birinci bileşenin anakol yakınında ve ikinci bileşenin ise kütlesine göre daha büyük yarıçapa sahip olduğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2.2. W tipi W UMa (kare), A tipi W UMa (artı), NCB (içi boş daire) ve ayrık (içi dolu daire) sistemlerin HR diyagramında gösterimi. Birinci bileşenler (kırmızı) ve ikinci bileşenler ise yeşil renk ile gösterilmiştir (Yakut ve Eggleton, 2005)

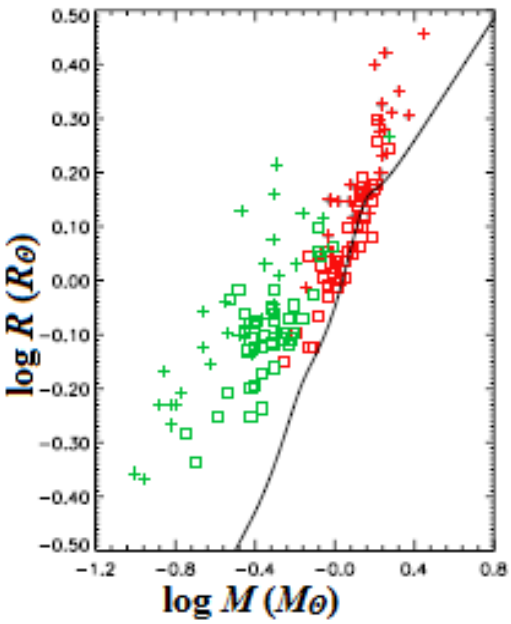
Ayrıca ECB ve NCB sistemleri için; CB türü sistemlerle birlikte temel parametre dağılımlarının incelenmesi ve bu türler arasındaki farklılık ya da benzerliklerin de ele alınması bu tez çalışmasının hedeflerindendir. Bu bağlamda, yakın çift yıldızlar üzerine bir çalışma Yakut ve Eggleton (2005) tarafından yapıldı. Çalışmada değen çift sistemleri iki sınıfa ayrıldı ve bunlar düşük sıcaklıklı sistemler (LTCB), yüksek sıcaklıklı değen sistemler (HTCB) olarak adlandırıldı. LTCB sınıfı literatürde W UMa olarak bilinen sınıflamadır.

Aynı çalışmada, LTCB, NCB ve DB türlerin evrimsel bağıntıları tartışıldı ve parametre dağılımları incelendi. Çizelge 2.2'de LTCB, NCB ve DB türü sistemlerin toplam kütle (M), çekim ivmesi (g), açısal momentum (H) ve birinci bileşenin ışınım gücünün (L_1) ortalama değerleri listelenmiştir.

Çizelge 2.2. DB, NCB ve LTCB türleri için ortalama parametre dağılımı (Yakut ve Eggleton, 2005)

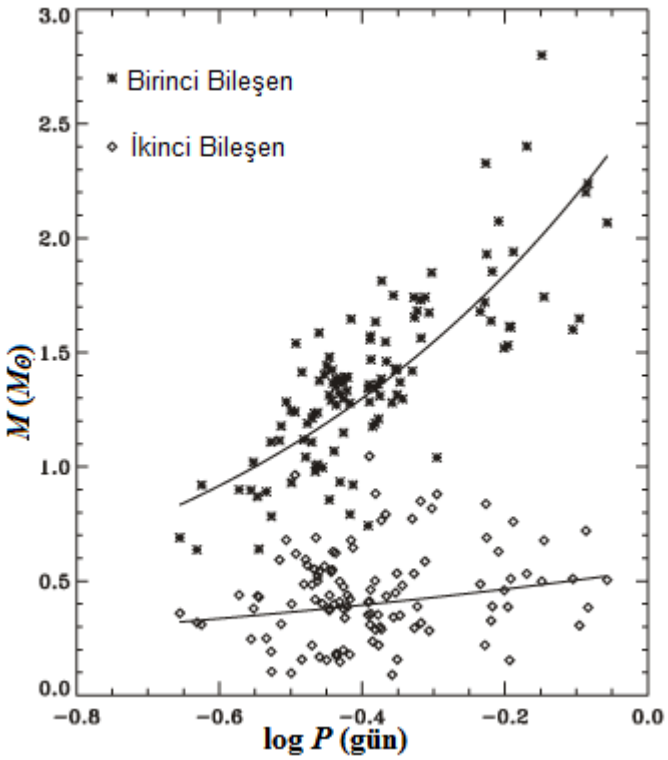
Tür	N (sayı)	$<M>$ $(M_\odot)$	$<\log g>$ (cgs)	$<\log H>$ (cgs)	$<\log L_1>$ $(L_\odot)$
DCB	11	2,07±0,53	-0,10±0,08	1,89±0,18	0,08±0,45
NCB	25	2,27±0,72	-0,38±0,15	1,84±0,24	0,77±0,51
LTCB	72	1,77±0,54	-0,50±0,24	1,54±0,28	0,32±0,43
LTCB (W)	42	1,66±0,41	-0,39±0,21	1,55±0,21	0,10±0,36
LTCB (A)	30	1,92±0,65	-0,64±0,27	1,53±0,34	0,63±0,33

Yakut ve Eggleton (2005), DB ve NCB türlerinin ortalama çekim ivmesiyle birinci bileşenin ışınım gücünün farklı olduğunu fakat ortalama kütle ve açısal momentum değerlerinin birbirine yakın olduğunu ve ayrıca NCB ve LTCB türleri için dört parametre kıyaslamasının da çok büyük farklılıkların olmadığı rapor edilmiştir.



Şekil 2.3. Birinci bileşen (kırmızı) ve ikinci bileşenler (yeşil), W tipi W UMa (kare) ve A tipi W UMa (artı), sistemlerinin log M−log R diyagramında gösterimi (Yakut ve Eggleton, 2005)

Manyetik yıldız rüzgarlarıyla değen sistemlerin açısal momentum ve kütle kaybının bu tür sistemlerin evrimi ve yapısı üzerine bir çalışma Gazeas ve Stepien (2008) tarafından yapılmıştır. Çalışmada 52 W ve 60 A-türü (toplam 112 W UMa) sistemin evrimi ayrıntılardan bağımsız olarak düşünülmüş ve her iki alt gruptaki bileşenlerin sonunda hızlı dönen tek bir yıldıza dönüşecekleri rapor edilmiştir. Aynı çalışmada W ve A-türü sistemlerin yörünge dönemlerine karşılık kütle ilişkisi incelemiştir (bakınız Şekil 2.4). Şekil 2.4'te sürekli çizgiler hesaplanan dönem-kütle ilişkisini göstermektedir. Buna göre kuramsal eğrileri $M_1 \alpha P^{0,755}$ ve $M_2 \alpha P^{0,352}$ olduğunu ortaya koymaktadır.

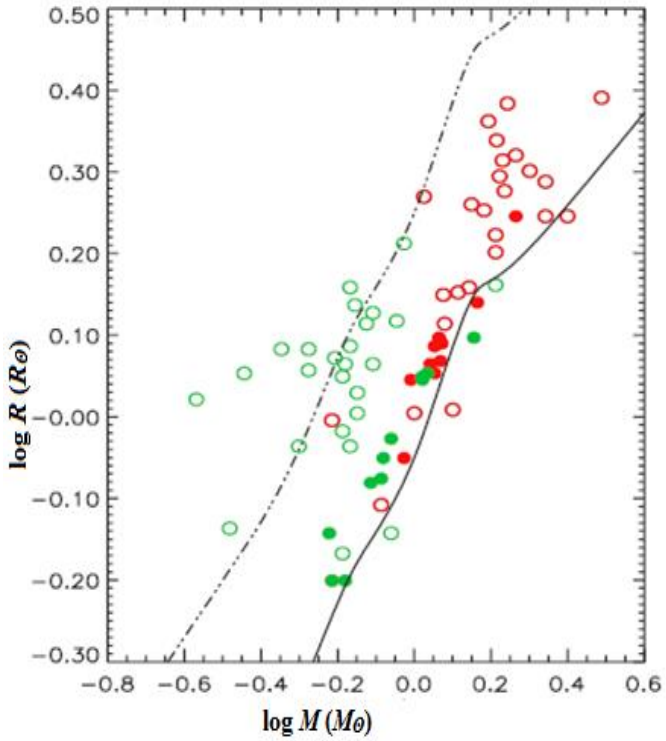


Şekil 2.4. Değen çift sistemler için yörünge dönemine karşılık toplam kütlenin değişimi. Birinci bileşenler yıldız, ikinci bileşenler ise içi boş karelerle belirtilmiştir (Gazeas ve Stepien, 2008)

2.2. Değmeye Yakın Çiftlerin Temel Parametreleri

Etkileşim halindeki sistemlerde her iki bileşen iç Roche yüzeylerinin %90 ve fazlasını doldurmuşsa değmeye yakın sistem olarak (NCB) sınıflandırılmaktadır (Shaw, 1994). Bu tür sistemler değme durumunda olmadıkları için ve dolayısıyla ısısal olarak dengeye gelmedikleri için sıcaklık farkı CB ve ECB'lere göre daha büyüktür. NCB türü örten çiftlerin birinci bileşenleri genellikle A-F tayf türünden iken yoldaş bileşenler (ikinci bileşen) geri

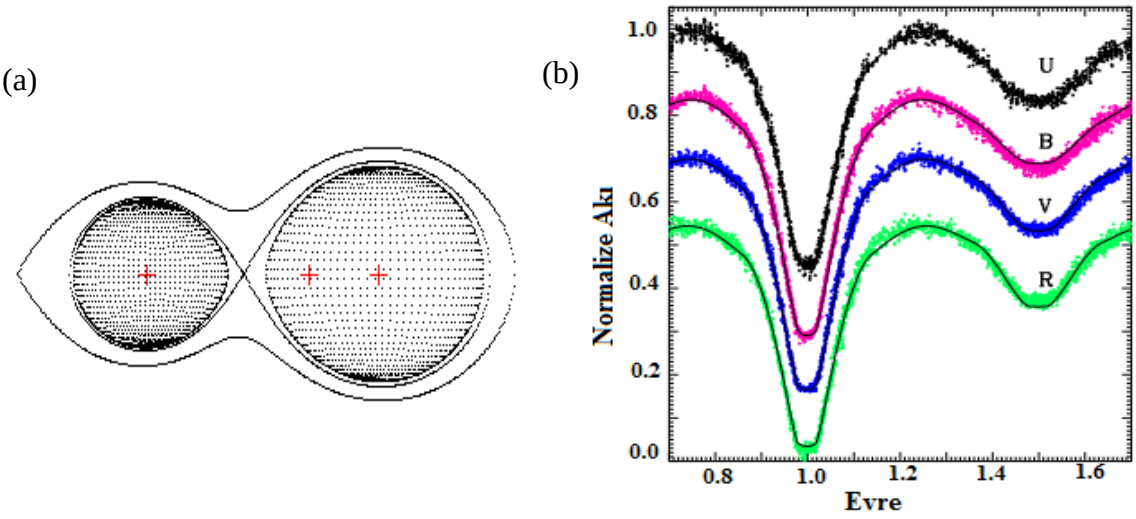
tayf türündendir (G-K). Sistemlerin yörünge dönemleri genellikle bir günden daha kısadır. NCB'lerin, Şekil 2.2'de HR diyagramında gösterilen birinci ve ikinci bileşenleri genellikle ZAMS'ın üzerinde görülmekte iken geri tayf türünden ikinci bileşenler "Terminal Age Main Sequence" (TAMS) yakınında toplanmaktadır (Yakut ve Eggleton, 2005). Şekil 2.5'teki log $M-\log R$ diyagramında ise birinci bileşenler genellikle ZAMS etrafında ve üzerinde toplanırken ikinci bileşenler (TAMS) yakınında ve üzerinde yer almaktadır.



Şekil 2.5. Birinci bileşen (kırmızı) ve ikinci bileşenler (yeşil), NCB (içi boş daire) ve DB (içi dolu daire) sistemlerinin log $M-\log R$ diyagramında gösterimi (Yakut ve Eggleton, 2005)

NCB türü yıldız sistemlerinde, yakınlık etkileri nedeniyle bileşenlerin birbirlerine uyguladıkları kütle çekim kuvveti ve bileşen yıldızların kendi eksenleri etrafında dönmeleri bileşen yıldızların küresel yapıdan ayrılmalarının neden olur ve bileşen yıldızların biçimleri bozulur. Işık eğrilerinde, minimumlar dışında kalan evrelerde de ışık değişimi görülür. NCB türü yıldızlarda, minimum derinliklerindeki farklılık bileşen yıldızların sıcaklıklarının birbirinden farklı olduğunun göstermektedir. NCB türlere bir örnek olarak, KR Cyg sisteminin birinci bileşenin ve ikinci bileşenin doldurma oranları Çizelge 2.3'te verilmekte olup siteminin Roche geometrisi görünümü ve ışık eğrisi Şekil 2.6' da gösterilmektedir.

(a) (b)



Şekil 2.6. Doldurma oranı birinci ve ikinci bileşenlerin sırasıyla %96 ve %98 olan KR Cyg sisteminin 0,75 evresindeki Roche lob geometrilerinin görünümü (a) ve ışık eğrisi (b) gösterimi (Sipahi ve ark., 2013)

Bu çalışmada seçilen NCB türü sistemlerdeki bileşenlerin doldurma oranları çoğunlukla %90 ve üzeridir. Yakın çift yıldız sistemlerinden NCB türü sistemlerin birinci bileşenleri genellikle ileri tayf türünden bir yıldız ve 1 $M_{\odot}$'ten büyük bir kütleye sahiptir. NCB'lerin ikinci bileşenleri ise kütleleri genellikle bir Güneş kütlesinden küçük ve geri tayf türünden bir yıldızdır. Bunun doğal sonucu olarak ise bileşenler arası sıcaklık farkı genellikle 1000 K'den büyüktür. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında literatür ve kataloglar taranarak oluşturulan NCB kataloğundan alınmış, temel fiziksel parametreleri bilinen 20 NCB türü sistemin bazı temel fiziksel parametreleri Çizelge 2.3'te verilmektedir.

Çizelge 2.3. NCB türü sistemlerin bazı temel fiziksel parametreleri

Sistem	M_1 ($M_\odot$)	M_2 ($M_\odot$)	R_1 ($R_\odot$)	R_2 ($R_\odot$)	P (gün)	Tayf Türü	D_1-D_2 (%) (Doldurma Oranı)	ΔT (K)
EE Aqr	2,24[1]	0,72[1]	1,76[1]	1,1[1]	0,5089950[2]	F0V+K5[1]	96-104[1]	2867[1]
CX Aqr	1,19[3]	0,64[3]	1,33[3]	1,16[3]	0,5559860[2]	F5+G9[3]	96-97[3]	1111[3]
EG Cep	1,65[4]	0,77[4]	1,66[4]	1,18[4]	0,5446223[2]	A6[5]	99-100[4]	2559[4]
YY Cet	1,77[6]	0,92[6]	2,08[6]	1,62[6]	0,7904506[2]	A8V+G[7]	97-99[6]	2385[6]
RV Crv	1,64[8]	0,44[8]	2,18[8]	1,19[8]	0,7472503[2]	F2+K5[9]	96-98[8]	808[8]
RT Scl	1,37[10]	0,61[10]	1,53[10]	0,97[10]	0,5116000[2]	F2+K[9]	98-94[10]	2200[10]
FO Vir	1,6[11]	0,25[11]	2,35[11]	1[11]	0,7755680[2]	A7+K2[9]	95-95[11]	2700[11]
RZ Dra	1,63[12]	0,7[12]	1,65[12]	1,15[12]	0,5508760[2]	A6[13]	98-100[12]	2934[12]
RU Eri	1,37[13]	0,73[13]	1,73[13]	1,27[13]	0,6321995[2]	F3V[13]	100-98[13]	1794[13]
TT Her	2,82[14]	1,08[14]	2,79[14]	1,86[14]	0,9120802[2]	A0[14]	99-95[14]	3750[14]
V361 Lyr	1,26[15]	0,87[15]	1,02[15]	0,72[15]	0,3096140[2]	F8+K1[15]	97-97[15]	1700[15]
AG Phe	1,42[16]	0,22[16]	1,66[16]	0,93[16]	0,9998000[2]	A8V+K2[16]	79-99[16]	3310[16]
NP Aqr	1,65[17]	0,99[17]	2,13[17]	1,67[17]	0,8069820[2]	F0V[17]	96-97[17]	2800[17]
SW Lyn	1,716[18]	0,899[18]	1,762[18]	1,219[18]	0,6440660[2]	F2[19]	95,3-93,7[18]	2220[18]
DD Mon	1,39[20]	0,93[20]	1,44[20]	1,29[20]	0,5680200[2]	G0[21]	93,8-100[20]	1055[20]
V747 Cen	1,541[22]	0,493[22]	1,7[22]	0,98[22]	0,5371948[2]	A5V[22]	100-99[22]	3875[22]
UU Lyn	1,4[23]	0,6[23]	1,4[23]	0,9[23]	0,4684601[2]	F3+K[23]	100-99[23]	1909[23]
RS Ind	2[24]	0,62[24]	2[24]	1,18[24]	0,6240611[2]	F4[25]	100-100[24]	1690[24]
KR Cyg	2,876[26]	1,261[26]	2,594[26]	1,804[26]	0,8451535[2]	B9+F5[26]	96-98[26]	4230[26]
FT Lup	1,871[22]	0,823[22]	1,64[22]	1,13[22]	0,4700834[2]	F2V+K3V[22]	98-95[27]	2049[22]

Referans: 1: Wronka ve ark. (2010), 2: Kreiner ve ark. (2001), 3: McFarlane ve ark. (1986), 4: Djurasevic ve ark. (2013), 5: Angione ve ark. (2013), 6: Williamon ve Sowell (2012), 7: McFarlane ve ark. (1986), 8: McFarlane ve ark. (1986), 9: Shaw ve ark. (1996), 10: Banks ve ark. (1990), 11: Shaw ve ark. (1991), 12: Erdem ve ark. (2011), 13: Rucinski ve ark. (2000), 14: Williamon ve ark. (2013), 14: Terrell ve ark. (2014), 15: Hilditch ve ark. (1997), 16: Cerruti (1996), 17: İbanoğlu ve ark. (2010), 18: Kreiner ve ark. (2003) 19: Lu ve ark. (2001), 20: Gazeas ve ark. (2010), 21: Pribulla ve ark. (2009), 22: Siwak ve ark. (2010), 23: Yamasaki ve ark. (1983), 24: Roeser ve ark. (2010) 25: Brancewicz ve Dworak (1980), 26: Sipahi ve ark. (2013), 27: Djurasevic (1993)

2.3. Değen ve Değmeye Yakın Çiftlerde Dönem Değişimi

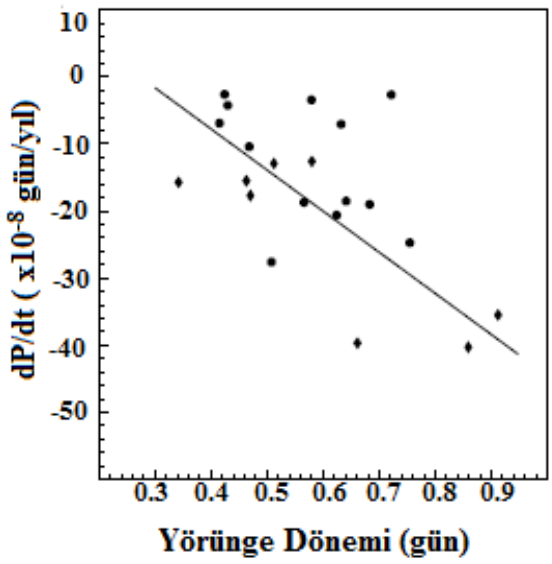
Örten çift yıldız sistemlerinin yörünge dönemleri diğer parametrelere göre daha hassas belirlenebilmektedir. Değmeye yakın ve değen sistemler genellikle kısa yörünge dönemlerine sahip oldukları için gözlemsel olarak incelenmesi daha kolay olduğundan en çok tercih edilen sistemlerdir. Bileşenler arası korunumlu kütle aktarımı veya sistemden kütle kaybı, manyetik etkinlik, olası üçüncü bir cismin varlığı ve eksen dönmesi yörünge

dönem değişim mekanizmalarıdır. Kütle aktarım/kaybı ve manyetik etkinlik nedeniyle yörünge döneminde gerçek anlamda değişim olurken, üçüncü cisim ve eksen dönmesi ise yörünge döneminde görünen olarak değişim sebebidir. Değmeye yakın ve değen çift sistemler etkileşim halinde oldukları için bileşenler arası kütle alışverişi veya bir sistemden uzaya kütle kaybı gerçekleşebilir. Bu tür sistemler, genellikle soğuk iki bileşen ya da en az bir bileşen soğuk konvektif dış zarflı dizgelerden oluşmaktadır. Bu yüzden hızlı dönmeleri onları güçlü bir manyetik etkinlik gösteren sistemler durumuna getirir ki bu durumda, gösterecekleri olası manyetik çevrimler de yörünge dönemi değişimi göstermelerine sebep olur. Bunlara ek olarak bazı sistemlerdeki üçüncü cisimler de çevrimsel dönem değişimi meydana getirir. Yörünge dönem değişim mekanizmalarından, eksen dönmesi daha çok ayrık yıldızlarda görünmektedir. Yakın çift yıldızların yörünge dönemlerinin azalması beklenir. Fakat *O-C* analizlerinde yaklaşık 100 yıllık (ki bu aralıktaki verilerin en fazla 50 yıllık olanları daha duyarlı veriler olduğu bilinmektedir) bir veri aralığına bakıldığı için ki buda bir yıldızın yaşamı için çok küçük bir zaman aralığıdır. Bu yüzden yıldız sisteminin tüm yaşam süresi için dönemin arttığı ya da azaldığını söylemek kolay değildir. Dönem değişim analizleri için kullanılan en etkin yollardan biri "$O-C$ analiz yöntemi" olup bir sonraki bölümde detaylı bahsedilecektir.

Literatürde değen çift sistemler için 2000 yıllarda özellikle Qian bir çok çalışma yapmış ve bu çalışmalarda genel çıkarımlarda bulunmuştur (Qian 2001a, 2001b, 2002 ve 2003). Sıcak ve büyük kütleli ($M_1 \geq 1{,}35\ M_\odot$) bileşene sahip değen çift sistemlerin evriminin genellikle TRO tarafından kontrol edildiği rapor edilmiştir (bakınız Qian, 2001a). Aynı çalışmada soğuk ve küçük kütleli ($M_1 \leq 1{,}35\ M_\odot$) bileşene sahip değen çift sistemlerin evrimi ise TRO ve AML tarafından kontrol edildiği bildirilmiştir. Yine aynı çalışmada, 27 sıcak ve büyük kütleli bileşenlere sahip değen çiftlerin neredeyse tamamının yörünge dönemlerinin arttığı söylenmiştir (en küçük kütle oranına q=0,072 sahip AW UMa sisteminin dönemi azalmaktadır). Bu durum bu tür sistemlerde, gözlemsel olarak yapılan analiz çalışmalarında AML dikkate alınmayacak kadar küçük olduğunu gösterir (Qian, 2001a). Bu yüzden bu tür sistemlerin evrimi genellikle TRO tarafından kontrol edildiği belirtildi (Qian, 2001a). Yörünge dönemlerindeki artma ise küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımıyla olacağı önerilmiştir (Qian, 2001a). 30 W-türü değen çift sistemin, kütle oranıyla yörünge dönem değişimi arasında bir bağlantı Qian (2001b) tarafından gösterilmiştir. Aynı çalışmada kütle oranı q=0,4 değerinden büyük olan W-türü sistemlerin dönemlerinin genellikle arttığı, q<0,4 olan sistemlerin yörünge dönemlerinin ise azaldığı bildirilmiştir. W-türü değen sistemlerin kritik kütle oranı yaklaşık 0,4 çivarı olduğu ve

dönem azalma ya da artmadan sorumlu iki meaknizmanın (AML ve TRO) olabileceği belirtilmiştir (Qian, 2001b). Manyetik tork değen sistemlerin oldukça küçük kütle oranlı olmasına neden olur ve dolayısıyla baş bileşenin daha büyük kütleli olmasına katkı sağlamak ile birlikte her iki bileşenin daha sıcak ve konvektif dış zarf kalıntılarıyla birlikte etkili dinamo mekanizmasının olabileceği Qian (2001b) tarafından ifade edilmiştir.

NCB türü sistemler üzerine önemli bir çalışma Qian (2002) tarafından yapılmıştır. Yörünge dönemi azalan NCB türü sistemler, aşırı değen örten çift sistemlerin evrimini ve yapısını anlamımız için çok önemli kaynaklardır (Qian, 2002). Çünkü NCB'ler ya aşırı değen sistemlere dönüşecekler ya da aşırı değen sistemlerin TRO salınımı tarafından değme durumundan ayrıldıkları belirtilmiştir (Lucy, 1976; Flannery, 1976; Robertson ve Eggleton, 1977). Aşırı değen sistemler için ya ayrık bir sistem doğrudan erken değme evresine geçmesiyle ya da yarı ayrık bir sistemin zaman ile kütle aktarımıyla aşırı değen bir sisteme dönüşebileceği Hilditch ve ark. (1988) tarafından ifade edilmiştir. NCB türü sistemler için, dönem ile dönem değişimi arasında bir ilişki olduğu Qian (2002) tarafından oluşturulmuş ve bu ilişki Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

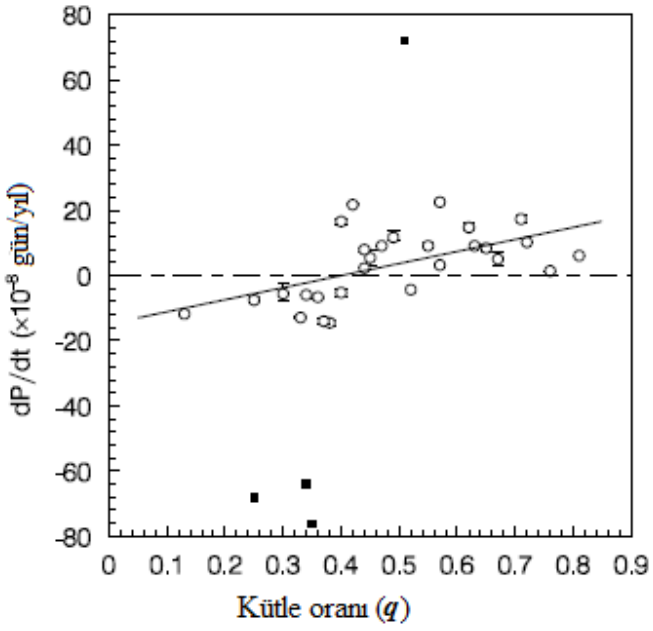


Şekil 2.7. NCB'ler için yörünge dönemiyle yörünge dönem değişimlerinin grafiği (Qian, 2002)

Şekil 2.7'de çalışılmış ve literatürde toplananlarla birlikte 21 NCB türü sistem için, dP/dt (gün/yıl)$=-5{,}3(\pm1.4)\times10^{-7}\times P+1{,}3(\pm0.7)\times10^{-7}$ bağıntısı Qian (2002) tarafından elde edilmiştir. Bu bağıntının anlamı, küçük dönemlerde küçük dönem değişimi, büyük dönemlerde ise büyük dönem değişimi ve NCB'lerin aşırı değen çiftlere evrimleştiğinde

dönemlerinin artacağı Qian (2002) tarafından belirtilmiştir.

Aşırı değen sistemler üzerine bir çalışma Qian (2003) tarafından yapılmış ve çalışmada 59 sistem kullanılmıştır. Aynı çalışmada sistemlerin kütle oranı 0,4 çivarında salınımlar yapılacağı ifade edilmiş (q=0,4 kütle oranını, kritik kütle oranı olarak tanımlamakta) ve bu ilişki grafik üzerinde incelenmiştir (bakınız Şekil 2.8).

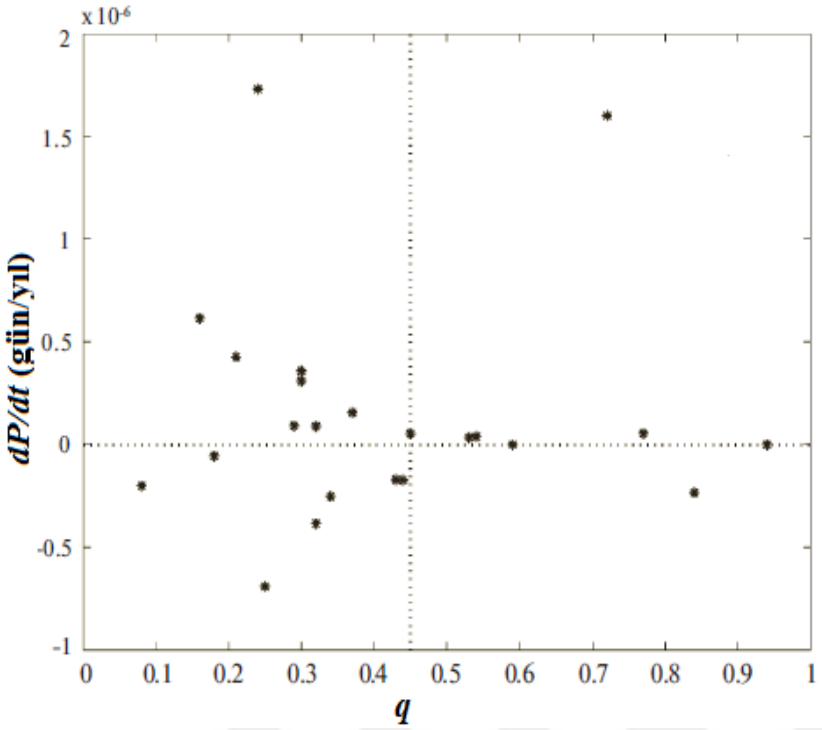


Şekil 2.8. Aşırı değen sistemler için kütle oranıyla dönem değişim grafiği (Qian, 2003)

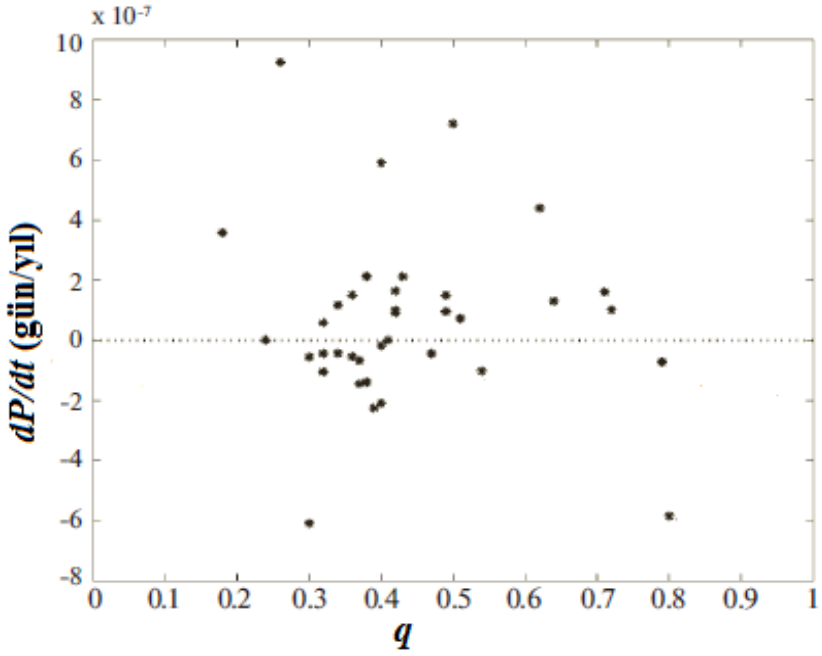
Kütle oranı q=0,4'ten büyük sistemlerin dönemlerinin genelde arttığı ve 0,4'ten küçük durumlarda ise yörünge dönemlerinin azaldığı Şekil 2.8'de görülmektedir. Şekil 2.8'de siyah karelerle işaretlenmiş dört sistemin (CE Leo, VW Cep, LT Pav ve EZ Hya) dönem değişimleri diğerlerine göre daha büyük oranda çıkmakta ve bunların detaylı araştırılması gerektiği Qian (2003) tarafından ifade edilmiştir. Kritik kütle oranı civarında dönem değişim mekanizmaları olarak, TRO ve/veya AML'nin birlikte olabileceği Qian (2003) tarafından literatüre sunulmuştur.

Literatürde değen çift sistemlerin dönem değişiminin kütle oranının bir fonksiyonu üzerine yapılan bir çalışma da Dryomova ve Svechnikov (2006) tarafından gerçekleştirilip söz konusu çalışmada 73 sistem kullanılmıştır. Aynı çalışmada yer alan sistemlerin neredeyse tamamının (sistemlerin yaklaşık % 93'ü) dönemlerinin değiştiği rapor edilmiştir. Aynı çalışmada A ve W-türü değen sistemlerden herbir alt grup için kütle oranına karşılık dönem değişimleri incelenmiştir (bakınız Şekil 2.9 ve Şekil 2.10). A-türü sistemlerin yörünge dönem değişimleri W-türü sistemlere göre daha büyük bir oranda değişim

gösterdiği tespit edilmiştir (Dryomova ve Svechnikov, 2006).



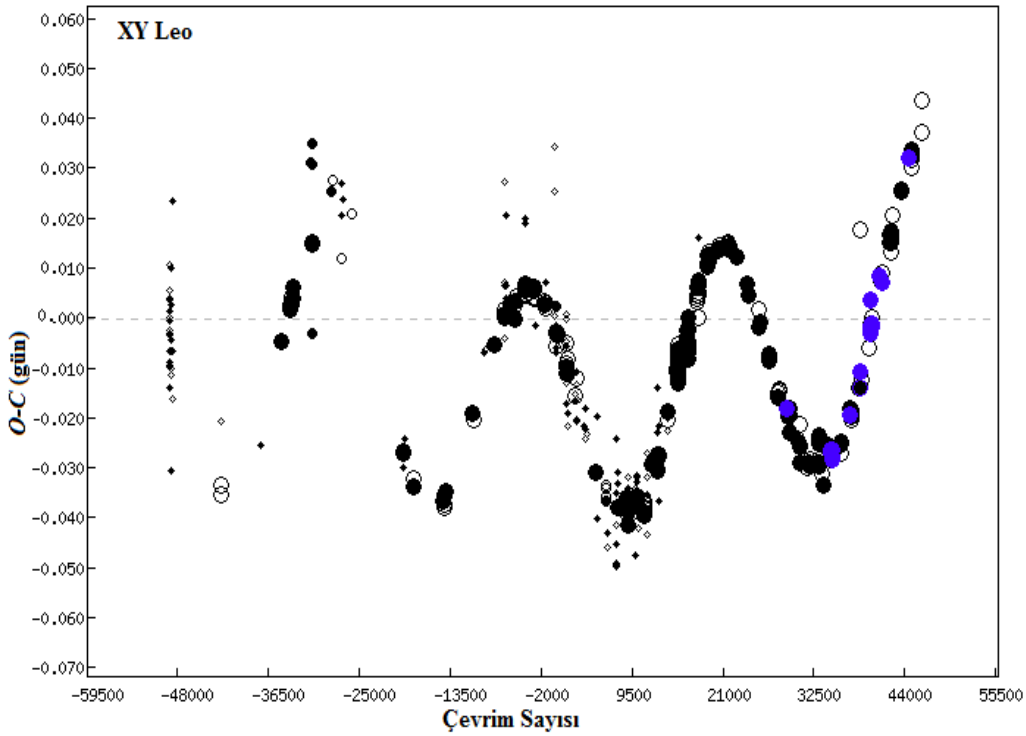
Şekil 2.9. A-türü 23 değen çift sistem için kütle oranına karşılık dönem değişimi (Dryomova ve Svechnikov, 2006)



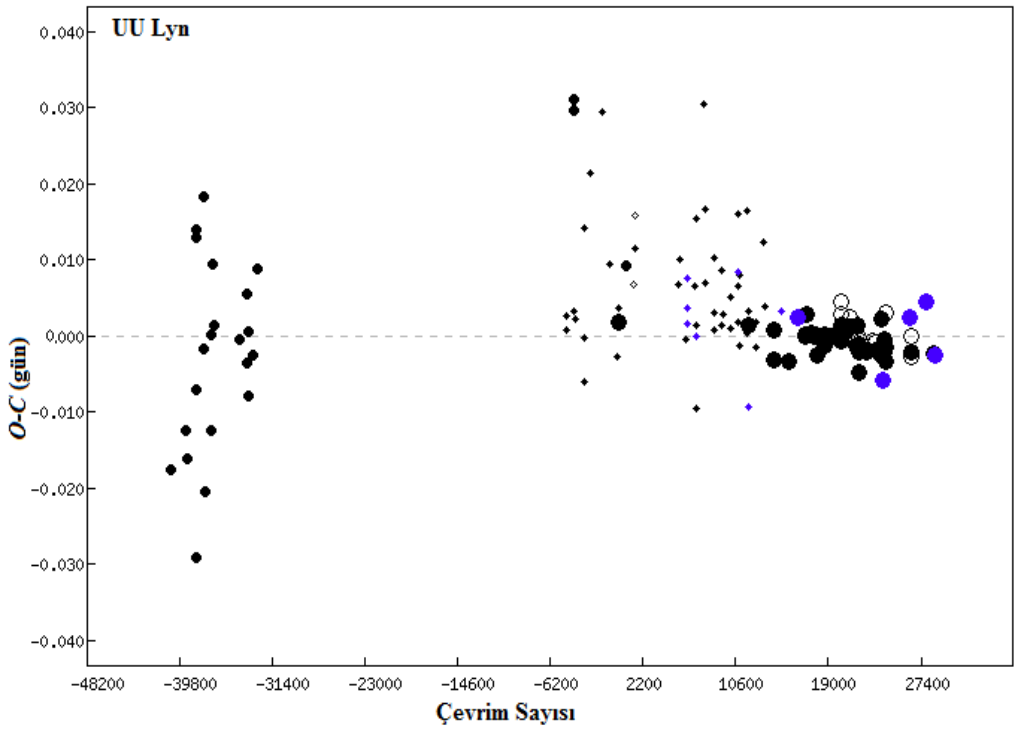
Şekil 2.10. W-türü 37 değen çift sistem için kütle oranına karşılık dönem değişimi (Dryomova ve Svechnikov, 2006)

W-türü değen çift sistemler üzerine yapılan Qian (2001b) çalışmasında kritik kütle oranından (q=0,4) büyük sistemlerin dönemlerin arttığı ve küçük olanların ise azaldığı ifade edilmiştir. Ancak Dryomova ve Svechnikov (2006) tarafından yapılan W-türü sistemlerin dönem değişimleri için bu kritik kütle oranına uymadığı belirtilmiştir. Aynı çalışmada, W-türü değen sistemlerin kütle oranı 0,3 ile 0,5 aralığında bulundukları gösterilmiştir.

Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, yakın çift yıldızların yörünge dönemlerinin genellikle değişimler gösterdiği belirlenmiştir (örneğin Qian, 2001ab, 2002, 2003). Bu tür dönem değişimleri artan ya da azalan bir parabol olabileceği gibi artan ya da azalan parabol ile beraber çevrimsel bir değişim de görülebilir. Hatta bazı çalışmalarda parabol ile beraber üst üste binmiş iki sinüs benzeri değişimde belirlenmiştir (örneğin Hinse ve ark., 2014). ECB türü sistemlerden XY Leo'nun *O-C* veri dağılımı artan bir parabol ile beraber çevrimsel değişim de gösterdiği görülmektedir (Şekil 2.11). NCB türü sistemlerden UU Lyn'nin sadece azalan parabolik değişim göstermektedir (bakınız Şekil 2.12).



Şekil 2.11 ECB türü çift sistem XY Leo'nun $O-C$ veri değişimi. Kare sembolleri görsel, orta boyutlu daireler fotoğrafik ve büyük boyutlu daireler CCD ya da fotoelektrik verilerini temsil etmektedir. İçi dolu olan semboller birinci minimum zamanı ve içi boş olanlar ise ikinici minimum zamanı göstermektedir (Paschke ve Brat, 2006)



Şekil 2.12 NCB türü çift sistem UU Lyn'nin $O-C$ veri değişimi. Açıklama Şekil 2.11 ile aynıdır (Paschke ve Brat, 2006)

Bazı çift yıldızlarda gerçekleşen bileşenler arası madde ve enerji aktarımından dolayı yörünge dönem değişimlerinde dalgalanmalar ortaya çıkar. Aktarılan kütleyle enerji arasında ilişki (Stepien, 2006) tarafından eşitlik 2.1'de verilmetedir.

$$\Delta L = c_p \dot{M} \Delta T \tag{2.1}$$

Burada, ΔL aktarılan enerjiyi, c_p sabit basınçtaki özısıyı, $\dot{M}$ kütle akısı ve ΔT ise sıcak dizgeden soğuk dizgeye doğru aktarılan maddeyle geride kalan madde arasındaki sıcaklık farkıdır. Korunumlu aktarım kabulünde, c_p değeri için 2×10^8 erg/gK değeri kullanılmaktadır (Baker ve Temesvary, 1966). ΔT için ise 10^3 K değeri alınır. Gözlenen değen sistemler için yörünge dönem değişimleri kullanılarak hesaplanan kütle aktarım oranları yaklaşık 10^{-8} $M_\odot$/yıl değerindedir. Ayrıca eğer değen sistemlerin çoğunluğu TRO çevrimindeyse, dönem değişim oranları 10^{-7}-10^{-8} aralığında olması beklenir (Stepien, 2006).

2.4. Yakın Çiftlerin Oluşum ve Evrimi

Bir yıldızın oluşumunun ilk adımı sahip olduğu maddenin kütle çekimi altında

dağılmadan durabildiği yıldızlararası yoğun gaz ve toz molekül bulutlarıdır. Kütle çekim kuvveti maddeyi bir arada tutar ve bulut bir süre sonra kararsızlaşır ve çökmeye başlar. Çökme devam ettikçe yoğunluk ve basınç artar dolayısıyla sıcaklık artar ve sonunda çekirdek birleşmesi (füzyon reaksiyonları) başlar (kütleye göre zaman ölçeği çok değişir). Yıldızlar yaşamlarının yaklaşık %90'nını anakolda geçirirler (yüksek sıcaklık ve yüksek basınç altında hidrojenin helyuma dönüşümünün olduğu nükleer reaksiyonlar evresidir). Bir çift sistem ise oluşum anında bir bulut parçasının dönme açısal momentumu, bu gaz bulutunun bir bütün olarak kalmasını engelleyen en önemli parametredir. Bu durumda bulut parçası, toplam kütlesi en az ikiye bölünmüş ve birbirne kütle çekimsel olarak bağlı bir çift yıldız sistemi oluşturur. Oluşan bileşenlerin kütleleri aynı olmak zorunda değildir. M_1 (büyük bileşene sahip yıldız), M_2 (küçük bileşene sahip yıldız) yıldızların kütlelerini göstermek üzere kütle oranı ($q=M_2/M_1$) değeri birden küçük veya eşit olabilir. Bu oluşan çift sistemin evrimini ve yapısını kütle ve kimyasal kompozisyonu belirler. Eğer bu çift sistemin bileşenleri birbirinden uzakta ise tek yıldızlar gibi evrimleşirler. Ancak bileşen yıldızlar birbirine yakın ise birbirlerine uyguladıkları çekim kuvveti, bileşenler arası olası madde ve enerji aktarımıyla tek yıldızlardan farklı bir şekilde evrimleşeceklerdir. Değme anına kadar olan evrimin büyük ölçüde anlaşıldığı düşünülmektedir. Ancak bileşenler arası kütle ve enerji aktarımı, sistemin açısal momentum değişimlerinden dolayı değme anından sonrası oldukça karmaşıktır ve bu her bir yıldızın evrimini oldukça değiştirir.

Yakın çift yıldız sistemlerinin evrimi ve yapısı yıldız astrofiziğinde çözülemeyen önemli problemlerden biridir. Bu tür etkileşen sistemler için son 50 yıl içerisinde çeşitli teorik modeller önerildi. Çift yıldızların evrimi tek yıldızların evriminden daha karmaşıktır. F5 tayf türünden daha geri ve konvektif zarfa sahip olan küçük kütleli çift yıldızların evriminde; nükleer evrim, sistemden madde kaybı, bileşenler arası madde aktarımı, sistemden açısal momentum kaybı gibi etkiler çift sistemin evrimi doğrudan etkiler (Yakut ve Eggleton, 2005). İleri tayf türündeki büyük kütleli çift yıldızlarda evrim durumu geri tayf türündeki sistemlerden farklıdır. Bu tür çift yıldız sistemlerinde yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybının oldukça baskın olduğu ve kaybedilen kütle ile sistemin evriminin doğrudan etkilendiği Chiosi ve Maeder (1986) tarafından ifade edilmiştir.

Yakın çift yıldız sistemleri üzerine son yıllarda evrim kodları açısından önemli ilerlemeler sağlanmıştır ve özellikle Eggleton ve grubunun yaptığı çalışmalarda, yakın çift yıldızların evrimiyle ilgili aşamalar kaydedilmiştir. Son yıllara kadar, korunumlu modeller kullanılırken artık kütle ve açısal momentum kayıplarının da dikkate alındığı modeller önemli fiziksel süreçleri de dikkate aldığından sistemlerin doğasını anlamada yol almamıza

neden olmuştur. Örneğin, yakın çift yıldızların evrimini ayrık-yakın çiftler, değmeye yakın sistemler (NCB) ve geri-tür değen sistemler (CB) kapsamında, kütle ve açısal momentum kayıplarını da dikkate alarak yapılan önemli bir çalışma, Yakut ve Eggleton (2005) tarafından yayınlanmıştır. Bu çalışmada, yakın çiftler ve geri-tür değen çiftler için oluşum - evrim zaman ölçekleri tahmin edilmiştir. Konveksiyon, verimli bir ısı taşıma şeklidir, ancak ısıyı çekim kuvveti yönünde taşır ve düşük sıcaklıklı değen çiftlerde (LTCB) gereken, yerçekimine dik, yani yüzeye kabaca paralel olarak ısı taşımalıdır (Yakut ve Eggleton, 2005). Bu sorunu çözebilecek yeni bir model önerdiler. Güneşin konvektif zarfında dikey olarak meydana gelen akıdan çok daha büyük yatay akıları gerektirir. NCB'lerin CB türü sistemlere evrimlerini konu alan bir çalışma Stepien ve Kiraga (2013) tarafından yapılmıştır. Bu tür çalışmalar temelde evrim kodları yardımıyla yakın çiftlerin evriminin anlaşılması üzerine olup hala açıklanamayan çok sayıda problem içermektedirler. Bu çalışmalarda, özellikle dinamik evrim, doğrudan grup (kinematik) yaşı–parametre ilişkilerinin incelenmemiş olması nedeniyle bu tez çalışmasında yakın çiftlerin evrimi farklı bakış açısıyla ele alınmıştır. Bu yüzden değme öncesi ve değmenin yeni başladığı sistemlerin dinamik ve kinematik evrimlerinin incelenmesi bu çalışmanın önemli hedeflerindendir.

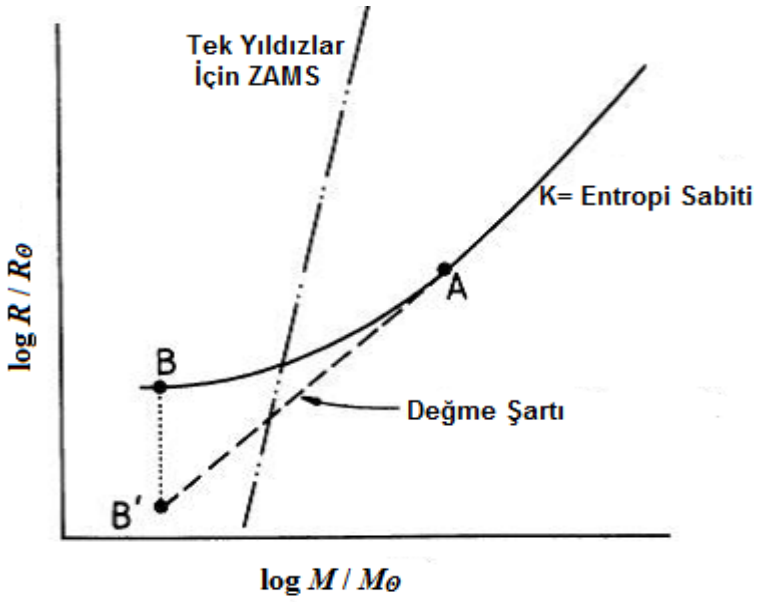
Değen çift yıldızlar kökeni henüz tam anlaşılamayan yakın çiftler olup bu türler ile ilgili iki oluşum senaryo vardır. Bunlardan ilki doğrudan değme durumunda doğdukları, ikincisi ise açısal momentum kaybıyla ayrık olan bir sistemin zaman ile değme durumuna gelmesidir (Rucinski, 1986). Yakın çift dizgeler, yıldız rüzgarlarıyla kütle kaybederse ki bu durumda hızlı dönen bir yıldız frenlenir ve yakın ayrık olan çift sistem hız ile açısal momentum kaybederek değen durumuna evrimleşir (Rucinski, 1986). Bundan sonra belki de evrimi yavaşlar ve değen çift olarak kalabilir. Değmeye kadar olan evrimin büyük oranda anlaşıldığı düşünülmektedir. Bileşenler arası açısal momentum değişimleri, enerji ve kütle aktarımları yıldızların evrimini oldukça etkilediğinden dolayı özellikle değme anından sonrası oldukça karmaşıktır.

Değen çift yıldızların bileşenleri farklı kütlelerde olmalarına rağmen, yüzey sıcaklıklarının yakın olma nedenini; yüksek çalkantılı hareketlerin yüzey sıcaklıklarını eşitlediğini Lucy (1976) önermiş ve buna göre bileşenler arasında kurulan L_1 bağlantı noktasından aktarılan enerji ile her bir yıldızın yüzey sıcaklığının yakın değerler alabileceği şeklinde açıklamıştır. Bileşenler arasındaki az da olsa var olan sıcaklık farkı ise çekim ivmesindeki değişiklikten kaynaklanmaktır (Lucy, 1976).

2.4.1. Isısal Durulma Salınım Modelleri

TRO modeline göre değen sistemlerdeki bileşenler, ısısal olarak dengeye gelmedikleri ve bileşenler arasında serbestçe madde aktarımının olduğu önerilmektedir (Lucy, 1976; Flannery, 1976; Robertson ve Eggleton, 1977). Bu modele göre toplam kütle ve açısal momentum korunduğunda marjinal değme durumunda ısısal salınım olabileceği tahmin edildi ve değme evresinde enerji akışının tersi yönde kütle aktarımı ikinci bileşenden birinci bileşene doğru gerçekleşir. Isısal zaman ölçeğinde değen sistemlerin marjinal değme durumuna doğru evrimleşebileceğini ve değmeden uzaklaşacağı ayrıca tekrar değme durumuna geri dönebileceğini yaptığı teorik hesaplamalarla ortaya koymuş ve bu tür sistemlerin ısısal dengeye gelemedikleri Lucy (1976) tarafından ifade edilmiştir.

Şekil 2.13'te ısısal dengede olan her iki bileşen de düz çizginin üzerinde yer almaktadır. Burada K entropi sabitini, noktalı çizgi tek yıldızlar için ZAMS'ı, kesikli çizgi ise değme şartına denk gelmekte ve dinamik denge gereğince her iki yıldız bu çizginin üzerinde yer almaktadır. Şekil 2.13'te, A noktasında büyük kütleli yıldız dinamik ve ısısal dengede olduğu varsayılırsa küçük kütleli yıldız B' noktasında olması gerekir ve ikinci yıldız ısısal zaman ölçeğinde denge durumuna gelebilmesi için yarıçapı genişleyerek B noktasına doğru gelecektir. Eğer ikinci bileşen yarıçapı genişliyorsa ikinci bileşenden birinci bileşene doğru kütle aktarımı olur ve burada enerji aktarımı birinci bileşenden ikinci bileşene doğrudur.

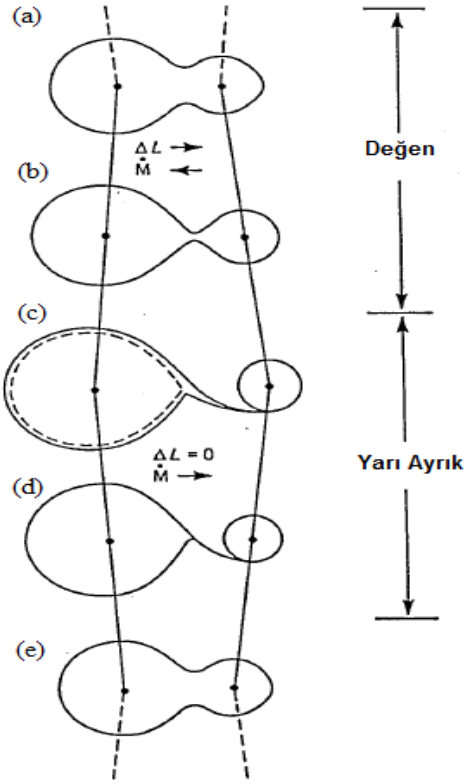


Şekil 2.13. Isısal dengede olmayan değen çift sistemin kütle-yarıçap ilişkisi (Smith, 1984)

Dinamik evrim göstergesi olan toplam kütle ve açısal momentum korunursa iki bileşen arasındaki mesafe değme durumu son bulana kadar artar. Kütle ve enerji aktarımı durur, artık bileşenler tek yıldız haline gelir ancak yarıçapları denge durumundaki yarıçaplarından farklı olup bundan dolayı küçük kütleli yıldız hız ile ZAMS yarıçapına büzülürken büyük kütleli yıldız genişler ve ZAMS yarıçapına ulaşmadan Roche lobunu doldurarak taşar. Birinci bileşenden (Roche lobunu doldurup taşma olayı başladığı için) ikinci bileşene doğru kütle aktarımı olur ve iki yıldız arasındaki mesafe, tekrar denge sağlanana kadar küçülür. Değme durumu bir defa sağlandığında küçük kütleli bileşen ısısal denge yarıçapına doğru büzülür, kütle aktarım yönü değişir ve bu şekilde çevrim devam eder (Smith, 1984).

Sistemin toplam kütlesi ve açısal momentumu korunduğunda marjinal değme durumu civarında TRO çevrimi gerçekleştirir. Şekil 2.14(a ve b) evrelerinde ikinci bileşenden birinci bileşene doğru kütle aktarımı gerçekleşir ve bu kütle aktarımı Şekil 2.14(c) evresine kadar devam eder ve sistemin yarı büyük eksen uzunluğu artar. Şekil 2.14(c)'de sistem değmeden uzaklaşmıştır. Şekil 2.14(c ve d) evrelerinde ise büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı gerçekleşir ve sistemin yarı büyük eksen uzunluğu küçülür. Şekil 2.14(e) evresinde sistem tekrar değme durumundadır (Rucinski, 1985).

TRO teorisinin en önemli eksikliği gözlenen değen sistemler için bu çevrimin büyük bir kısmı ya değmenin hiç olmadığı ya da zayıf değme evrelerinde geçerlidir. O zaman kısa dönemli yarı ayrık sistemlerin bulunması gerekir (bu durumda sıcaklık farkı nedeniyle minumumlar arası derinlik farkı artacaktır). Ancak dönemi P=0,4 günden daha kısa olan yarı ayrık sistem bulunmamaktadır. Bu sorunun olası cevabı için ise değen sistemlerde görülen AML önerilebilir. AML sonucu yıldızlar arası uzaklık küçülürken ve dolayısıyla yarı ayrık olan sistem değme durumuna geçebilir (Rucinski, 1985).

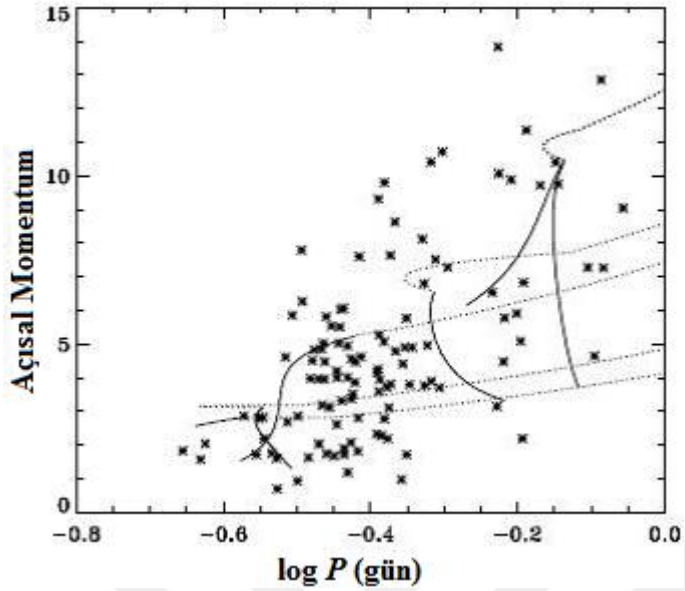


Şekil 2.14. TRO çevrimi, a, b ve e durumlarında değme halinde, c ve d durumlarında ise yarı ayrık durumdadır (Rucinski, 1985)

2.4.2. Açısal Momentum Kaybı

Konvektif dış zarflı bileşenlere sahip değen çift sistemler manyetik olarak çok aktif yıldızlar olduğu bilinmektedir (soğuk lekeler, X-ışın salınımı, kromosferik salınım gibi). Birçok araştırmacı TRO varsayımından farklı olarak manyetik frenleme tarafından açısal momentum kaybı (AML) değen sistemlerin dinamik evriminde önemli bir rol oynayabileceğini belirtmişlerdir (van't Veer, 1979; Rahunen, 1981; Vilhu, 1982; Guinan ve Bradstreet, 1988; Hilditch ve McFarlane, 1988; van't Veer ve Maceroni, 1989). AML'ye göre değme evresinde manyetik tork değen sistemlerin çok düşük kütle oranlı ve daha sıcak bileşenlere dönüşmesine neden olur. Bu durumda etkinlik azalır ve manyetik frenlemeyle açısal momentum kaybı son bulur. Geri tayf türüne sahip çift yıldızlarda, yıldızların manyetik rüzgarlar ile açısal momentum kayıplarının fazla olduğu bilinmektedir. Başlangıçta birkaç günlük döneme sahip ve sistemin toplam kütlesi ise $1{,}4M_{\odot}-2{,}6M_{\odot}$ değerleri arasında olan soğuk ayrık çift yıldızların kütle ve açısal momentum kaybederek sistemin yörüngesinin küçüldüğünü ve sonunda değen çift olduğuna dair bir evrim senaryosu Gazeas ve Stepien (2008) tarafından geliştirildi. Bu çalışmada AML'nin birkaç Gyıl mertebesinde gerçekleşebileceği ve bu zaman ölçeğinin baş bileşenin nükleer zaman

ölçeğine yakın olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.15. Açısal momentum 10^{51} cgs biriminde verilen değen çift sistemlerin yörünge dönemine karşılık açısal momentum dağılımı, noktalı çizgiler değme öncesi evrimi ve düz çizgiler ise değme evrimini temsil etmekte (Gazeas ve Stepien, 2008)

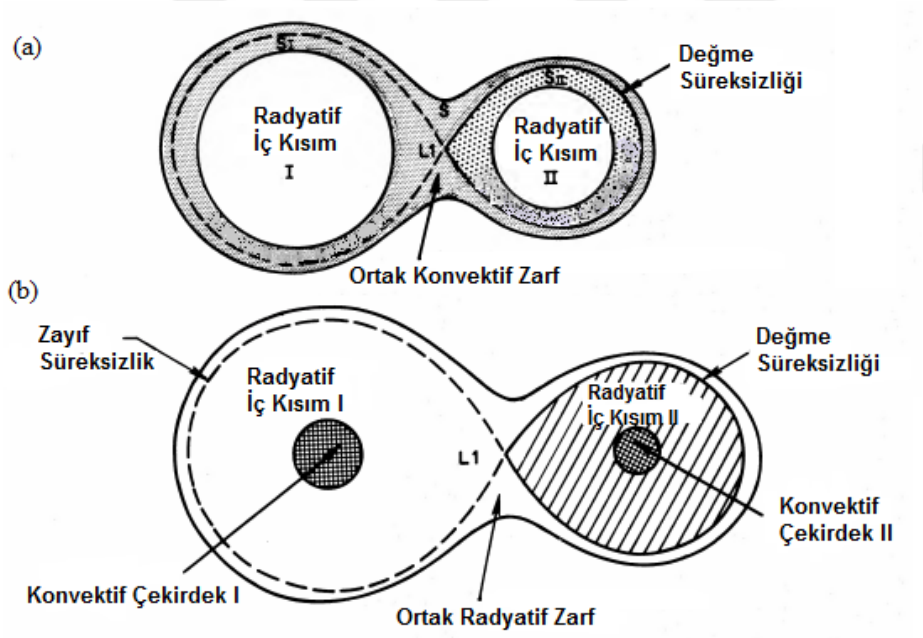
Şekil 2.15'de noktalı çizgiler değme öncesi evrimi, düz çizgiler ise değme evrimini temsil etmektedir. Gazeas ve Stepien (2008), 112 değen çift sistemin yörünge dönemine karşılık açısal momentum değişimi Şekil 2.15'te göstermiş ve herbir yıldız için kısa yörünge dönemine karşılık düşük açısal momentum değeri, büyük yörünge dönemine karşılık yüksek açısal momentum değerleri olduğunu ortaya koymuştur.

Yörünge dönem analiz çalışmaları yakın çift sistemlerin yapısını ve evrimini anlamamıza yardımcı olur. Bu yüzden dönem değişim araştırmaları AML teorisi ve TRO teorisi tarafından tahmin edilen açısal momentum kaybı ve kütle aktarımının belirlenmesine katkı sunabilir.

2.4.3. Değme Süreksizliği Teorisi

Değen çift yıldızlarda kütle ve enerji aktarımı iç kritik (Roche lobları) yüzeyin üstünde bulunan zarfın bir kısmında olur ve bu bölgede basınç farkından dolayı bileşenler arası madde aktarımı kolayca gerçekleşir. Çekim ivmesine karşı iş yapmadan diğer bileşene madde geçişi sadece L_1 Lagrange noktasında olduğu için iç kritik yüzeyin altında, bileşenler arasında maddenin yeniden dağılımı zordur. Bu yüzden, Roche lobları içerisinde, iki dizge

hemen hemen ayrıktır Bu durumda iç kritik yüzey boyunca bir süreksizlik olur fakat basınç, iç kritik yüzey boyunca sürekli olmalıdır ama sıcaklık ve yoğunluk değişimi süreksizdir. Fizik yasaları gereği soğuk maddenin yoğunluğu daha büyük olacağından dolayı soğuk madde sıcak maddeye göre daha altta ve kararlı bir şekilde durabilir. Eğer sıcak olan yıldız, sıcak zarfıyla soğuk yıldızın etrafını sararsa bu durumda dinamik olarak korunabilir ve bu yapı değen çiftler için gerekli olan koşulları sağlar. Bileşenlerin yüzey sıcaklıkları her yerde aynı olur ve her iki bileşen değen çift olmaya zorlanır. Eğer soğuk bir dizge sıcak bir zarf ile sarılırsa sıcaklık süreksizliği var anlamına gelir. Birkaç Güneş kütlesinden daha büyük kütleli yıldızlarda süreksizlik büyük bileşende olup bu durumda normal değen sistemler ile erken tür değen sistemler arasındaki farklar ortaya çıkar. Her iki bileşenden daha sıcak olan iç kritik yüzeyin üzerinde maddenin bulunma olasılığı fiziksel olarak mümkün olamayacağı için sadece tek bir bileşen değme süreksizliğinde bulunabilir. Diğer yıldız ise, iç kritik yüzey boyunca sürekli yapıdadır (Shu ve ark., 1976).



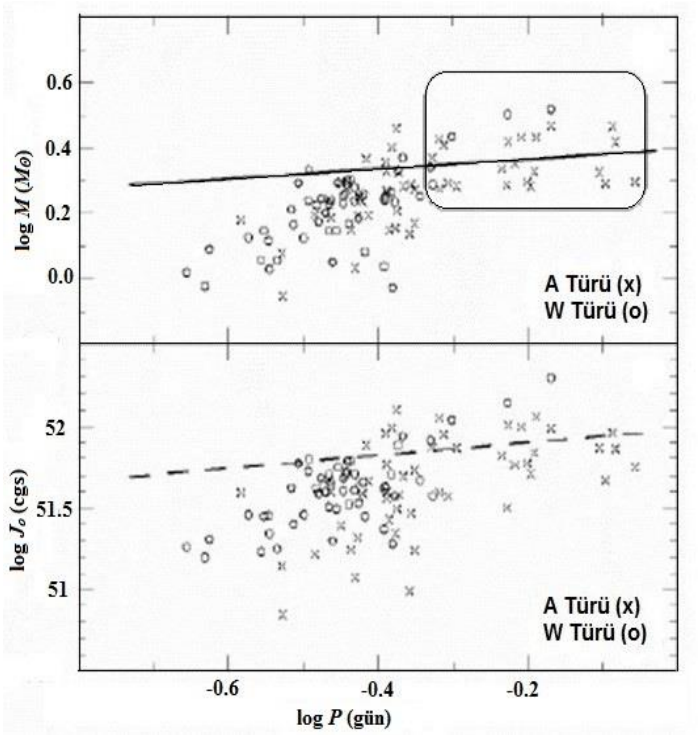
Şekil 2.16. Değen çiftlerin yapısının şematik diyagramı (Shu ve ark., 1976)

Şekil 2.16(a)'da ortak konvektif zarflı düşük kütleli bir değen çift sistemin gösterimi verilmekte ve ikinci yıldızın Roche lobunun altındaki öz entropi, birinci yıldızın Roche lobunun altındaki öz entropiden daha azdır. Dinamik süreklilik için öz entropi ortak konvektif zarftaki birinci bileşenin entropisine eşittir (Shu ve ark., 1976). Şekil 2.16(b)'de ise ortak radyatif zarfa sahip büyük kütleli değen bir çift sisteminin diyagramı gösterilmekte ve ikinci yıldızının Roche lobunun hemen altındaki sıcaklık, birinci yıldızın Roche lobunun

hemen altındaki sıcaklıktan daha düşüktür. Dinamik süreklilik için, birinci bileşenin sıcaklığı iç kritik yüzeyin hemen üzerindeki sıcaklık ile eşittir (Shu ve ark., 1976). Her iki durumda da iç yapıları farklı fakat süreksizlikle ilgili genel özellikler benzerdir (sıcak olan yıldızın soğuk olan yıldızı sarması gibi).

2.5. Yakın Çiftlerde Kinematik ve Dinamik Araştırmalar

Kütle ve açısal momentum bir çift yıldız sisteminin dinamik yapısını belirleyen temel iki parametredir. Kinematik analizlerde ise yıldızların uzay hızlarından yararlanılarak kinematik yaş tayini ve Galaktik popülasyon türü belirlenebilir. Güneş'e komşu olan yıldızların kinematiği, Galaksinin evrimi ve yapısı hakkında bilgi vermektedir (Karataş ve ark., 2004). Eker ve ark. (2006) tarafından yapılan dinamik çalışmada, 119 kromosferik aktif çift sistem (CAB) ve 102 değen çift sistemin logaritmik ölçeklerde; yörünge açısal momentumu (J_0), toplam kütle (M) ve yörünge dönemi (P) dağılımlarını incelemiş olup log J_0−log M, log M−log P diyagramları oluşturuldu. Çalışmada yörünge açısal momentumunun, toplam kütlenin ve yörünge döneminin zaman ile azaldığı belirtilmiştir. Bu diyagram Şekil 2.17'de verilmekte olup yörünge açısal momentum ile kütlenin, sistemlerin yörünge dönemine göre dağılımları benzerlik göstermektedir. Ayrıca dinamik evrim üzerine başka önemli bir çalışma da Eker ve ark. (2007) tarafından yapılmış olup 129 W UMa türü sistem kullanılmıştır. Eker ve ark. (2007) tarafından, çift yıldız yörüngelerinin dinamik evrimiyle ilgili kanıtlar araştırılmış ve yörünge dönemlerinin AML ile küçüldüğüne dair kanıtlar, toplam kütle ve yörünge dönemi histogramlarıyla gösterilmiştir (Eker ve ark., 2007). Aynı çalışmada küçük yörünge dönemine sahip yıldızların daha yaşlı olduğu belirtilmiş ve değen sistemlerin CAB'lardan yaklaşık 1,62 milyar yıl daha yaşlı oldukları belirtilmiştir. Bu yaş farkı ise değme döneminin ortalama yaşı olarak yorumlanmıştır. Şekil 2.17'de yörünge dönemi 0,45 günden büyük (log P>−0,35) ve toplam kütle 1,9 $M_\odot$'ten (log $M_\odot$>0,28) büyük olan sistemler dikdörtgen içerisinde gösterilmiş olup daha kararlı bir dağılım göstermektedir (Eker ve ark., 2006). Buna göre, yörünge açısal momentum ile kütlenin, yörünge dönemine göre dağılımı benzer olup kısa dönemlere gidildikçe W-türlerinin A-türlerine oran ile daha baskın olduğu Eker ve ark. (2006) tarafından ifade edilmiştir.



Şekil 2.17. Değen çift sistemlerin yörünge açısal momentum (J_0) ve toplam kütlenin (M) yörünge dönemine (P) göre dağılım grafiği, sürekli çizgi, W UMa bölgesine genişletilmiş kromosferik aktivite gösterenlerin üst sınırı, kesikli çizgi ise q=0,39 (W UMa sistemlerin medyan değeridir) değeri kullanılarak hesaplanılmış (Eker ve ark., 2006)

Değen çift sistemlerin kinematik çalışması üzerine önemli bir çalışma Bilir ve ark. (2005) tarafından yapılmış olup 129 sistem kullanılmıştır. Bir yıldızın; ekvatoral koordinatları, trigonometrik paralaksı, öz hareket bileşenlerini ve kütle merkezinin dikine hızları bilinirse Galaktik uzay hız bileşenlerini hesaplanabilir. Uzay hız bileşenlerinden de grupların kinematik yaşları ve popülasyon analizleri yapılabilir. Bilir ve ark. (2005), 129 CB sistemi homojen farklı alt gruplara sınıflandırarak her bir alt grup için uzay hızı, uzay hız dispersiyonları ve kinematik yaşları belirlediler. Çizelge 2.4'te Bilir ve ark. (2005)'nın yaptığı çalışmaya ilişkin bazı sonuçlar verilmektedir. Aynı çizelgede 69 A-türü W UMa sistemi ile 60 W-türü W UMa sistemin farklı alt gruplardaki kinematik yaşları sırasıyla 4,48 ve 4,37 Gyıl olarak belirlenmiş olup A türlerin yaklaşık 100 Myıl daha yaşlı olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda çizelgede bütün W UMa türü sistemlerin kinematik yaşı ise 4,43 Gyıl olarak belirlenmiştir. Bunun yanında tayf türüne, kütle oranına, değme/taşma parametresine, yörünge dönemine ve toplam kütleye göre farklı alt gruplar oluşturularak bu grupların kinematik yaşları tayin edilmiştir.

Çizelge 2.4. Değen çift sistemlerin alt gruplarının tahmin edilen uzay hız dispersiyonları ve kinematik yaşları (Bilir ve ark., 2005)

Veri	N (Sayı)	σ_u (km s^{-1})	σ_v (km s^{-1})	σ_w (km s^{-1})	$\sigma_{top.}$ (km s^{-1})	Yaş ($\times 10^9$)
Bütün sistemler	129	36,50(7,60)	26,23(7,09)	19,46(4,65)	49,0(11,0)	4,43
A2-F7 Tayf Türü	64	28,94(7,68)	21,34(4,11)	17,22(4,43)	39,9(9,8)	2,83
F8-K5 Tayf Türü	65	42,98(6,42)	30,55(9,07)	21,46(4,86)	56,9(12,1)	5,88
A-türü	69	39,86(8,51)	24,17(7,31)	15,93(3,77)	49,3(11,8)	4,48
W-türü	60	32,21(4,80)	28,41(6,89)	22,85(5,48)	48,710,0)	4,37
$q \leq 0{,}32$	66	40,97(7,29)	29,33(7,77)	22,08(3,96)	55,0(11,6)	5,53
$q > 0{,}32$	63	31,15(6,80)	22,52(6,34)	16,26(5,30)	41,7(10,7)	3,14
$f \leq 0{,}2$	52	36,41(5,30)	24,36(2,22)	18,70(3,48)	47,6(6,7)	4,18
$f > 0{,}2$	57	38,17(8,93)	30,32(10,15)	21,87(5,91)	53,4(14,7)	5,24
$0{,}2 < P \leq 0{,}4$	59	44,00(7,33)	31,64(9,37)	22,15(6,06)	58,6(13,6)	6,18
$0{,}4 < P \leq 0{,}5$	43	29,72(8,09)	21,66(3,59)	17,36(3,24)	40,7(9,4)	2,96
$P > 0{,}5$	27	26,99(3,55)	18,74(4,93)	16,00(1,33)	36,6(6,2)	2,30
$M_{top,} \leq 1{,}60$	34	48,89(8,39)	39,28(9,89)	26,28(4,95)	68,0(13,9)	7,87
$1{,}60 < M_{top,} \leq 1{,}95$	33	31,62(4,31)	18,86(7,61)	16,36(5,48)	40,3(10,3)	2,90
$1{,}95 > M_{top,}$	35	27,59(8,46)	19,01(4,31)	15,78(4,65)	37,0(10,6)	2,38
Hareketli CB Grubu	27	13,08(2,34)	12,52(2,53)	11,02(4,37)	21,2(5,6)	0,50
Alan CB Grubu	97	40,92(7,86)	29,31(7,97)	21,45(4,80)	54,7(12,2)	5,47

Ayrıca Çizelge 2.4'de ön tayf türündeki W UMa sistemlerinin geri tayf türlerine göre daha genç oldukları görülmekte ki bu durum da büyük kütleli yıldızların normal evrimiyle parelellik göstermektedir. Bu tez çalışmasında ise farklı olarak NCB ve ECB türü sistemler CB türü sistemler ile birlikte incelenmiş olup yorumlanmıştır. Yıldızların yaşlarını tek tek belirlemek zor olduğu için grup veya gruplar halinde NCB ve ECB türü sistemlerin kinematik yaşları, CB türü sistemlerle birlikte belirlenip yorumlanması önemlidir.

2.6. Çalışılan Sistemlerin Tarihçesi

2.6.1. Erken Değme Evresindeki Sistemlerin Tarihçesi

CN And: CN And (BD+39 0059, GSC 02787-01815, PPM 42831), β Lyr türü örten çift sistem olarak Hoffmeister (1949) tarafından keşfedildi. Algol türü örten bir çift ve yörünge dönemini 2,2599 gün olarak Tsesevich (1957) tarafından belirlenmiştir. W UMa türü ışık eğrisine sahip olduğu ve yörünge döneminin ise P=0,462798 gün olduğu Löchel (1960) tarafından ifade edilmiştir. *BV* filtrelerinde ışık eğrisi Bozkurt ve ark. (1976) tarafından elde edilmiş olup ışık eğrilerinde asimetri olduğu belirtilmiştir. Sistemde, 1981 yılında iki flare olayı gerçekleştiğini Yang ve Liu (1985) tarafından rapor edilmiştir. Sistemden X-ışın yayılımı olduğu Shaw ve ark. (1996) tarafından ifade edilmiştir. Işık eğrisi

analizleri, Van Hamme ve ark. (2001), Çiçek ve ark. (2005) ve Lee ve Lee (2006) tarafından yapılmıştır. Sistemin tayf çalışması Rucinski ve ark. (2000) tarafından yapılmış olup, CN And sisteminin A-türü W UMa olduğu rapor edilmiştir. Sistemin tayf türünün F5-G5 aralığında olduğu Zola ve ark. (2005) tarafından söylenmiştir. Sisteme ait ışık ve dikine hız eğrisi analizi Siwak ve ark. (2010) tarafından yapıldı. Sistemin yörünge dönem değişim analizleri, Kaluzny (1983), Evren ve ark. (1987), Samec ve ark. (1997), Van Hamme ve ark. (2001) ve Çiçek ve ark. (2005) tarafından yapıldı. Aynı çalışmalarda, birinci bileşenden ikinci bileşene kütle aktarımı veya manyetik yıldız rüzgarları nedeniyle birinci bileşenden kütle kaybı sonucunda sistemin döneminin azaldığı belirtilmiştir. Sistemin son ışık eğrisi ve yörünge dönem değişim analizi Koju ve Beaky (2015) tarafından yapılmıştır. CN And sisteminin son dönem analiz çalışması Koju ve Beaky (2015) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığı belirtilmiştir.

GZ And: GZ And (GSC 02842-01599, HIP 10270, ADS 1693 (A), V=10^{m},89) örten sistemi Espin (1908) tarafından ADS 1693'ün A ve B bileşeni olarak rapor edildi. GZ And sistemi, görsel çoklu ADS 1693'ün bir üyesi olarak keşfedilmiş ve sistemin W UMa türü örten çift sistemi olduğu Walker (1973) tarafından belirtilmiştir. Sistemin *UBV* filtrelerinde fotoelektrik gözlemleri Liu ve ark. (1987) tarafından yapıldı. Sistemin dikine hız eğrisi ve analizi Lu ve Rucinski (1999) tarafından gerçekleştirildi. Aynı çalışmada, sistemin W-türü bir W UMa olduğu belirtilmiş olup kütle oranı q=0,514 olarak hesaplanmıştır. Sistemin ilk ışık eğrisi analizi WD yazılımıyla, Yang ve Liu (2003) tarafından yapıldı. Ayrıca aynı çalışmada, sistemin dönem analiz çalışması da yapılmış ve sistemin döneminin dP/dt=2,40×10^{-7}gün/yıl oranında arttığı ve bunun nedeni olarak küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru 1,05×10^{-7} M$_{\odot}$/yıl oranında kütle aktarımı olabileceği önerilmiştir. GZ And örten çift sistemin, son ışık eğrisi analizi Baran ve ark. (2004) tarafından gerçekleştirildi.

LS Del: LS Del (SAO 106694, GSC 01656-01961, V=8^{m},22) örten çift sistemi, Bond (1976) tarafından keşfedildi ve sistemin yörünge dönemi P=0,3638 gün olarak rapor edildi. Sistemin fotoelektrik gözlemler birçok araştırmacı tarafından incelendi (Sezer, Gülmen ve Güdür 1984; Wang ve ark. 1987; Wieck ve Wunder 1989; Derman, Demircan ve Selam 1991). Sezer, Gülmen ve Güdür (1984) tarafından yapılan fotoelektrik çalışmalarda sistemin W-türü olduğu belirtildi. Sistemin ışık eğrisi analizi ve sisteme ait 23 minimum zaman toplayarak, sistemin dönem analiz çalışması Derman ve ark. (1991) tarafından yapıldı. Sistemin yörünge dönem analiz çalışması son olarak Qian (2001) tarafından yapılmış ve sistemin döneminin arttığı belirlenerek artış oranı dP/dt=2,25×10^{-7}gün/yıl olarak

hesaplanmıştır. Sistemin bileşenlerinin dikine hız eğrisi Lu ve Rucinski (1999) tarafından elde edilmiş olup W-türü bir sistem olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada, Wang ve ark. (1987) tarafından elde edilen ışık eğrisi kullanılarak ışık eğrisi analizi yapılmış ve kütle oranı q=0,375 olarak hesaplanmıştır.

TW Cet: TW Cet (GSC 05857-01814, BD-21 311, $V=10^{m},7$) çift yıldız sistemi, Hoffmeister (1933) tarafından keşfedilmiştir. Yaklaşık on yıl sonra Zessewitsch (1944)'in yaptığı çalışmada TW Cet'in bir W UMa türü örten çift yıldız olduğunu belirtildi. Sistemin tayfsal gözlemleri Struve ve ark. (1950) tarafından yayınladı. Aynı çalışmada, TW Cet'in tayf türü G5 olarak belirlendi. Sistemin ilk fotoelektrik gözlemleri Cillie ve Bok (1951) tarafından yapıldı. Sistemin dikine hız eğrisi ve analizleri Duerbeck ve Rucinski (2007) tarafından yapılmış olup kütle oranı q=0,75 olarak hesaplanmıştır. Işık eğrisi analizi, Russo ve ark. (1982) tarafından yapılmış ve sistemin bileşenlerinin temel fiziksel parametreleri (kütle, yarıçap gibi) tayin edilmiştir. Fotometrik ve tayfsal çalışma Kumar ve ark. (2008) tarafından yapıldı. Son ışık eğrisi analiz çalışması Deb ve Singh (2011) tarafından yapılmıştır. Literatürde yörünge dönem analiz çalışması bulunmamaktadır.

TT Cet: Erken değme evresindeki TT Cet (HIP 8294, $V=10^{m}.9$) çift yıldız sisteminin dikine hız eğrisi ve analizi Duerbeck ve Rucinsky (2007) tarafından yapılmıştır. Yakın çift yıldız TT Cet sisteminin dikine hız eğrisi ve çözümü Pribulla ve ark. (2009) tarafından tekrar yapılmış olup sistemin tayf türü F4V olarak sınıflandırılmıştır. TT Cet'in ışık eğrisi analiz çalışması Deb ve Singh (2011) tarafından yapılmış olup kütle, yarıçap gibi temel fiziksel parametreler belirlenmiştir. Literatürde sistemin herhangi bir dönem analizi çalışması bulunmamaktadır.

BX And: Örten çift BX And (HD 13078) görsel çift ADS 1671'in parlak bir bileşenidir. Sisteme ait tayfsal bir çalışma Bell ve ark. (1990) tarfından yapılmış olup sistemin tayf türü F2V olarak belirlenmiştir. Sisteme ait ışık ve dikine hız eğrisi Siwak ve ark. (2010) tarafından elde edilmiş ve sistemin temel fiziksel parametreleri (kütle, yarıçap gibi) belirlenmiştir. Aynı çalışmada sistemin kütle oranı q=0,455(8) ve taşma parametresi ise f=%4,5 olarak belirlendi. BX And'ın yörünge dönem analiz çalışması hem Rovithis ve ark. (2005) hem de Tvardovskyi ve Marsakova (2015) tarafından yapılmıştır. BX And için Tvardovskyi ve Marsakova (2015) tarafından yapılan son dönem anliz çalışmasında sistemin döneminin hem azaldığı hemde çevrimsel değişim olduğunu belirtilmiş ve ayrıca olası üçüncü bir bileşenin kütlesinin 0,5 $M\odot$'ten büyük olacağı belirtilmiştir.

S Ant: S Ant (HD 82610, GSC 06613-01557, V=6^{m},45) güney yarıküre örten çift sistemi Paul (1890) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin tayfsal gözlemleri Joy (1926) tarafından yapılmış olup tayf türü A8 olarak belirlenmiştir. Fotometrik gözlemler pek çok araştırmacı tarafından rapor edildi (Luizet, 1904; Wendell, 1909; Joy, 1926; Hogg ve Bowe, 1950). Sistemin dönem analiz çalışması Qian (2001) tarafından yapılmış olup değişim oranı dP/dt=8,2×10^{-8}gün/yıl olarak hesaplanmıştır. S Ant'ın dikine hız eğrisi ve analizi Duerbeck ve Rucinski (2007) tarafından yayınlamış olup kütle oranı q=0,33 olarak tayin edilmiştir. Aynı çalışmada sistem, A-türü W UMa olduğu ifade edilmiştir.

XY Leo: W UMa türü kısa dönemli XY Leonis (BD +18 2307, HIP 49136, V = 9^{m},67, P=0,28 gün) Hoffmeister (1934) tarafından keşfedilmiştir. İlk fotometrik ışık eğrisi Koch (1960) tarafından yayınlandı. Erken değme evresindeki XY Leo sisteminin son ışık eğrisi ve yörünge dönem analiz çalışması Yakut ve ark. (2003) tarafından yapılmıştır. XY Leo'nun döneminin arttığı ve bu artma oranını dP/dt=0,23 s/yüzyıl ve ayrıca olası üçüncü bileşenin kütlesini 0,98 $M_{\odot}$ olarak Yakut ve ark. (2003) tarafından belirlendi. Sistemin dikine hız çalışması Pribulla ve ark. (2007) tarafından yapılmış olup dörtlü bir sistem olduğu rapor edilmiştir. Aynı çalışmada üçüncü cisim ile ilgili bazı yörünge parametreleri ve dikine hız verileri yayınlandı. Sistemin son ışık eğrisi analizi Zola ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup çalışmada sisteme ait temel fiziksel parametreler belirlenmiştir.

V752 Cen: V752 Cen (HIP 57129, SAO 202729) Bond (1970) tarafından keşfedilmiştir. V752 Cen'nin ışık ve dikine hız eğrileri Barone ve ark. (1993) tarafından yapıldı. Aynı çalışmada sisteme ait kütle ve yarıçap gibi temel fiziksel parametrele birlikte kütle oranı da q=0,311 olarak belirlendi. Sistemin son fotometrik ve tayfsal çalışması Schumacher (2009) tarafından yapılmış olup sisteme ait üçüncü bileşenin dikine hızı belirlenmiştir. Sisteme ait son yörünge dönem analiz çalışması Mallama ve Pavlov (2015) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin arttığı belirtilmiştir.

RW Com: Kısa yörünge dönemli örten çift RW Com (HIP 61243) ilk kez Jordan (1923) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin ilk tayfsal gözlemleri Struve (1950) tarafından yapıldı. RW Com'un tayfsal çalışmasında, kütle oranı q=0,34 ve sistemin G5-G8 aralığında tayf türünden bir W-türü W UMa olduğu Milone ve ark. (1985) tarafından rapor edildi. RW Com sisteminin son dönem analiz çalışması Yang ve Liu (2003) tarafından yapılmış olup sistemin hem azalan parabolik değişim hem de çevrimsel değişim gösterdiğini belirttiler ve ayrıca sistemin dönem azalma oranını ise dP/dt=0,43×10^{-7}gün/yıl olarak hesaplandı. Sisteme ait son ışık eğrisi analizi Djurasevic ve ark. (2011) tarafından yapıldı.

HT Vir: HT Vir (HIP 67186, STF 1781, BD +5°.2794, F8V) görsel bir çift olarak Wilhelm Struve tarafından keşfedildi ve Aitken (1932) kataloğunda ADS 9019 olarak yer aldı. HT Vir siteminin dikine hızları Lu ve ark. (2001) tarafından yapılmış ve yıldızın büyük kütle oranlı A-türü W UMa olduğu rapor edilmiştir. Ayrıca aynı çalışmada, sistemin dört bileşenli olduğu da belirtildi. Dikine hızlar ile eş zamanlı ışık eğrisi analizi Zola ve ark. (2005) tarafından yapılmış ve HT Vir'in temel fiziksel parametreleri (kütle, yarıçap gibi) belirlenmiştir. Aynı çalışmada HT Vir sisteminin f=%8 taşma değerinde olduğu ifade edilmiştir. Erken değme evresindeki HT Vir için yapılan son dönem analiz çalışması Liao ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin hem arttığı hemde çevrimsel değişim olduğu belirlenmiş ve ayrıca olası üçüncü bir bileşenin döneminin P_3=30,5 yıl olacağı ifade edilmiştir.

PY Vir: PY Vir (GSC 04961-00667, TYC 4961-667-1, V=9^m,84) Wils ve Dvorak (2003) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin ilk tayfsal çalışması Rucinski ve ark. (2008) tarafından yapılmıştır. Sistemin tayf türü K2V ve kütle oranı q=0,106 olarak Rucinski ve ark. (2008) tarafından yapılan tayfsal çalışmada belirlenmiştir. Sistemin V filtresinde ışık eğrisi analizi Deb ve Singh (2011) tarafından gerçekleştirildi. PY Vir'in son ışık eğrisi analizi Zhu ve ark. (2013) tarafından yapılmış olup kütle ve yarıçap gibi temel parametreler belirlendi. ECB türü PY Vir sisteminin son dönem analiz çalışması Zhu ve ark. (2013) tarafından yapılmış olup sistemde olası üçüncü bileşenin dönemini 5,22 yıl olarak belirlendi.

V1073 Cyg: W UMa türü örten çift sistem V1073 Cyg (BD +33◦ 4252, HD 204038, HIP 105739) ilk kez Strohmeier (1960) tarafından tanımlanmıştır. Sistemin ilk fotoğrafik ışık eğrisi Strohmeier (1960) tarafından yayınlanmıştır. V1073 Cyg değişen çift için yapılan son tayfsal çalışmada, sistemin kütle oranı q=0,303(17) olarak Pribulla ve ark. (2006) tarafından belirlendi. Ayrıca aynı çalışmada, sistemin tayf türü F0V olarak belirlenmiştir. Sistemin son ışık eğrisi *BVRI* filtrelerinde elde edilmiş olup ışık eğrisi analizi Tian ve ark. (2018) tarafından yapılmıştır. V1073 Cyg örten çift sisteminin son dönem analiz çalışması Tian ve ark. (2018) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığı belirtilmiş ve dönem azalma oranı dP/dt=-0,33 s/yüzyıl olarak hesaplanmıştır.

GW Cnc: Kısa yörünge dönemli GW Cnc (ASAS 084813+2107.2, V = 12^m,595) örten çift sistemi Takamizawa (2000) tarafından rapor edildi. Daha sonra Khruslov (2005) tarafından sistemin W UMa türü örten çift olduğu rapor edildi. Sistemin ilk fotometrik analizleri Terrell ve ark. (2005) tarafından yapılmış olup sistemin kütle oranı q=4,15 olarak belirlenmiştir. Sisteme ait tayfsal ve fotometrik çalışma Gürol ve ark. (2016) tarafından yapıldı. GW Cnc sisteminin temel fiziksel parametreleri ve sistemin kütle oranı q=3,773(7)

olarak Gürol ve ark. (2016) tarafından belirlenmiştir. Örten çift sistem GW Cnc'nin son dönem analiz çalışması Gürol ve ark.(2016) tarafından yapılmış olup ilgili çalışmada hesaplamalar yapılmamıştır.

YY Eri: YY Eridani (AN 169.1932, HD 26609) Hoffmeister (1933) tarafından rapor edilmiştir. Sistemin tayfsal çalışması Struve (1947) tarfından yapılmış olup sistemin tayf türü G5 ve W-türü W UMa olduğu tespit edilmiştir. İlk fotoelektrik gözlemler Cillie (1951) tarafından geçekleştirildi. Sistemin dikine hız çalışması Duerbeck ve Rucinski (2007) tarfından yapılmış olup sistemin kütle oranı q=0,44(1) olarak belirlenmiştir. Aynı çalışmada sistemin W-türü bir W UMa olduğu ve ayrıca tayf türünün ise G3/K0 olacağı belirtilmiştir. Sisteme ait son ışık eğrisi analizi dikine hız ile eş zamanlı olarak Yang ve Liu (1999) tarfından yapılmış olup sistemin temel parametreleri tayin edilmiştir. ECB türü YY Eri sisteminin son dönem analiz çalışması Yu ve ark. (2018) tarafından yapılmış olup sistemin hem döneminin arttığını hemde iki tane sinüs benzeri değişim olduğunu belirtilmiş olup ayrıca dönem artma oranını dP/dt=0,55 s/yüzyıl olarak rapor edilmiştir.

2.6.2. Değmeye Yakın Sistemlerin Tarihçesi

EE Aqr: EE Aquarii (HD 213863, BD −20◦6454, SAO 191236) ilk kez Strohmeier ve Knigge (1960) tarafından keşfedildi. Daha sonra Strohmeier ve ark. (1962) sistemin dönemini P=0,51 gün olarak belirleyip ve sistemin Algol (EA) türü bir sistem olduğu rapor edilmiştir. İlk fotoelektrik gözlemler Williamon (1974) tarafından gerçekleştirildi. İkinci fotoelektrik çalışması Padalia (1979) tarafından yapldı. Williamon (1974) sistemin ışık eğrisinin β Lyrae (EB) türü olduğunu ve dönemin de P=0,5089951 olarak belirledi. Sisteme ait fotometrik ve tayfsal çalışma Ghoreyshi ve ark. (2008) tarafından yapılmış olup sistemin tayf türü F2IV+K4III olarak belirlenmiştir. Sistemin son fotometrik ve tayfsal çalışma Wronka ve ark. (2010) tarafından yapıldı. Sistemin kütle oranı q=0,320(2) olarak Wronka ve ark. (2010) tarafından belirlenmiştir. EE Aqr için yapılan son ve tek dönem anliz çalışması Srivastava (1987) ait olup sistemin dönem değişimi tartışılmış ve dönemin değiştiği rapor edilmiştir.

CX Aqr: Değmeye yakın örten çift sistem, CX Aqr (GSC 05233-01798, *Gaia* DR2 2653779688547630848, TYC 5233-1798-1) ilk kez Jensch (1934) tarafından rapor edildi. Sistemin son ışık ve dikine hız eğrisi analizi McFarlane ve ark. (1986) tarafından yapılmıştır. Sistemin kütle oranı q=0,55 olarak McFarlane ve ark. (1986) tarafından belirlenmiştir. Aynı çalışmada sistemin temel fiziksel parametreleri belirlenmiştir. NCB türü örten çift sistemler üzerine bir çalışma Shaw ve ark. (1996) tarafından yapılmış olup çalışmada, CX Aqr

sisteminin tayf türü F5+G9 ve uzaklığı *d*=290 pc olarak belirlenmiştir. NCB türü CX Aqr'nin son dönem analiz çalışması Kim ve ark. (2005) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin arttığı ve dönem değişim oranı da 0,22 s/yüzyıl olarak tespit edilmiştir.

EG Cep: NCB türü EG Cep örten çift sistemi (TYC 4585-63-1, GSC 04585-00063) Strohmeier (1958) tarafından keşfedilmiştir. Etzel ve Olson (1993) birinci bileşenin dönme hızını 146 km s^{-1} olarak hesaplanmıştır. Sistemin dikine hız analizi Rucinski ve ark. (2008) tarafından yapılmış olup sistemin tayf türü A7V ve kütle oranı *q*=0,464 olarak rapor edildi. Sistemin ışık eğrisi analizi Ronald ve John (2013) ayrıca Durasevic ve ark. (2013) tarafından gerçekleştirildi. EG Cep için yapılan son dönem analiz çalışması Zhu ve. ark. (2009) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin arttığı ve bu artma oranını 0,29 s/yüzyıl olarak verildi ve ayrıca üçüncü bileşenin kütlesini 0,11 $M_{\odot}$ olarak belirtildi. Sistemde böyle bir bileşen bulunuyorsa ve yıldız anakol yıldızıysa tayf türünün geç M tayf türünden olacağı bu nedenle sisteme yapacağı ışık katkısının çok az olacağı belirtilerek tespitin zor olacağı belirtilmiştir.

YY Cet: Değmeye yakın kısa yörünge dönemli (*P*=0,79 gün) YY Cet sistemi ilk kez Strohmeier ve ark. (1966) tarafından rapor edildi. YY Cet örten çift sistem için ilk detaylı ışık eğrisi analizi McFarlane ve ark. (1986) tarafından yapılmıştır. Sistemin dikine hız çalışması McFarlane ve ark. (1986) tarafından yapılmış olup kütle oranı *q*=0,49 ve tayf türü A8V+G9 olarak belirtilmiştir. Örten çift sistem YY Cet için yapılan son dönem ve ışık eğrisi analizi Williamon ve Sowel (2012) tarafından yapılmıştır. Veri çok az olduğu için dönem analiz çalışması detaylı bir şekilde yapılmamış olup sadece ön bir çalışma Williamon ve Sowel (2012) tarafından yapılmıştır.

RV Crv: RV Crv örten çift sistem (GSC 06107-00294, TYC 6107-294-1) ışık elementleri Buttery (1942) tarafından verildi. Buttery (1942) yıldızın tutulma gösteren bir çift olduğu ve dönemi ise *P*=0,75 gün olarak belirtildi. Sistemin fotometrik (*BVRI* filtrelerinde) ve tayfsal çalışması Hilditch ve ark. (1984) tarafından yapıldı. Yapılan dikine hız çalışmasında sistemin kütle oranı *q*=0,27(1) olarak Hilditch ve ark. (1984) tarafından rapor edilmiştir. Aynı çalışmada sistemin kütle, yarıçap gibi temel parametreleri de belirlenmiştir. RV Crv'in tayf türü F2+K5 olarak Shaw ve ark. (1996) tarafından belirlenmiştir. Literatürde sistemin dönem analiz çalışması bulunmamaktadır.

RT Scl: RT Scl (GSC 06421-01753, $V=10^{m}.31$) örten çift sisteminin ilk ışık eğrisi eğrisi Cillie ve Lindsay (1958) tarafından yayınlandı ve ilk analiz Bookmyer (1966) tarafından yapılmıştır. ubvy filtrelerinde ışık eğrisi Clausen ve Gronbech (1977) tarafından yapılmıştır ve aynı zamanda sistemin döneminin azaldığını tespit edilip kütle aktarım oranı

yaklaşık 10^{-8} $M_{\odot}$/yıl olarak hesaplandı. Sistemin ışık eğrisi analizi ve dikine hız çözümleri Hilditch ve King (1986) tarafından yapılmıştır. RT Scl'nin tayf türü F2+K olarak Shaw ve ark. (1996) tarafından belirlenmiştir. RT Scl'nin güncel fotometrik ve tayfsal çalışması Sushma ve ark. (2008) tarafından yapılmıştır. NCB türü rten çift sistem RT Scl için yapılan son dönem analizi Hilditch ve King (1986) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığını belirtilmiş ve ayrıca bileşenler arası kütle aktarımını yaklaşık dM/dt=10^{-8} $M_{\odot}$/yıl olarak hesaplanmıştır.

FO Vir: Değmeye yakın örten çift sistem FO Vir (HD 117362, PPM 159799) Jackisch (1972) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin fotometrik çalışması Poretti ve ark. (1987) tarafından yapıldı. Sistemin tayf türü A7+K2 olarak Shaw ve ark. (1996) tarafından belirlenmiştir. NCB türü örten çift sistemin kütle ve yarıçapı Shaw ve ark. (1991) tarafından belirlenmiştir. Sistemin tayfsal çalışması Rucinski ve ark. (2005) tarafından yapılmış olup sistemin kütle oranı q=0,125 olarak belirlenmiştir. Literatürde sistemin yörünge dönem analiz çalışması bulunmamaktadır.

RZ Dra: Kısa yörünge dönemli örten çift sistem RZ Dra (GSC 03916-00048, HIP 90092, *Gaia* DR2 2157561187465024896) ilk kez Ceraski (1907) tarafından keşfedilmiştir. Sistem için yapılan tayfsal çalışmada, tayf türü A6V olarak Rucinski ve ark. (2000) tarafından verilmiştir. NCB türü örten çift sistemin ışık eğrisi dikine hız ile eş zamanlı çözümü Erdem ve ark. (2011) tarafından yapılmış olup sistemin temel fiziksel parametreleri tayin edildi. Sistemin dönem analiz çalışması Yang ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup olası üçüncü ve dördüncü cisimlerin dönemleri P_3=75,62, P_4=27,59 yıl olarak belirlendi. RZ Dra'nın literatürde dönem analiz çalışması en son Hinse ve ark. (2014) tarafından yapılmış olup sistemin $O-C$ analizi için iki sinüs benzeri değişim olduğu ve bunların olası üçüncü ve dördüncü cisim olabilecekleri iddia edilmiştir.

RU Eri: Örten çift RU Eri (GSC 05310-01182, TYC 5310-1182-1, V=9^{m}.39) Leavitt (1918) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin güncel fotometrik ve tayfsal çalışma Williamon ve ark. (2013) tarafından yapılmış olup kütle ve yapıçap gibi temel fiziksel parametreler belirlenmiştir. Aynı çalışmada sistemin tayf türü F3V ve kütle oranı q=0,537(2) olarak belirlenmiştir. RU Eri'nin son yörünge dönem analiz çalışması Williamon ve ark. (2013) tarafından yapılmış olup sistemin yörünge döneminin azaldığı belirtilmiştir.

TT Her: Yakın çift yıldız TT Herculis (HIP 82710, *Gaia* DR2 4558561640962069248) ilk kez değişken olduğu Pickering (1907) tarafından rapor edildi. Fotoelektrik ışık eğrisi Hogg ve Kron (1955) tarafından yayınlandı. *BV* filtrelerinde ışık eğrisi ve analizi Kwee ve van Genderen (1983) tarafından yapılmıştır. TT Her sisteminin doğası üzerine bir çalışma

Terrell ve Nelson (2014) tarafından yapılmış olup değen bir çift sistem olduğu rapor edilmiştir. Aynı çalışmada sistemin tayf türü A0 olarak ifade edilmiştir. TT Her'in güncel dönem analiz çalışması Kreiner ve ark. (2008) tarafından yapılmış olup sistemin olası üçüncü bileşenin dönemini P_3=41 yıl olarak belirlenmiştir.

V361 Lyr: NCB türü çift sistem olan V361 Lyr (KIC 9998899, *Gaia* DR2 2131340313342313088) Galkina ve Shugarov (1985) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin ışık eğrisi ve tayf analiz çalışması detaylı bir şekilde Hilditch ve ark. (1997) tarafından yapılmıştır. Sistemin hem temel parametreleri (kütle, yarıçap gibi) hemde kütle oranı q=0,694(19) ve tayf türü F8+K1 olarak Hilditch ve ark. (1997) tarafından belirlendi. Sistem ile ilgili dönem analiz çalışması Gray ve ark. (1995) tarafından yapılmıştır. NCB türü örten çift sistem V361 Lyr için yapılan son dönem analizi Lister (2009) tarafından yapılmış olup American Institute of Physics toplantısı olduğu için sadece özet yayınlanmıştır.

AG Phe: Kısa yörünge dönemli AG Phe (GSC 07525-00713, SAO 215098, PPM 276014) örten çift sistemi Strohmeier (1972) tarafından keşfedilmiştir. Işık eğrisi (*UBVRI* filtrelerinde) elde edilmiş ve ışık eğrisi analiz çalışması Cerruti (1996) tarafından yapılmış olup sistemin temel parametreleri (kütle, yarıçap gibi) belirlenmiştir. Aynı çalışmada AG Phe sisteminin kütle oranı q=0,1559(3) ve tay türü ise A8V+K2 olarak rapor edilmiştir. Değmeye yakın sistem AG Phe'nin son dönem analiz çalışması Cerutti (1996) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığını ve bu azalma oranının -0,98 s/yüzyıl olduğu hesaplanmıştır.

SW Lyn: Örten çift sistem SW Lyn (HIP 39771, *Gaia* DR2 921886348942516864, GSC 02976-00085) Hoffmeister (1949) tarafından keşfedilmiştir. Sistemin fotometrik ışık eğrisi dikine hız ile eş zamanlı ve dönem analiz çalışması Ogloza ve ark. (1998) tarafından yapılmış olup sistemin kütle oranı yaklaşık q=0,35 olarak belirlenmiştir. SW Lyn çift sistemin dikine hız çalışması Lu ve ark. (2001) tarafından yapılmış olup dikine hız çalışmasında üç cizgili sistem olduğu rapor edilmiştir. Aynı çalışmada sistemin kütle oranı q=0,524(28) olarak yeniden ve tayf türü F2 olarak belirlenmiştir. SW Lyn'nin son ışık eğrisi analizi Kreiner ve ark. (2003) tarafından yapılmıştır. Sistemin dönem analiz çalışması Li ve Qian (2005) tarafından yapılmış olup çalışmada, olası üçüncü ve dördüncü cisimlerin kütleleri M_3=0,94$M_\odot$ ve M_4=0,076$M_\odot$ (ki dördüncü cisim için bu kütleli bir bileşenin kahverengi cüce bir yıldız ya da dev bir gezegen olabileceği ifade edilmiş) olarak belirlendi. Yakın çift sistem SW Lyn'nin literatürde dönem anliz çalışması en son Hinse ve ark. (2014) tarafından yapılmış olup sistemin kararsız çoklu bir sistem olduğu rapor edilmiştir.

DD Mon: DD Monocerotis (TYC 4800-372-1, GSC 04800-00372) Hoffmeister (1934) tarafından keşfedilmiştir. Fotoğrafik gözlemi Ahnert ve ark. (1947) tarafından gerçekleştirilmiş olup sistemin dönemini *P*=0,567989 gün olarak belirlenmiştir. Değmeye yakın tür olarak Shaw (1994) tarafından sınıflandırıldı. Sistemin ışık eğrisi (*BV* filtrelerinde) ve birinci bileşenin tayfsal ışık eğrisi Yamasaki ve ark. (1990) tarafından yayınlandı. Aynı çalışmada, ayrıca ışık eğrisi analizi de yapılmıştır. Sistemin fotometrik çalışması Qian ve ark. (1997) ve son olarak ise Gazeas ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirildi. Sistemin tayfsal çalışması ve analizi Pribulla ve ark. (2009) tarafından gerçekleştirildi ve aynı çalışmada sisteme ait üçüncü bileşenin dönme hızı 19,5 km s^{-1} olarak hesaplandı. Değmeye yakın sistemlerden DD Mon'nin son dönem anliz çalışması Qian ve ark. (2009) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin arttığı ve bu artma oranı 1,21 s/yüzyıl olarak belirlenmiştir.

UU Lyn: UU Lyn (TYC 2990-255-1, *Gaia* DR2 816234830681670016) örten çift sistemi, fotoğrafik gözlemlerden Geyer ve ark. (1955) tarafından belirlenmiştir. UU Lyn sisteminin ışık eğrisi Strohmeier ve ark. (1963) tarafından yayınlanmış olup sistemin yörünge dönemi *P*=0,468461 gün olarak belirlenmiştir. İlk fotoelektrik ışık eğrisi ve dikine hız ile eş zamanlı çözümü yapılmış olup temel parametreler Yamasaki ve ark. (1983) tarafından belirlenmiştir. UU Lyn çift sistemin dikine hız eğrisi ve analizi Yamasaki ve ark. (1983) tarafından yapılmış olup sistemin tayf türü F3V+K olarak rapor edilmiştir. Sistemin dönem çalışması Qian (2002) tarafından yapılmış olup dönemin *dP/dt*=-0,87 s/yüzyıl olarak hesaplanmıştır. UU Lyn için yapılan son dönem analizi Olivia ve Hintz (2015) tarafından gerçekleştirilmiş olup 'American Astronomical Society' adlı toplantıda sunulmuş fakat sistemin dönemiyle ilgili sadece özet yayınlanmıştır.

RS Ind: NCB türü örten çift sistem RS Ind (TYC 9327-425-1, *Gaia* DR2 6396314409603284992) Pickering (1907) tarafından keşfedilmiştir. İlk tayf sınıflaması Pickering (1907) tarafından (F tayf türünden olduğu) rapor edildi. Fotoğrafik ışık eğrisi Hoffmeister (1943) tarafından elde edilmiş ve aynı çalışmada, sistemin yörünge dönemi *P*=0,624021 olarak rapor edilmiştir. Sistemin tayf türü F3 ve Güneş'e uzaklığı 460 pc olduğu Shaw (1994) tarafından ifade edildi. İlk fotoelektrik ışık eğrisi analiz çalışması Marton ve ark. (1990) tarafından yapılmıştır. Aynı çalışmada, RS Ind sisteminin bileşenlerin sıcaklıkları ve Roche lobe doldurma oranları hesaplanmıştır. RS Ind örten çift sistemi için yapılan son dönem analizi Marton ve ark. (1990) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığını ve bu azalma oranını *dP/dt*=-1,79 s/yüzyıl olarak belirlenmiştir.

KR Cyg: Çift sistem KR Cyg (GSC 02671-00793, HD333645, SAO 69504) Schneller (1931) tarafından keşfedilmiştir. Fotoğrafik ışık eğrileri Nekrasova (1945) ve Wachmann (1948) tarafından elde edilmiştir. İlk fotoelektrik gözlemler Vetesnik (1965) tarafından yapılmıştır. KR Cyg sisteminin ışık eğrisiyle eş zamanlı dikine hız analizlerinden temel fiziksel parametreler Sipahi ve ark. (2013) tarafından elde edilmiştir. Aynı çalışmada sistemin kütle oranı q=0,438(17) ve tayf türü A0V olarak belirlenmiştir. KR Cyg için yapılan son dönem analiz çalışması Tvardovskyi ve Marsakova (2015) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin arttığı ve ayrıca sistemde üçüncü bir bileşen varsa dönemini 76 yıl olarak belirlendi.

FT Lup: FT Lup (HD 132316, GSC 07828-01838) örten çift sistem, Hoffmeister (1949) tarafından keşfedilmiş olup Algol türü bir sistem olarak sınıflandırılmıştır. Fotoğrafik ışık eğrisi Hoffmeister (1965) tarafından yayınladı. Aynı çalışmada, sistemin dönemini P=0,4700903 olarak belirlenmiş ve sistemi β Lyr türü sistem olarak sınıflandırılmıştır. Sistemin dikine hız ve fotometrik ışık eğrisi (*BVRI* filtrelerinde) Hilditch ve ark. (1984) tarafından yapıldı. Sistemin ışık eğrisi analizini WD yöntemi ile Lipari ve Sistero (1986) tarafından yapılmıştır. FT Lup sistemi için, son dikine hız ve ışık eğrisi analizi Siwak ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup sistemin kütle oranı q=0,469(8) olarak belirlendi. Aynı çalışmada, sistemin tayf türü F2V+K3V olarak belirlendi. FT Lup örten çift sistemi için yapılan son dönem analizi Lipari ve Sistero (1986) tarafından yapılmış olup sistemin döneminin azaldığını ve bu azalma oranını dP/dt=-1,53 s/yüzyıl olarak verildi.

BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Veri

Bu tez çalışmasının materyalı, NCB ve ECB türü sistemlerin literatürden ve güncel kataloglardan derlenen temel parametreleriyle hesaplanan açısal momentum, kinematik özellikleri, seçilen bazı sistemlerin yapılan yeni gözlemleri ve açık veri tabanlarından derlenen gözlem verilerinden oluşmaktadır. NCB ve ECB türü sistemlerle birlikte, dinamik evrimleri için gerekli olan temel mutlak parametreler olan kütle, yarıçap, toplam enerji, yörünge özellikleri ve ayrıca kinematik özellikler için gerekli öz hareket ve trigonometrik paralaks verileri de literatürdeki ilgili yayınlardan ve güncel kataloglarla birlikte özellikle *Gaia* DR2'den (*Gaia* çalışmaları, 2018) toplanarak NCB ve ECB'ler için güncel veri tabanları oluşturulmuştur.

3.1.1. Yeni Gözlemler

Artan teknolojik gelişmeler ile birlikte yıldız gözlemlerinde daha hassas veriler elde edilebilmektedir. Bu kapsamda, güncellenmeye ihtiyaç duyulan sistemlerin ışık eğrileri gözlenmiştir. Dönem analizi yapılmayan ya da dönem değişiminde yeni değişim karakteri gösteren sistemler için yeni minimum zamanlar elde edebilmek için fotometrik gözlemler yapılmıştır. Tez çalışması boyunca üç sistemin ışık eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca beş sistem için de minimum zamanlar elde edilmiştir. Eken değme evresindeki (ECB) sistemlerden seçilenlerin gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde (ÇOMÜG) ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde (TUG) gerçekleştirildi. ÇOMÜG gözlemevinde CN And sisteminin ışık eğrisi ve minimum zamanları, PY Vir ve XY Leo sistemleri için ise minimum zamnaları okunabilecek şekilde ışık eğrileri elde edilmiştir. Çizelge 3.1'de yapılan gözlemlere ilişkin bilgiler verilmiştir. Gözlemler LX200 model Cassegrain-Schmidt tipi, 305mm çaplı teleskop ve buna bağlı, görüş açısı 15',8 × 15',8 olan Apogee Alta U47 CCD dedektörü kullanılarak, Bessel *UBVRI* fotometri sisteminin *BVR* filtrelerinde gerçekleştirildi. CN And sisteminin ışık eğrisi için 2017 yılı gözlem sezonunda (Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında) toplam sekiz gecede yapılmıştır. Ek olarak CN And için 2013 yılında üç gece, XY Leo için 2013 yılında üç gece ve PY Vir sistemi için de 2018 yılında iki gece gözlem yapılarak minimum zamanları elde edilmiş (Çizelge 3.2). Yapılan gözlemlerin indirgeme işlemlerinde C-Munipack (http://c-munipack.sourceforge.net/) ve

MaximDL yazılımları kullanıldı. CCD verileri, bilinen standart yöntemler ile indirgendi (tüm görüntülerden bias ve kara akım görüntüleri çıkarıldıktan sonra düz alan düzeltmesi yapıldı).

Çizelge 3.1. Erken değme evresindeki sistemlerin gözlem bilgileri

Sistem	*V* (^{m})	Mukayaese	Teleskop/CCD	Filtre	Gözlendiği Yer	Gece Sayısı
CN And	9,706	TYC 2786 406	T30/Ap. U47	*BVR*	ÇOMÜG	11
GZ And	11,10	TYC 2842 919	T100/SBIG ST402M	*BVRI*	TUG	2
LS Del	8,722	TYC 1656 943	T100/SBIG ST402M	*BVRI*	TUG	4
XY Leo	9,68	TYC 1412 339	T30/Ap. U47	*VR*	ÇOMÜG	3
PY Vir	9,84	TYC 4961 492	T30/Ap. U47	*BVR*	ÇOMÜG	2

Bu çalışmada GZ And ve LS Del sistemlerinin fotometrik gözlemleri, TUG'ta T100 (100 cm çaplı ACE RC1.0 modelli teleskop, *f*/10 odak oranlı, $0''$,11 ayırma güclü) teleskobuyla *BVRI* filtreleri kullanılarak yapıldı. GZ And için 2017 yılının Kasım ayında toplam iki gece, LS Del için ise 2017 yılının Temmuz ve Ağustos ayalarında toplam dört gece gözlem yapılarak *BVRI* filtrelerinde ışık eğrileri elde edilmiştir. ÇOMÜG ve TUG'taki gözlemlerde tüm filtrelerde parlaklık hataları yaklaşık 0^m,01 civarındadır. GZ And ve LS Del sistemlerinin ışık eğrileri TUG'ta dört farklı filtrede (*BVRI*) elde edilmiştir. ÇOMÜG ve TUG gözlemlerinden üç farklı sistemin (CN And, GZ And ve LS Del) ışık eğrileri ve beş farklı sistem (CN And, GZ And, LS Del, XY Leo ve PY Vir) için de toplam 22 minumum zamanı hesaplanmıştır. Gözlemlerde kullanılan mukayese yıldızları, gözlemi yapılan sistemlerin renk ve parlaklığına yakın yıldızlardan seçilmiştir.

Çizelge 3.2. ECB türü sistemlerin gözlemlerden elde edilen minimum zamanları ve hataları

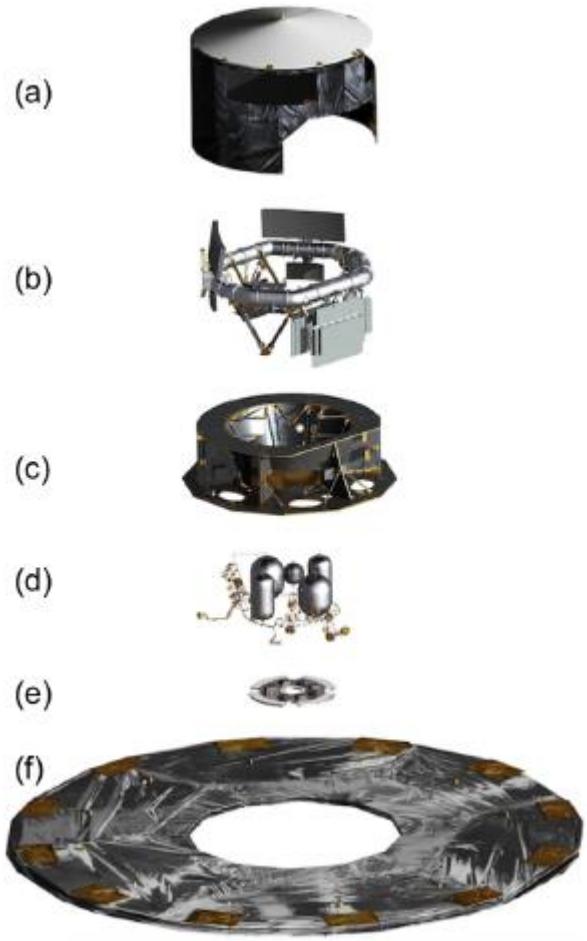
Sistem	Filtre	Minimum Zaman (HJD+2400000)	Hata	Tür (I/II)	Teleskop
CN And	*VR*	56468,5473	0,0001	I	
CN And	*BVR*	56528,4799	0,0003	II	
CN And	*VRI*	56555,3202	0,0003	II	
CN And	*BVR*	57977,4765	0,0003	II	
CN And	*BVR*	57990,4353	0,0002	II	
CN And	*BVR*	58000,3830	0,0002	I	
CN And	*BVR*	58000,3841	0,0001	I	
CN And	*BVR*	58009,4085	0,0003	II	
CN And	*BVR*	58013,3405	0,0002	I	
CN And	*BVR*	58035,3227	0,0002	II	ÇOMÜG T30
CN And	*BVR*	58041,3402	0,0001	II	
XY Leo	*VR*	56307,492	0,0001	II	
XY Leo	*VR*	56405,369	0,0001	I	
XY Leo	*VR*	56414,318	0,0002	II	
PY Vir	*BVR*	58241,3288	0,0002	II	
PY Vir	*BVR*	58248,3324	0,0003	I	
PY Vir	*BVRI*	58232,3040	0,0004	II	
PY Vir	*BVRI*	58232,4586	0,0002	I	
GZ And	*BVRI*	58039,3733	0,0001	II	
GZ And	*BVRI*	58039,5254	0,0001	I	TUG T100
LS Del	*BVRI*	57965,4437	0,0001	II	
LS Del	*BVRI*	57983,4569	0,0001	I	

3.1.2. Gökyüzü Tarama Gözlemleri

Gözlemi yapılamayan bazı sistemler için SuperWASP (Wide Angle Search for Planets) veri tabanından yararlanıldı. SuperWASP iki robotik teleskop ile (biri Kanarya Adaları'ndaki La Palma adasında bulunan Observatorio del Roque de losMuchachos'da, diğeri ise Güney Afrika Astronomi Gözlemevi'nde (SAAO)) tüm gökyüzünü incelemeyi amaçlamakta ve 7 ile 13 kadir arasındaki binlerce yıldızı izlemektedir. Her iki teleskop da sekiz adet 200 mm, *f*/1.8 Canon telefoto lens ve Andor CCD'lerden oluşur. SuperWASP yaklaşık olarak gözlem başına %1'lik bir hassasiyetle kaliteli bir fotometri gözlemi sağlamaktadır. Dönem değişim analizlerinde kullanılmak üzere, ECB türü; GZ And ve TW Cet ile NCB türü; V752 Cen, FT Lup, AG Phe ve V747 Cen sistemleri için SuperWASP veri tabanından ışık eğrileri alınarak toplam 128 minimum zamanı hesaplandı ve hatalarıyla birlikte Ek Çizelge 1'de listelendi.

3.1.3. *Gaia* Astrometrik Verisi

Bu tez çalışması kapsamında, yakın çift yıldızların kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Kinematik hesaplamalar için trigonometrik paralaks ve özhareket bileşenleri önemli parametrelerdir. *Gaia* uydu verilerinden elde edilen parametreler, çok hassas belirlenebildiği için bu çalışma kapsamında trigonometrik paralaks ve özhareket bileşenleri *Gaia* uydu verilerinin ikinci sürümünden alınmıştır (*Gaia* iş birliği, 2018). Avrupa Uzay Ajansının (European Space Agency; ESA) *Gaia* (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) uydusu 19 Aralık 2013 yılında fırlatılmış olup Samanyolu'ndaki yaklaşık milyar civarında yıldızın koordinatlarını belirlemektedir. Gökyüzündeki cisimlerin koordinatları, gökküre üzerinde izdüşümleri enlem ve boylam gibi iki değer elde edilmekte ve bundan dolayı belirlemek kolaydır. Ancak burdaki zayıf yön ise uzaklıkların bilinmemesidir. Yıldızların uzaklıkları iyi belirlenebilirse üç boyutlu yıldız haritası oluşturulabilir. *Gaia* uydusu tarafından yayınlanan Gökadamızın 3−boyutlu haritası yaklaşık bir milyardan fazla yıldız hakkında önemli bilgiler içermektedir. Bu yıldızların gökyüzündeki konumları, uzaklıkları ve parlaklıkları yüksek doğrulukla belirlenmiştir. Ayrıca yaklaşık yedi milyon yıldızın dikine hızları ile ölçümler yapılmıştır. Gökadamızdaki yıldızların yapısını anlamamıza büyük katkı yaptığı için astrofizikte trigonometrik paralaks ölçümü çok önemlidir (d (pc)=1000/π (mas)). Şekil 3.1'de Samanyolu Galaksisi gezgini *Gaia* uzay teleskobunun dış görünümü verilmektedir (*Gaia* iş birliği; Prusti ve ark., 2016).



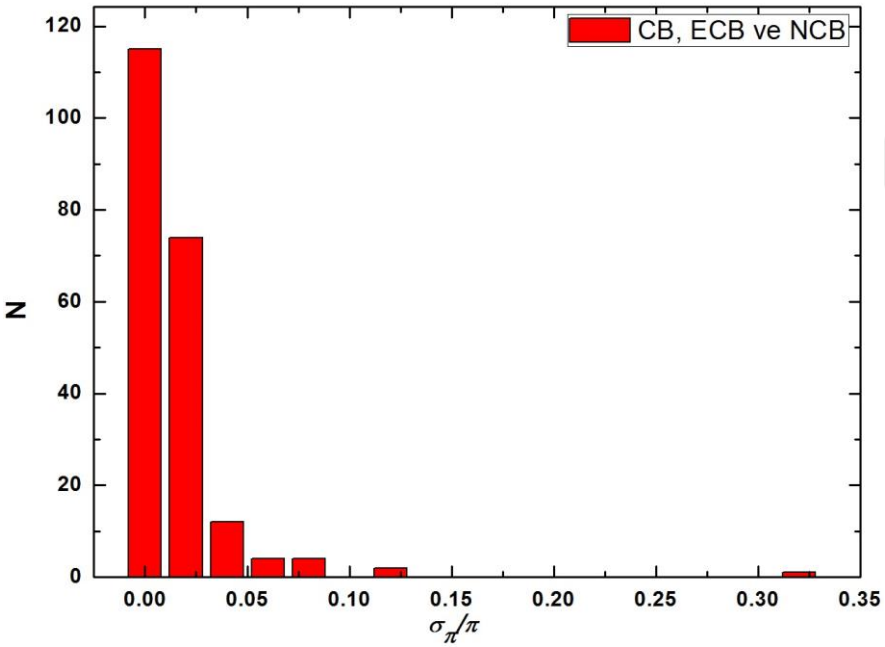
Şekil 3.1. *Gaia* uzay teleskobu, (a):Yük taşıma çadırı, (b): Yük modülü: optik tezgah, teleskoplar, aletler ve odak düzlemi düzeneği, (c): Servis modülü (yapı): ayrıca bazı elektronik yük taşıma ekipmanlarını da barındırmaktadır (örneğin video işleme üniteleri ve yük taşıma veri birimi), (d): İtici sistemler, (e): Faz dizili anten ve (f): Güneş panelleri içeren açılabilir güneşlik montajı (*Gaia* iş birliği; Prusti ve ark., 2016)

Herhangi bir yıldızın Galaktik uzay hız bileşenlerini hesaplamak için aşağıdaki parametrelerin bilinmesi gerekir:

- Ekvatoral koordinatları (α,δ)
- Trigonometrik paralaksı (π)
- Öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ)
- Kütle merkezinin dikine hızı (γ_0)

NCB, ECB ve CB türü sistemler için 2000 epoğundaki ekvatoral ve Galaktik koordinatlar *Gaia* veri tabanından derlenerek kullanılmıştır. Sistemlerin paralaks ve öz hareket bileşenleri yine *Gaia* DR2 (*Gaia* iş birliği, 2018) veri tabanından ve sistemlerin dikine hız verileri de güncel çalışmalardan alınmıştır. *Gaia* kataloğundan paralaksları alınan

CB, ECB ve NCB türlerinden; ECB'lerin trigonometrik paralaksı aralığı 2< π <18 mas ve göreli paralaks hataları 0,001< σ_π/π <0,035 aralığında, NCB'lerin trigonometrik paralaksı aralığı 1,9 < π <12 mas ve göreli trigonometrik paralaks hataları 0,003< σ_π/π <0,060 aralığında ve CB'lerin trigonometrik paralaksı aralığı 0,5< π <78 mas ve göreli paralaks hataları 0,001< σ_π/π <0,350 aralığındadır. Trigonometrik paralaks değerleri π >0 olan 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB sistemlerinin göreli paralaks hatalarının frekans dağılımı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB olmak üzere toplam 208 sistem için *Gaia* uzaklık hataları 0< d_{hata} <140 pc aralığındadır. 19 ECB sisteminden 18'nin uzaklık hatası 10 pc'ten küçük olup, 20 NCB türü sistemden 19'nun uzaklık hatası 10 pc'ten küçük olup ve 168 CB sisteminin 154'ünün uzaklık hatası da 10 pc'ten küçüktür. Toplam 207 sistemin uzaklık hatası, %92'sinin 10 pc'den daha küçük değerde çıkması *Gaia* DR2 verilerinin ne kadar hassas olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

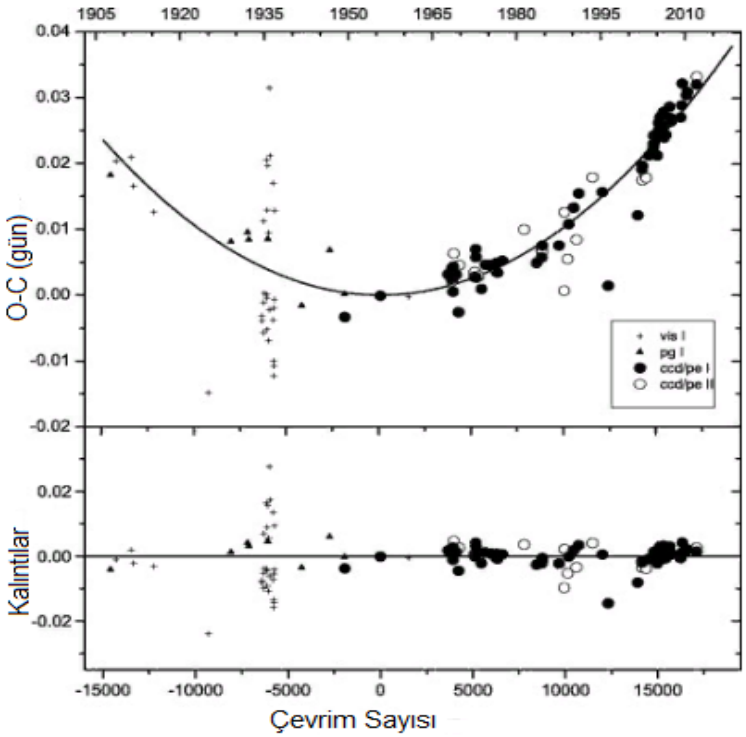


Şekil 3.2. Trigonometrik paralaksı sıfırdan büyük olan (π >0) 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB yıldızının göreli paralaks hatalarının frekans dağılımı

3.2. Yörünge Dönem Değişimi Analiz Yöntemi

Yörünge dönem değişimleri yakın çift sistemlerin evrimlerinin anlaşılmasında önemlidir. Bu kapsamda, NCB ve ECB türü sistemlerin, gözlemlerde elde edilen ve veri tabanlarından ışık eğrileri alınıp hesaplanan minimum zamanları (bakınız Çizelge 3.2 ve Ek Çizelge 1) ve literatürden toplanan minimum zamanları kullanılarak dönem değişimlerinin

analizleri, $O-C$ (observed–calculated minima times) yöntemiyle gerçekleştirildi. Yörünge dönem analizlerinde, Zasche ve ark. (2008) tarafından geliştirilen MATLAB yazılımı altındaki kodlar kullanılmıştır. Bu şekilde, NCB ve ECB türü sistemlerin dönem değişim karakteri ve değişimler ile temel parametre ilişkileri ve olası evrim geçişlerine ilişkin tartışmalar yapılmıştır. Yakın çift yıldızların yörünge dönem değişimi sonucunda, dönemde sadece artma ya da azalma olabileceği gibi artma/azalamayla birlikte çevrimsel değişimde olabilir. Örneğin sadece dönem artması gösteren SX Aur türü örten çift sistemi, $O-C$ analiz yötemiyle, yörünge dönem değişimi Öztürk ve ark. (2014) tarafından yapılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. SX Aur sisteminin $O-C$ grafiği (Öztürk ve ark., 2014)

Yakın çift yıldızlarda yörünge dönem değişimi belirlenen sistemler için kütle, açısal momentum aktarımı ve kaybı nedeniyle parabolik, üçüncü cisim etkisi nedeniyle (ışık-zaman etkisi) dönemli, yüzey manyetik etkinliği nedeniyle çevrimsel değişim dönemli olarak ortaya çıkar. Değişimi temsil ettiğimiz parametreler kullanılarak fiziksel sürece (kütle aktarımı ve/veya kaybı miktarı, üçüncü cismin olası kütlesi ve yörüngesi, manyetik çevrimin dönemi gibi) veya değişime neden olan olaya ilişkin bazı açıklamalar yapılmıştır. Yakın çift yıldızların $O-C$ analizleri genelde karmaşıktır. Bunlar çoğunlukla artan ya da azalan parabolik bir değişim üzerine binmiş bir ya da birkaç çevrimsel değişim içerir. Parabolik değişimler genellikle bileşenler arası kütle aktarımı ile açıklanır. Ancak azalan parabolik

değişimler, bileşenlerden en az biri F5 tayf türünden daha geride ise sistemden olası açısal momentum kaybı ile de açıklanabilir. Sinüs benzeri değişimler ise genellikle yakın çift sistemin etrafında dönen olası bileşenlerden kaynaklandığı kabul edilse de ek olarak bu değişimin kaynağı; sistemde soğuk ve manyetik etkinlik gösteren bileşenlerin manyetik çevrimleri de olabilir (Applegate, 1992).

$O-C$ grafiklerinde yıldızlararası kütle ve enerji aktarımı veya sistemin kütle kaybı parabolik değişim olarak karşımıza çıkar. Bu durumda, $O-C$ verileri için aşağıda verilen bağıntı kullanılır:

$$Min\, I = T_0 + E.P + Q.E^2 \tag{3.1}$$

Burada, T_0 ve P başlangıç minimum zamanı ve yörünge dönemini, E çevrim sayısını ve Q ise parabolik terimin katsayısını gösterir. Eğer sistemin dönemi artıyorsa Q pozitif, azalıyorsa negatif değer bulunur. Birim zamanda dönemde meydana gelen değişikliği ifade etmek için aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{2Q}{P} \tag{3.2}$$

Kütle aktarımı korunumlu ise, üçüncü Kepler yasası kullanılarak, dönem değişimi (ΔP) ile aktarılan kütle miktarı ($\dot{m}_1$) arasında aşağıda gibi bir bağıntı elde edilebilir (Kwee, 1958):

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3\dot{m}_1 (m_1 - m_2)}{m_1 m_2} = 3\frac{1-q^2}{qM}\dot{m}_1 \tag{3.3}$$

Burada, m_1 ve m_2 bileşenlerin kütleleri, M sistemin toplam kütlesi ve q ($=m_2/m_1$) bileşenlerin kütle oranlarını gösterir.

$O-C$ grafiklerinde görülen sinüs benzeri değişimleri olası üçüncü cismin neden olduğu ışık-zaman etkisi (LITE) kullanarak modellemek için en temel ifade ilk kez Irwin (1959) tarafından verilmiştir:

$$\Delta t = \frac{a_{12}\sin i'}{c}\left\{\frac{1-e'^2}{1+e'\cos v'}\sin(v'+w')+e'\cos w'\right\} \tag{3.4}$$

Denklemde verilen Δt değeri, olası üçüncü cisimden kaynaklanan zaman gecikmesidir. Diğer terimler ise şu şekilde tanımlanır: $a_{12}\sin i'$ çift sistemin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında çizdiği yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğunu izdişümü, i' aynı yörüngenin eğikliği, e' basıklığı, v' yörüngenin gerçek anamoli değeri ve w' de yörüngede enberinin boylam açısını verir. Bu durumda, ışık elemanları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Min\ I = T_0 + E\,x\,P + \Delta t \tag{3.5}$$

Burada T_0 ve P çiftin başlangıç minimum zamanı ve yörünge dönemi olup E yine çevrim sayısını gösterir.

Manyetik çevrim kaynaklı $O-C$ değişimleri çevrimseldir ve aşağıdaki bağıntıyla temsil edilebilir:

$$Min\ I = T_0 + E\,x\,P + A_{\mathrm{mod}}\sin\left[\frac{2\pi}{P_{\mathrm{mod}}}(E-T_s)\right] \tag{3.6}$$

Burada, T_0, E ve P ışık elemanlarını temsil etmede kullanılan parametreler olup Bağıntı 3.6'da da yer alan aynı terimlerdir. A_{mod}, P_{mod} ve T_s de sırasıyla, sinüslü değişimin genliğini, dönemini ve minimum momentini temsil ederler. Applegate modeline göre, bu tür dönem değişimlerinin büyüklüğü yaklaşık olarak $\Delta P/P \approx 10^{-5}$ seviyesinde olup buna $\Delta L/L \approx 0.1$ düzeyinde ışıtma değişimi ve $\Delta\Omega/\Omega \approx 0.01$ düzeyinde de diferansiyel dönme değişimi eşlik eder.

Ayrıca kütle aktarımı korunumsuz ise; aşağıda verilen bağıntı kullanılarak dönem değişimi hem kütle aktarımı hem de sistemden kütle kaybıyla açıklanmaya çalışılır (Erdem ve ark., 2004):

$$\frac{\Delta P}{P} = 3k^2\left(\frac{r_A}{a}\right)^2\left(\frac{m_1+m_2}{m_1.m_2}\right)\delta m + \frac{3(m_2-m_1)}{m_1.m_2}\Delta m \tag{3.7}$$

Burada Δm; küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı, δm; sistemden kaybolan kütle, k; gyration sabiti (k^2=0,1) ve r_A; alfven yarıçapı (r_A:10 R_2 kabul edilir).

3.3. Işık Eğrisi Analiz Yöntemi

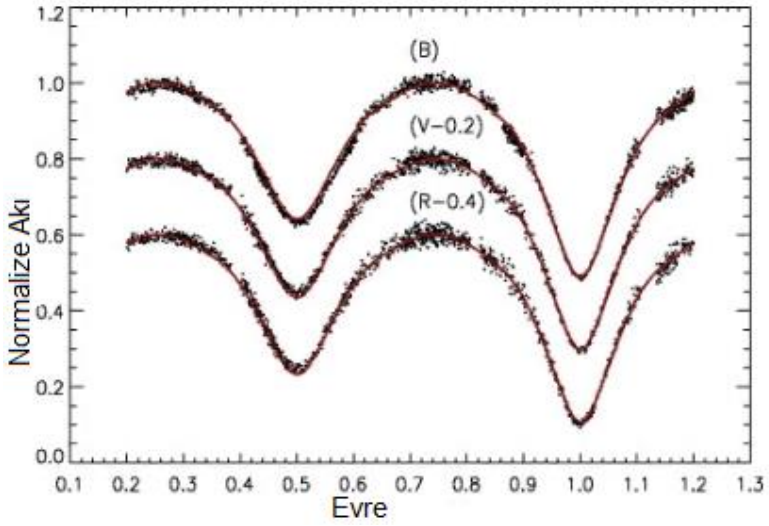
Değme sınırı civarındaki NCB ve ECB'ler için yapılan gözlemlerin indirgeme işlemlerinde C-Munipack (http://c-munipack.sourceforge.net/) ve MaximDL yazılımları kullanıldı. CCD verileri, bilinen standart yöntemler ile indirgendi. Tüm görüntülerden bias ve kara akım görüntüleri çıkarıldıktan sonra düz alan düzeltmesi yapılmıştır. Düzeltilmiş görüntülerden seçilecek hedef cisimlerin parlaklık okumaları yapılarak, zamana karşılık diferansiyel parlaklıklar elde edilmiş ve analize hazır hale getirilmiştir.

Gözlenen veya açık veri tabanlarından verileri alınan NCB ve ECB türü sistemlerin ışık eğrilerine dikine hızları da dahil edilerek analizlerinde, bu alanda literatürde yaygın olan Wilson-Devinney (WD) ve yine bu altyapı ile hazırlanmış olan PHOEBE yazılımı (Prsa ve Zwitter 2005) kullanılmıştır. WD, ilk olarak Wilson ve Devinney (1971) tarafından hazırlanmış olup Wilson (1990, 1993) ile van Hamme ve Wilson (2003) tarafından geliştirilmiştir. WD yönteminde bileşen yüzeylerini eş potansiyel yüzeyler olarak kabul eder. WD yazılımı, ışık ve dikine hız eğrilerine kuramsal eğrilerinin ve diferansiyel düzeltme yöntemiyle ışık ve dikine hız verilerinin serbest parametre değerlerinin ve hatalarının hesaplanması için gerekli kodlarını kullanmakta olup çok sayıda alt programdan meydana gelmektedir. Kuramsal ışık ve dikine hız eğrileri hesaplanırken serbest parametreler (örneğin kütle oranı (q), yörünge eğikliği (i), yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), kesirsel ışınım katkıları ($L_{1,2}$), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2) gibi), inceleme kapsamına alınan sistemin özelliklerine göre seçilmektedir. Bileşenlerin yüzey sıcaklıkları 7400 K'nin altında ise bileşenler konvektif atmosfere sahip ve dolayısıyla çekim kararmaları g_1=g_2=0,32 (Lucy, 1967) ve bolometrik albedolar A_1=A_2=0,5 (Rucinski, 1969) olarak alınır. Bu çalışmada CN And, GZ And ve LS Del sistemleri için birinci bileşenlerin etkin sıcaklığı (T_1), renk ölçeğinden belirlenmiştir.Sistemlerin renk ölçekleri, $B-V$ değeri (APASS veri tabanından alınarak) sırasıyla CN And, GZ And ve LS Del için 0,47, 0,76 ve 0,44 olarak hesaplanarak bunlara karşılık F6V, G9V ve F5V tayf sınıflaması (Cox, 2000) dikkate alınarak sıcaklık değerleri kullanılmıştır.

WD yazılımı kullanılırken, ışık eğrisinin biçimine ve sistemin özelliklerine göre MOD seçimi yapılır. Yakın çift yıldızlar kritik bir potansiyel değeri vardır ki bu değer, eğer her iki bileşen Roche loblarının yüzde yüzünü doldururlarsa o zaman sistem ayrık/yarı ayrık

durumdan değme durumuna geçmiş olur. Işık eğrisinin türüne göre WD programı için sekiz ayrı MOD tanımlaması yapılmıştır. Yakın çift yıldızlar için kullanılacak olan MOD tipi kritik potansiyele göre belirlenmektedir. Örneğin ayrık sistemler için kritik potansiyel değerine ulaşılmadığı için MOD2 seçilirken, kritik potansiyel değeri aşan değen sistemler için MOD3 seçimi yapılır. Bu tez çalışması kapsamında, ayrık sistemler için MOD2 (bu mod'da bileşen yıldızların yüzey potansiyelleri için bütün parametreler serbest bırakılmakta, sadece ikinci bileşenin ışınım gücü (L_2) değeri sabit alınır) ve değen sistemler için MOD3 (bu mod'da birinci bilesenin yüzey potansiyeliyle ikinci bileşenin yüzey potansiyel değerleri eşit alınır ($\Omega_1=\Omega_2$) ve q, T_2 parametreleri bu modda serbest bırakılır.) kullanılmıştır. Sistemler ilk ayrık olarak düşünüldü ve WD çözümlerimde MOD2 seçildi. Çözümlerin sonucunda potansiyel değerlerinin, kütle oranıyla birlikte değerlendirildiğinde, sistemlerin bileşenlerinin Roche loblarını doldurmuş olduğu görüldü ve değen yıldız çözümleri için gerekli olan MOD3 seçildi. WD çözümünde serbest bırakılan parametre değerlerinin düzeltmeleri hatalardan büyük olana kadar analiz devam eder.

Işık eğrisi analizi için farklı MOD seçimleri yapılarak WD analizler yapılır. Örneğin değen çift sistem SX Aur sistemi Öztürk ve ark. (2014) tarafından, WD yöntemi ve MOD3 kullanılarak ışık eğrisi analizi yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. SX Aur sisteminin WD yöntemiyle üç farklı filtrede (*BVR*) ışık eğrisi analizi, gözlemsel noktalar ile kuramsal fitlerin uyumu (Öztürk ve ark., 2014)

3.4. Galaktik Uzay Hız Bileşenlerinin Hesaplanması

Temel fiziksel parametreleri iyi bilinen 20 NCB, 20 ECB ve 168 CB türü yıldızın uzay hızlarını hesaplamak için Johnson ve Soderblom (1987) algoritması tercih edildi. Ekvatoral

koordinatlar (α,δ), trigonometrik paralaks (π), öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha\cos\delta$, μ_δ) ve dikine hızları (γ_0) bilindiği zaman Johnson ve Soderblom (1987) algoritması ile *U* (Galaksi merkezi doğrultusunda), *V* (Güneşin dönüş doğrultusunda) ve *W* (Galaktik düzleme dik doğrultudaki) hız bileşenleri belirlenebilir. Ayrıca trigonometrik paralaks, dikine hız ve öz hareket verilerinin hataları da bilinirse *U,V* ve *W* hız bileşenlerinin belirsizlikleri de hesaplanabilir. Dönüşüm matrisleri için Blaauw ve ark. (1960) tarafından verilen Galaktik koordinatlar kullanılmış olup bu koordinat sistemi üç açı ile tanımlanır. İki açı kuzey kalaktik kutbunun (KGK) ekvatoral konumunu $\alpha_{KGK} = 192^{\circ},25$ ve $\delta_{KGK} = 27^{\circ},4$ ve üçüncü açı ise $\theta_0 = 123^{\circ}$ olup $l = 0^{\circ}$ Galaktik boylamında ve kuzey Galaktik kutbun içinden geçen büyük yarım daireye göre KGK'nin konumunu verir. Galaktik koordinatlar (*l, b*) ekvatoral koordinatlar ile *T* matrisinin çarpımından bağıntı (3.8) matris ile veriler hesaplanabilir.

$$\begin{bmatrix} \cos b.\cos l \\ \cos b.\sin l \\ \sin b \end{bmatrix} = T \begin{bmatrix} \cos\delta.\cos\alpha \\ \cos\delta.\sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix} \tag{3.8}$$

Burada *T* dönüşüm matrisi olup ekvatoral koordinatlardan Galaktik koordinatlara dönüşümünde kullanılır.

$$T = \begin{bmatrix} +\cos\theta_0 & +\sin\theta_0 & 0 \\ +\sin\theta_0 & -\cos\theta_0 & 0 \\ 0 & 0 & +1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\sin\delta_{KGK} & 0 & +\cos\delta_{KGK} \\ 0 & -1 & 0 \\ +\cos\delta_{KGK} & 0 & +\sin\delta_{KGK} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} +\cos\delta_{KGK} & +\sin\delta_{KGK} & 0 \\ +\sin\delta_{KGK} & -\cos\delta_{KGK} & 0 \\ 0 & 0 & +1 \end{bmatrix} \tag{3.9}$$

(3.9) ifadesinde α_{KGK}, δ_{KGK} ve θ_0 ifadelerinin değerlerinin kullanarak; *T* matrisi bulunur.

$$T = \begin{bmatrix} -0{,}0548755604162154 & -0{,}8734370902348850 & -0{,}4838350155487132 \\ +0{,}4941094278755837 & -0{,}4448296299600112 & +0{,}7469822444972189 \\ -0{,}8676661490190047 & -0{,}1980763734312015 & +0{,}4559837761750669 \end{bmatrix} \tag{3.10}$$

elde edilmiş olur ve ayrıca *A* koordinat matrisi ise;

$$A \equiv \begin{bmatrix} +\cos\alpha\cos\delta & -\sin\alpha & -\cos\alpha\sin\delta \\ +\sin\alpha\cos\delta & +\cos\alpha & -\sin\alpha\sin\delta \\ +\sin\delta & 0 & +\cos\delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 \\ \sin\alpha & -\cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta & 0 & -\sin\delta \\ 0 & -1 & 0 \\ -\sin\delta & 0 & -\cos\delta \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

şeklinde tanımlanırsa ve (*U, V* ve *W*) Galaktik uzay hızları aşağıdaki matris ile hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \gamma_0 \\ k\mu_\alpha / \pi \\ k\mu_\delta / \pi \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

burada kullanılan *B* matrisi, *B*=*T.A* olup denklemde kullanılan sabit ise *k*=4,74057'dir.

Uzay hız bileşenlerindeki belirsizlik hesabı için bir *F* fonksiyon belirsizliği, onun bileşenleri cinsinden;

$$\sigma^2_{F(x,y,z)} = \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilmiş olup *T* ve *A* matrislerinden hata gelmeyeceği varsayımıyla yapılmıştır. Uzay hız bileşenlerindeki (*U,V,W*) hata hesabı yıldızın öz hareket bileşenleri ($\mu_\alpha \cos\delta$, μ_δ), dikine hızı (γ_0) ve trigonometrik paralaks (π) ölçümlerindeki belirsizliklerden kaynaklanmaktadır. Uzay hız bileşenlerinin hesaplanmasında koordinatlardan hata gelmediği ve tüm ölçümler birbirinden bağımsız olarak düşünüldüğünde, hataların rastgele ve birbirinden bağımsız olduğu kabul edilir. Bu durumda (3.13) denklemi (3.12) matrisine uygulandığında;

$$\begin{bmatrix} \sigma^2_U \\ \sigma^2_V \\ \sigma^2_W \end{bmatrix} = C. \begin{bmatrix} \sigma^2_{\gamma_0} \\ (k/\pi)^2 \left[\sigma^2_{\mu_\alpha} + (\mu_\alpha \sigma_\pi / \pi)^2\right] \\ (k/\pi)^2 \left[\sigma^2_{\mu_\delta} + (\mu_\delta \sigma_\pi / \pi)^2\right] \end{bmatrix} + 2\mu_\alpha \mu_\delta k^2 \sigma^2_\pi / \pi^4 \begin{bmatrix} b_{12}.b_{13} \\ b_{22}.b_{23} \\ b_{32}.b_{33} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

elde edilir. Burada *C* matrisinin bileşenleri, *B* matrisinin herbir bileşenin karesi alınarak hesaplanır $\left(c_{i,j} = b_{i,j}{}^{2}\right)$.

3.4.1. Uzay Hız Bileşenlerine Uygulanan Düzeltmeler

Galaksimizdeki herbir yıldız Galaksimizin kütle merkezi etrafında bir yörüngede hareket etmekte olup yıldızların bu yörünge hareketi Galaksinin dönmesini karakterize etmektedir. Galaksi merkezi etrafında dönme hareketi katı cisimlerin dönme hareketinden farklıdır ve Güneş sisteminde olduğu gibi Güneş'e yakın olan gezegenlerin açısal hızları dışa doğru azalır. Galaksi merkezine yakın yıldızların açısal hızları dıştaki yıldızların açısal hızındakinden büyüktür. Bu durum Galaksinin diferansiyel dönmesine neden olur ve bu durum da ölçülen dikine hız ve öz hareket verilerine etki eder. Hesaplanan uzay hız bileşenleri yıldızların gerçek uzay hız değerlerini vermez bu durumda Güneş civarındaki yıldızların Güneş'e göre hesaplanan diferansiyel dönme etkisinden arındırılması gerekir. Eğer bu düzeltme yapılmazsa uzay hızları Güneş'e göre sistematik hatalar içerir. Galaktik düzleme dik doğrultudaki (*W*) hız bileşeni diferansiyel dönmeden etkilenmezken, Galaksi merkez doğrultusundaki (*U*) ve Güneşin dönüş doğrultusundaki (*V*) uzay hız bileşenleri etkilenir ve gereken düzeltmeler aşağıdaki bağıntılar yardımıyala yapılabilir;

$$dU = \gamma_o \cos l - V_t \sin l \tag{3.15}$$

$$dV = \gamma_o \sin l + V_t \cos l \tag{3.16}$$

Burada;

- γ_0: yıldızın kütle merkezinin dikine hızı,
- V_t: teğet hız,
- l: Galaktik boylam,
- dU: hız uzayında U eksenindeki diferansiyel dönme hız bileşeni
- dV: hız uzayında U eksenindeki diferansiyel dönme hız bileşeni

olarak ifade edilir. Diferansiyel dönmenin galaktik düzlemde γ_0 ve V_t bileşenleri ise;

$$\gamma_o = A\, d\, \sin 2l \text{ ve } V_t = d\,(A\cos 2l + B) \tag{3.17}$$

şeklinde verilir. Burada;

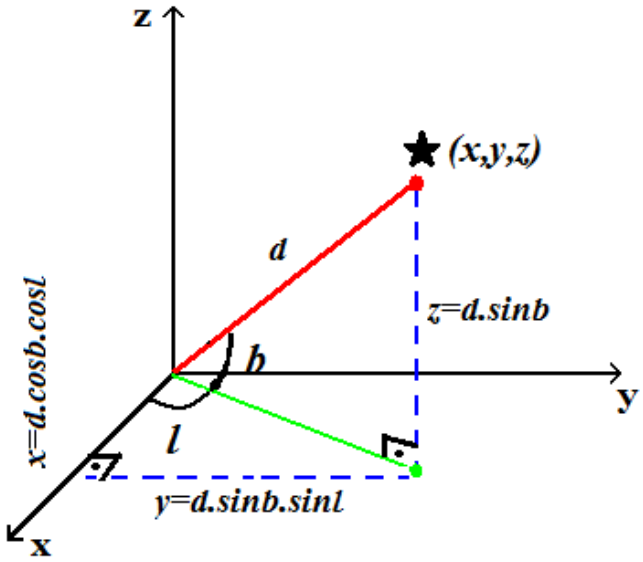
- A=14,8 km s^{-1} kpc^{-1} ve B=-12,4 km s^{-1} kpc^{-1} Oort sabitleri,
- d: Sistemin Galaktik düzlemdeki izdüşüm uzaklığını ($d=r\cos b$)
- r: Sistemin Güneş'e olan uzaklığını
- b: Sistemin Galaktik enlemini

ifade etmektedir.

Başka bir kinematik düzeltme ise "Local Standart of Rest (LSR)" (Yerel Durağanlık Standart) düzeltmesidir. LSR kısaca; Galaksinin merkezinden Güneş'e kadar olan uzaklığa (yarıçapa) sahip olan çembersel yörüngedeki ortalama hıza eşit olan referans sistemi olarak tanımlanabilir. Yapılan gözlemler Dünyadan yapıldıkları için yıldızların öz hareket, trigonometrik paralaks ve dikine hızları Güneş'e göre ölçülmektedir. Bu yüzden ölçülen uzay hız bileşenleri, durağan olmayan Güneş'e göre hızı vermektedir. Yıldızların Güneş civarındaki uzay hızlarını hesaplayabilmek için Güneş'e göre uzay hız bileşenlerinden Güneş'in LSR'ye göre uzay hızlarının bileşenlerini çıkartmak gerekir. Yapılan bu tez çalışmasında U=8,83(24), V=14,19(34) ve W=6,57(21) km s^{-1} (Coşkunoğlu ve ark., 2011) değerleri uzay hızlarının LSR düzeltmesi için kullanıldı. Bu düzeltmelerde, simetrik Galaksi model varsayımı kullanılmış olup yıldızların uzay hızları üzerine Galaksi merkezinden, spiral kollardan ve uydu Galaksilerinden kaynaklanabilecek tedirginlikler ihmal edilir.

3.4.2. Uzay Dağılımları ve Toplam Uzay Hızları

Bu tez çalışmasında NCB, ECB ve CB sistemlerinin uzay dağılımları da incelenmiştir. Uzay dağılımında, X: Galaksi merkezi doğrultusunda, Y: Güneş'in Galaksi merkezi etrafındaki dönüş doğrultusunu ve Z: Galaktik düzleme olan uzaklığı ifade etmektedir. Güneş'e uzaklığı d olan bir yıldızın kartezyen Galaktik koordinat sistemindeki konumları Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Şekil 3.5'te b Galaktik enlem, l Galaktik boylam, d yıldızın Güneş'e uzaklığı ve X, Y, Z ise Güneş merkezli Galaktik uzay dağılımlarıdır. Ayrıca şekil üzerinde X, Y ve Z nin Galaktik b, l ve d'ye bağlı bağıntıları görülebilir.



Şekil 3.5. Güneş'e uzaklığı *d* olan bir yıldızın kartezyen Galaktik koordinat sistemindeki uzay dağılımları

Sistemlerin toplam uzay hızları ve hızlarındaki belirsizlik, sırasıyla aşağıdaki (3.18) ve (3.19) bağıntılarıyla verilmektedir.

$$S = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} \tag{3.18}$$

$$S_{hata} = \sqrt{{U_{hata}}^2 + {V_{hata}}^2 + {W_{hata}}^2} \tag{3.19}$$

Yıldızların uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları $(\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W)$ ve toplam hız dispersiyon hatası (σ_{toplam}), sırasıyla 3.20 ve 3.21 bağıntıları kullanılarak hesaplanır. Bu eşitliklerde N incelenen gruptaki yıldız sayısı; U_i, V_i ve W_i de gruptaki sistemlerin uzay hız bileşenlerini ifade etmektedir.

$$\sigma_U = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{U_i^2}{N}} \qquad \sigma_V = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{V_i^2}{N}} \qquad \sigma_W = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{W_i^2}{N}} \tag{3.20}$$

$$\sigma_{toplam} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_V^2 + \sigma_W^2} \tag{3.21}$$

3.4.3. Popülasyon Dağılımı

Bu çalışmada aday sistemlerin Galaktik popülasyon tipleri de tayin edilmiştir.

Yıldızların Galaktik düzleme olan uzaklıklarıyla yıldızların popülasyon tipleri belirlenebilir. Güneş civarındaki yıldızların popülasyon türlerini (ince disk, kalın disk ve halo yıldız popülasyonu) belirlemek için iki yol vardır. Birincisi, kinematik yaklaşım (Bensby ve ark.,2003, 2005), ikincisi ise metal bolluğu yaklaşımıdır. Bu çalışmada popülasyon tipini belirlemek için kinematik yöntem kullanılmıştır. Güneş civarındaki; ince disk, kalın disk ve halo sistemlerini belirlemek için Bensby ve ark.(2003, 2005) tarafından önerilen olasılık dağılımını kullanıldı. Yöntemde uzay hız bileşenleri (U_{LSR}, V_{LSR} ve W_{LSR}) için Gaussian dağılımlar gösterdiği varsayımı altında yıldız sistemlerinin popülsayonlara üye olma olasılıkları bağıntı 3.22 ile verilmiştir.

$$P_i(U,V,W) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{3}{2}} \times \sigma_{i,U} \times \sigma_{i,V} \times \sigma_{i,W}} \times \exp\left(-\frac{U_{LSR}^2}{2\sigma_{i,U}^2} - \frac{(V_{LSR} - v_{i,a})^2}{2\sigma_{i,V}^2} - \frac{W_{LSR}^2}{2\sigma_{i,W}^2} \right) \quad (3.22)$$

eşitlikte, σ_U, σ_V, σ_W hız dispersiyonları ifade eder ve ince disk ($i=D$) için, sırası ile, 35, 20 ve 16 km s^{-1}; kalın disk için ($i=TD$) 67, 38, 35 km s^{-1} ve halo ($i=H$) için 160, 90, 90 km s^{-1} değerlerindedir (Bensby ve ark., 2003). v_a asimetrik sürüklenme olup ince disk, kalın disk ve halo popülasyonları için, sırasıyla, -15, -46 ve -220 km s^{-1}'dir.

Galakside bir sistemin hangi popülasyona ait olduğunu belirlemek için olasılık değerleri hesaplanır ve her bir popülasyon için Güneş civarında olma olasılıkları denen bir X katsayısıyla çarpılır. Bu katsayı ince disk için X_D = 0,9385, kalın disk için X_{TD} = 0,06 ve halo için X_H = 0,0015 değerini alır (Robin ve ark., 1996; Buser ve ark., 1999). Kalın diskin ince diske göre göreli olasılığı TD/D değeri ile ve ayrıca kalın diskin haloya göre göreli olasılığı TD/H değeriyle (3.23) bağıntı ifadesiyle hesaplanabilir.

$$\frac{TD}{D} = \frac{X_{TD}}{X_D} \times \frac{P_{TD}}{P_D}, \qquad \frac{TD}{H} = \frac{X_{TD}}{X_H} \times \frac{P_{TD}}{P_H} \quad (3.23)$$

Bensby ve ark. (2005) TD/D oranı için;

- $TD/D < 0{,}1$ ise yüksek olasılıklı ince disk popülasyonu
- $0{,}1 < TD/D \leq 1$ düşük olasılıklı ince disk popülasyonu
- $1 < TD/D \leq 10$ düşük olasılıklı kalın disk popülasyonu
- $TD/D > 10$ kalın disk veya halo popülasyonuna

ait olabileceğini önermiştir. Galaktik popülasyon ile ilgili frekans dağılımı ve gruplar için

olası popülasyon çizelgesi sonraki bölümde verilecektir.

3.5. Yıldızların Kinematik Yaşı

NCB, ECB ve CB türü sistemlerinin kinematik yaş hesabı da bu tez çalışması kapsamında yapılmıştır. Yıldızların uzay hız dispersiyonlarının yaş ile arttığını Wielen (1977) tarafından önerilmiştir. Yıldızlar ile diğer gökcisimleri arasındaki olan çekimden dolayı genelde yıldızların v uzay hızı arttıkça azalan bir difüzyon katsayısına sebep olur (Spitzer ve Schwarzschil, 1953; Chandrasekhar, 1960; Henon, 1973). Difüzyon katsayı;

$$C_v = \gamma_v / v \qquad d(v^2) = C_v dt \tag{3.24}$$

ile verilir. Burada γ_v difüzyon mekanizmasına bağlı bir sabit olup (3.24)'teki iki bağıntı birlikte kullanılırsa;

$$v^3 = v_0^3 + \frac{3}{2}\gamma_v \tau \tag{3.25}$$

elde edilir. Hız dispersiyonu $\sigma_v(\tau)$'nun kinematik yaş (τ) ile artışını elde etmek için v^2'nin başlangıç hızlarının (v_0) dağılımı üzerinde integral alınması gerekmektedir. Bu dağılım iyi bilinmemekte ve difüzyon katsayısının (3.24) bağıntıda verilen değeri küçük hızlarda iyi bilinmediği için $v=\sigma_v$ varsayımı yapılarak;

$$\sigma_v = \left(\sigma_{v,0}^3 + \frac{3}{2}\gamma_v \tau \right)^{\frac{1}{3}} \tag{3.26}$$

elde edilir. Bu şekilde elde edilen hız dispersiyonunda kullanılan $\sigma_v >> \sigma_{v,0}$ ve $\sigma_v \approx \sigma_{v,0}$ için ihmal edilecek kadar küçük değerdedir. Çok yaşlı yıldızların uzay hızları, (3.26) bağıntısından hesaplanan değere göre daha yaşlı çıkmaktadır. (3.24) bağıntısındaki γ_v'nin zamana bağlı olduğu için bu sonuç çıkmaktadır. Galaksinin çekimsel alanın zamanla düzgünleşebileceği varsayımıyla, γ_v'nin zamanla azaldığı düşünülürse;

$$\gamma_v(t) = \gamma_{v,p} \times \exp\left(-\frac{(t - t_p)}{T_\gamma}\right) \tag{3.27}$$

eşitliği elde edilir ve yukarıdaki eşitlikte T_γ, γ_v'nin bozunma zamanı olup 5×10^9 yıl, t_p ise şimdiki zamanı temsil etmektedir. (3.24) ve (3.27) bağıntılarında $v_o \approx \sigma_{v,0}$ alarak,

$$\sigma_v^3(\tau) = \sigma_{v,\gamma=0}^3 + \frac{3}{2}\alpha_V \delta_2 \mathrm{T}_\delta \left[\exp\left(\frac{\tau}{\mathrm{T}_\delta}\right) - 1\right] \tag{3.28}$$

elde edilmiş olur ve bu eşitlikte,

- $\sigma^3{}_{\upsilon,\gamma=0}$: Sıfır yaşındaki grup yıldızın hız dispersiyonu (10 km s^{-1})
- α_υ : Rotasyon eğrisini açıklayan sabit (2,95)
- T_δ : Zaman ölçeği (5×10^9 yıl)
- δ_2 : Yayılma katsayısı ($3{,}7\times10^{-6}$ (km s^{-1})^3 yıl)
- $\sigma_\upsilon(\tau)$: İncelenecek olan yıldız grubunun hız dispersiyonu
- τ : Kinematik yaş (birimi yıl)

şeklinde ifade edilmiş olup bu katsayılar zaman içerisinde daha duyarlı bir şekilde belirlenmiştir (Cox, 2000). (3.28) bağıntısı geliştirilmiş ve sabitlerin yerine konulmasıyla ($\gamma_{v,p}=1{,}0915\times10^{-5}$ km s^{-1});

$$\sigma_v^3 = 1000 + 81862{,}5\left[\exp\left(\frac{\tau}{5\times10^9}\right) - 1\right] \tag{3.29}$$

şeklini almaktadır. Eşitlikte τ, $\sigma_v{}^3$'e karşılık gelen kinematik yaşı temsil eder ve birimi de yıl cinsindendir.

3.6. Yörünge Açısal Momentum Hesaplamaları

Özellikle son yıllarda artan duyarlı veriler ile birlikte örten çift yıldızların açısal momentumları ve değişimleri üzerine yapılan çalışmaları artmıştır. Bu bölümde açısal momentum hesaplamalarında en genel formülü olarak yazılan bağıntı (3.30) kullanılmıştır. Bir çift yıldız sisteminde, yörünge açısal momentumuyla dönme açısal momentumunun

toplamı, sistemin açısal momentum değerini vermektedir. Dönme açısal momentum değeri, yörünge açısal momentum değerinin yanında küçük kaldığı için hesaplamalarda ihmal edilmiştir. Bir çift yıldız sisteminin açısal momentum değerinin hesaplanabilmesi için bileşenlerin kütleleri, sistemin yarı büyük eksen uzunluğu ve yörünge dönemlerinin bilinmesi gerekir. Açısal momentum aşağıdaki bağıntı (3.30) ile ifade edilir.

$$J = I\Omega \tag{3.30}$$

burada, I sistemin eylemsizlik momenti ve Ω açısal hızdır. Çift yıldızlar için eylemsizlik momenti ve açısal hız,

$$I = \left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}\right) a^2 = \left(\frac{q}{(1+q)^2}\right) M a^2 \tag{3.31}$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{P} \tag{3.32}$$

şeklinde olup çift yıldızlarda sistemin yörünge açısal momenti,

$$J = \left(\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}\right) a^2 \frac{2\pi}{P} = \left(\frac{q}{(1+q)^2}\right) M a^2 \frac{2\pi}{P} \tag{3.33}$$

şeklindedir. (3.33) bağıntısı J yörünge açısal momentumu, M_1 ve M_2 bileşenlerin kütleleri, P yörünge dönemi, a yarı büyük eksenin uzunluğunu ifade etmektedir. Çift sistemin yörünge dönemi ve yarı büyük eksen uzunluğunu, Eker ve ark. (2006)'da,

$$P = \frac{(1+q)^6}{q^3} \frac{2\pi}{G^2} \frac{J^3}{M^5}, \quad a = \frac{(1+q)^4}{q^2} \frac{J^2}{M^3} \tag{3.34}$$

şeklinde ifade edilmiştir. (3.34) bağıntısı q, kütle oranı ve yörüngenin büyüklüğü $a=a_1+a_2$ ise, her bir yıldızın ortak kütle merkezine olan toplam uzaklıklarıdır. Eğer bir çift sistemde yörünge dönemi (P) ve yarı büyük eksen uzunluğu (a) zamanla değişmiyorsa ($dP=0, da=0$),

yörünge kararlı demektir. Yörüngenin kararlığı ise açısal momentumun ve toplam kütlenin zamanla değişmemesi (*dJ=0, dM=0*) anlamına gelir. Özetle, bir çift yıldız sisteminde yörünge açısal momentumunda değişiklik yoksa ve sistemden kütle kaybı da yoksa, sistemin yörünge döneminde ve yarı büyük eksen uzunluğunda değişiklik olmaz. Fakat yıldız evrimi açısından durumun böyle olmadığına dair kanıtlar vardır (Karataş ve ark., 2004; Demircan ve ark., 2006; Eker ve ark., 2006, 2007).

CB, ECB ve NCB türü yıldızlarının yörünge açısal momentumlarıyla kinematik yaşları arasındaki ilişkinin incelenmesi, bu çalışmaya ışık tutabilir. Ayrıca, kütle ve yörünge dönemi çalışmaları arasındaki ilişkinin yorumlanması da önemli olacaktır.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. CB, ECB ve NCB Yıldızlarının Temel Parametreleri

Bu çalışmada CB, ECB ve NCB türü sistemlerin literatürden ve güncel kataloglardan yararlanılarak toplanan temel astrofizik parametrelerin veri tabanları oluşturulmuştur. Bu tez çalışması kapsamında oluşturulan ECB ve CB veri tabanları için Soydugan ve ark. (2015) tarafından yapılan katalogtan ve literatürdeki güncel yayınlardan yararlanılmıştır. NCB kataloğu için ise Soydugan ve ark. (2011) kataloğundan ve güncel çalışmalardan oluşturulmuştur. Ayrıca gözlemlerden elde edilen veriler ile de bazı sistemlerin parametreleri güncellenmiş olup parametre dağılımları ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında 172 CB, 20 ECB ve 20 NCB türü sistem ile çalışılmıştır. Bazı parametrelerin dağılımlarına ilişkin ortalama değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir.

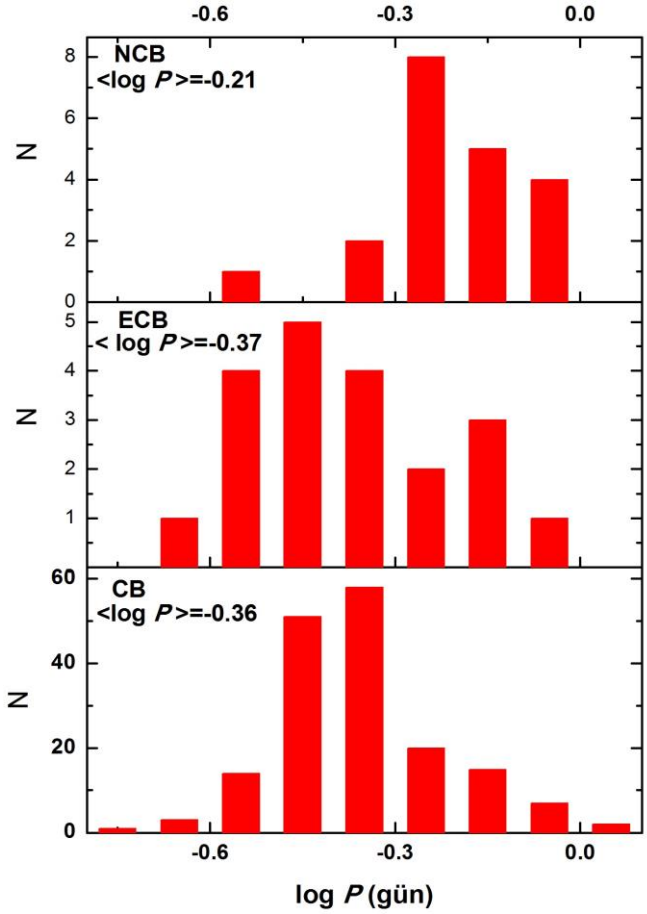
Çizelge 4.1. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin temel parametre dağılım ortalama değerleri

Sistem	N (sayı)	$<P_{yör.}>$ (gün)	$<q>$	$<M_1>$ ($M_\odot$)	$<M_2>$ ($M_\odot$)	$<R_1>$ ($R_\odot$)	$<R_2>$ ($R_\odot$)	$<T_1>$ (K)	$<T_2>$ (K)
CB	172	0,46	0,46	1,32	0,59	1,47	0,97	6359	6132
ECB	20	0,45	0,44	1,15	0,90	1,24	1,19	6346	5812
NCB	20	0,64	0,43	1,72	0,73	1,82	1,22	7330	4932

Çizelge incelendiğinde ECB'ler CB'lerin üyesi oldukları için ortalama yörünge dönemleri neredeyse aynı çıkmış fakat NCB'lerin yörünge dönemleri daha büyük çıkmaktadır. Kütle oranlarına bakıldığında CB, ECB ve NCB'ler için değerler yakın çıkmaktadır. Ayrıca sistemlerin kütle yarıçap ve sıcaklıklarına bakıldığında ise NCB'lerin birinci bileşenlerinin kütle, yarıçap ve sıcaklık değerleri CB ve ECB'lerden daha büyük değerdedir. NCB'ler Roche loblarının yaklaşık %90'ından fazlasını dolduran sistemlere sahip ve değme başlamadığı için birinci bileşen ile ikinci bileşen arasındaki ısısal denge olmadığından dolayı sıcaklık farkı büyüktür. NCB'lerin birinci bileşenleri daha büyük kütleli ve sıcaktır. NCB türü sistemler 5 (SD1), 7 (SD2) ve 8 (DB) türü sistemlerden oluşmaktadır.

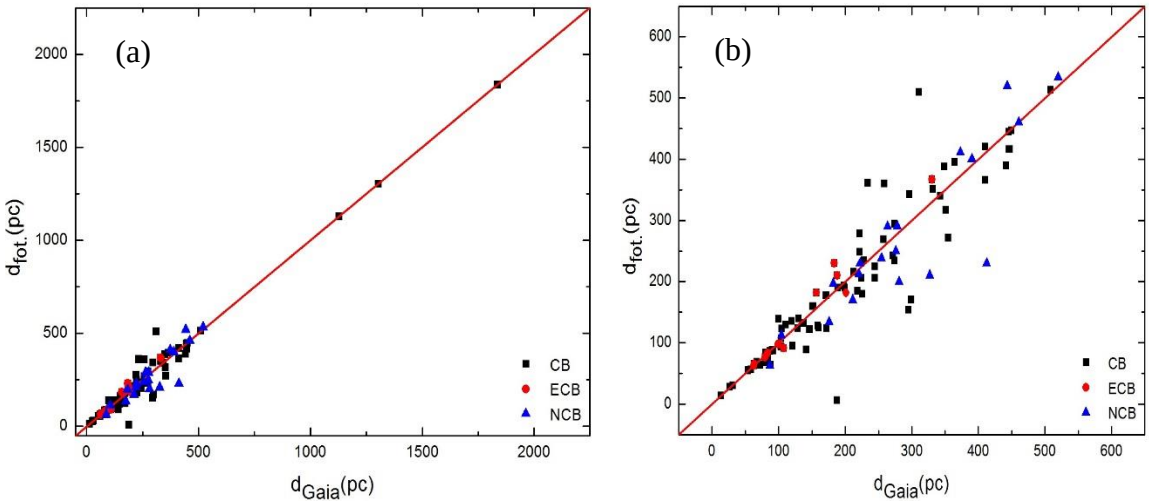
CB, ECB ve NCB türü sistemlerin tüm üyeleri için yörünge dönem dağılımları Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Değerlerin logaritması alınmış ve medyan değerleri de hesaplanmıştır. NCB ve ECB türü bütün sistemlerin yörünge dönemleri P=1 günden daha

küçüktür. CB türü sistemlerin ikisi dışında (DU Boo ve KZ Vir) dönemleri P=1 günden daha kısadır. ECB'lerin CB'lere çok yakın dağılım gösterdiği söylenebilir.



Şekil 4.1. CB, ECB ve NCB türü tüm sistemlerin yörünge dönem frekans dağılımları ve dönemlerinin medyan değerleri

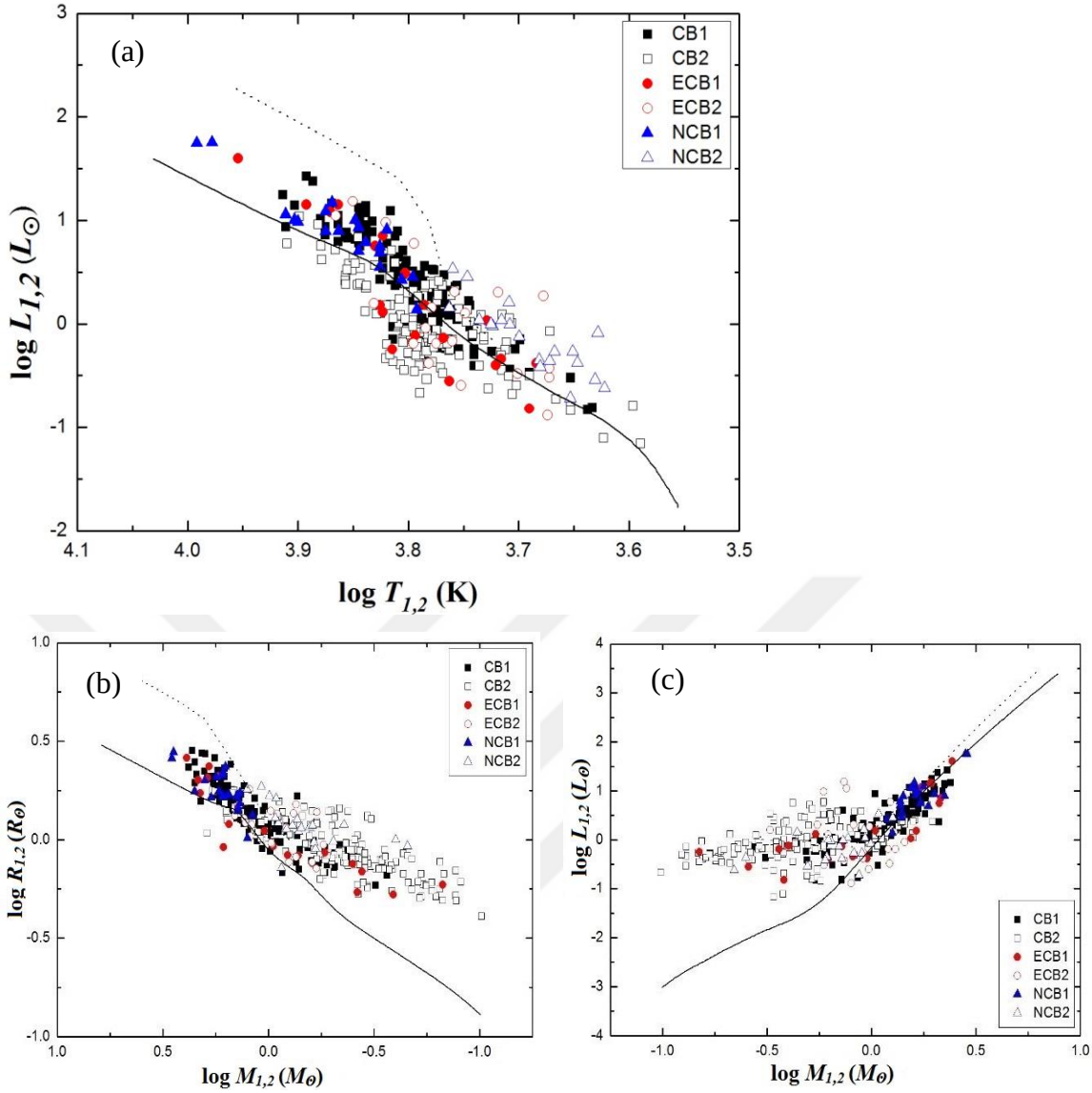
Bir çift yıldız sistemi hakkındaki en doğru bilgi bileşenlerin temel fiziksel parametrelerin hassas belirlenmesiyle mümkündür. Fotometrik ve tayfsal çalışmalardan kütle, yarıçap ve uzaklık gibi parametrelere ulaşabilir. Uzaklık, fotometrik çalışmalarından da elde edilebiliyor ki hesaplanan uzaklığın doğruluğu, diğer tayin edilen parametreleri destekler. *Gaia* DR2 uydu verilerinden elde edilen uzaklıkların hata değerleri çok küçük olup, astrofizik çalışmaları için oldukça önemlidir; çünkü yıldızların uzaklıkları Gökadamızın dinamik yapısı hakkında bilgi vermektedir. Bu yüzden bu tez çalışmasında 80 CB, 12 ECB ve 20 NCB türü sistemin fotometri çalışmalarından hesaplanan uzaklıklarıyla *Gaia* DR2' deki uzaklık verilerini Şekil 4.2'de karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.2. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin fotometrik uzaklıklarıyla *Gaia* DR2 trigonometrik paralakslarından hesaplanan uzaklıkların karşılaştırılması

Şekil 4.2(b)'de 250 pc uzaklığına kadar fotometrik ve *Gaia* DR2 uzaklıkları birebir çizgisi yakınında toplanmaktadır ki bu durum yakın sistemlerin fotometrik çalışmalarından hesaplanan uzaklıklarının doğruluğunu göstermektedir. 250 ile 500 pc uzaklıkları arasında değerler farklılaşıyor ki bu durum uzaklık arttıkça fotometrik çalışmalarından hesaplanan uzaklıkların hassasiyetinin azaldığı şeklinde yorumlanabilir. Şekil 4.2a'ya göre 500 pc'ten büyük uzaklıklardaki sistem sayısı sadece üç olduğu için çok fazla bilgi içermemektedir.

Bu bölümde tüm sistemler için bazı temel diyagramlar (log $T-\log L$, log $M-\log R$ ve log $M-\log L$) oluşturulmuş olup bu düzlemlerde birinci ve ikinci bileşenler ve ayrıca her bir sınıf farklı simgelerle gösterilmektedir. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin log $T-\log L$, log $M-\log R$ ve log $M-\log L$ diyagramları Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

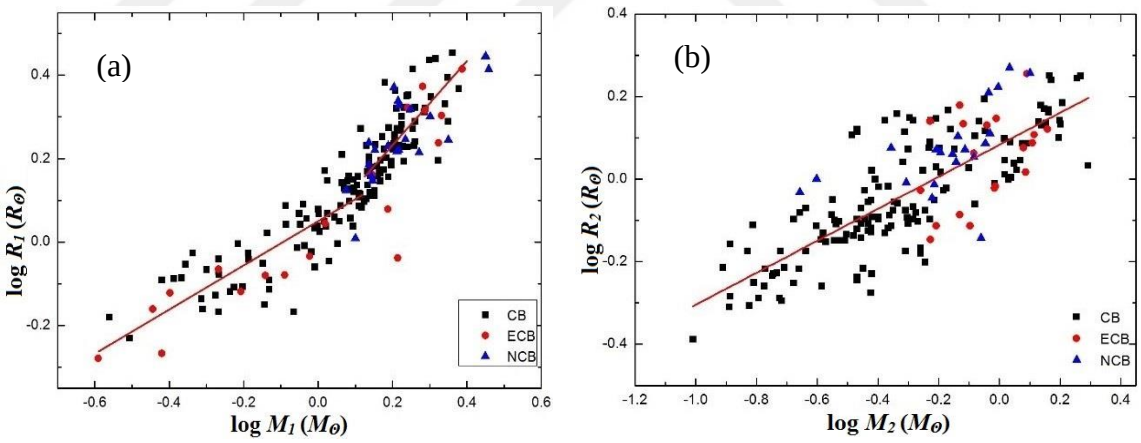


Şekil 4.3. a) CB, ECB ve NCB türü sistemlerin HR diyagramındaki gösterimi: içi dolu kareler CB_1, içi boş kareler CB_2, içi dolu daireler ECB_1, içi boş daireler ECB_2, içi dolu üçgenler NCB_1 ve içi boş üçgenler de NCB_2'yi ifade etmektedir. (Sürekli çizgi ZAMS ve kesikli çizgi de TAMS'ı göstermektedir (Bressan ve ark., 2012) b) Tüm sistemlerin log M–log R ve c) log M−log L düzlemlerinde gösterimi

Bir yıldızın kütlesi evrimini belirleyen en temel parametredir. CB, ECB ve NCB türü sistemlerinin kütleleri 3 $M_\odot$'ten küçük ve genellikle 1 $M_\odot$−1,5 $M_\odot$ arasında değerlere sahiptir. Şekil 4.3'teki log T−log L (a), log M−log R (b) ve log M−log L (c) diyagramlarında CB ve ECB sistemlerinin birinci bileşenlerinin çoğunluğu anakolda iken ikinci bileşenler TAMS civarında veya anakol dışında yer almaktadır. HR diyagramında (log T−log L) (a) CB ve ECB türü sistemlerin ikinci bileşenleri genellikle ZAMS'ın altında veya beklenenden

daha sıcaktır (bunların çoğunluğu W-türü W UMa sistemlerdir). TRO modeline göre değen sistemlerdeki bileşenler, ısısal olarak dengeye gelmemişlerdir (Lucy, 1976; Flannery, 1976; Robertson ve Eggleton, 1977). Değen sistemlerin ikinci bileşenleri zarfın sıcaklığını göstermektedir (Hilditch, 2001). A-türü W UMa sistemlerin ikinci bileşenleri ısısal dengeye doğru genişlerken, W-türü W UMa'ların ikinci bileşenleri ZAMS yarıçapına doğru büzülür ve dolayısıyla bu büzülme sonucu açığa çıkan çekim enerjisinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşürken ikinci bileşenin birinci bileşenden daha sıcak olmasına sağlar. NCB grubu sayısal bakımdan az olsa da evrim geçişlerinde ara sistemler olarak düşünüldüğünden önemli türlerdir. log $T-\log L$ (a), log $M-\log R$ (b) ve log $M-\log L$ (c) diyagramlarında NCB türleri birinci bileşenlerin tamamı anakolda iken ikinci bileşenlerin çoğunluğu TAMS yakınında veya anakol dışında konumlanmıştır.

Örten çift sistemler için kütle ve yarıçap en hassas elde edilen parametrelerdir. Özellikle son yıllardaki duyarlı gözlemler ve gelişmiş analiz yöntemleriyle bu iki temel fiziksel parametreler daha da hassas belirlenmeye başlamıştır. Kütle, ışıtma ve yarıçap ilişkisi (*MLR*), örten çift sistemler için daha duyarlı belirlenmektedir. CB ve ECB türlerinin kütleleri ve yarıçapları dikkate alındığında *MR* ilişkisi elde edilebilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. CB ve ECB yıldızları için M_1-R_1(a) ve M_2-R_2(b) dağılımları. Sürekli çizgi yapılan en iyi doğrusal temsilleri göstermektedir

Şekil 4.4'te *MR* ilişkisini bulmak için elde edilen doğrusal fitler CB ve ECB sistemleri için yapılmıştır. NCB sistemleri doğrusal fitlere dahil edilmemiş olup diyagramlarda sadece noktalanmıştır. Şekil 4.4(a)'da 1,35 $M_\odot$ kütlesine kadar bir doğrusal temsil yapılmış ve 1,35 $M_\odot$ kütlesinden daha büyük değerlerde ayrıca bir doğrusal bağıntıyla temsil edilmiştir. Şekil

4.4(b)'de log M_2−log R_2 diyagramında sadece bir doğrusal fonksiyon ile temsil edilmiştir. Şekil 4.4(a)'daki M_1-R_1 ilişkisi aşağıdaki denklemlerle verilmektedir:

$$0{,}15\ M_\odot < M_1 < 1{,}35\ M_\odot \qquad \log R_1 = 0{,}53(8)\log M_1 + 0{,}05(1) \tag{4.1}$$

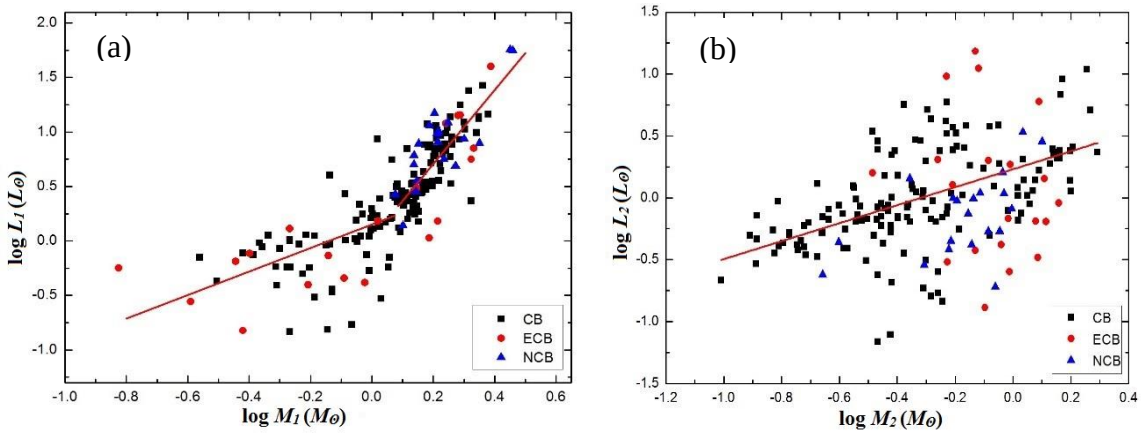
$$1{,}35\ M_\odot < M_1 < 2{,}75\ M_\odot \qquad \log R_1 = 0{,}74(12)\log M_1 + 0{,}07(1) \tag{4.2}$$

Şekil 4.4(b)'deki M_2-R_2 ilişkisi ise:

$$0{,}09\ M_\odot < M_2 < 2\ M_\odot \qquad \log R_2 = 0{,}43(2)\log M_2 + 0{,}09(1) \tag{4.3}$$

doğrusal denklemler ile ifade edilebilir.

Ayrıca yıldızları için önemli olabilecek başka bir ilişki de kütle ve ışınım güçleri ($M-L$) arasında kurulabilir. Bu yüzden çalışılan sistemlerin bileşenlerinin kütleleri ile ışınım güçlerinin ($M-L$) kıyaslanması yapıldı. Yıldızların ışınım güçleri, yarıçapın karesi ve sıcaklığın dördüncü dereceden üssü (R, T) bir fonksiyonuyla temsil edilmektedir ($L=4\pi R^2\sigma T^4$).



Şekil 4.5. CB ve ECB yıldızları için M_1-L_1(a) ve M_2-L_2(b) dağılımları. Sürekli çizgi doğrusal bağıntı uygulanarak yapılan temsilleri göstermektedir

Şekil 4.5(a)'da elde edilen doğrusal temsiller sadece yine CB ve ECB sistemleri için yapılmıştır. NCB sistemleri doğrusal temsillere dahil edilmemiştir. Şekil 4.5(a)'da, Şekil 4.4(a)'dakine benzer bir şekilde 1,35 $M_\odot$ kütlesine kadar bir doğrusal temsil yapılmış ve 1,35

$M_\odot$ kütlesinden daha büyük değerlerde farklı bir doğrusal temsil yapılmıştır. Şekil 4.5(a)'daki gözlemsel dağılımları temsil etmek için belirlenen doğrusal bağıntılar:

$$0{,}15\ M_\odot < M_1 < 1{,}35\ M_\odot \qquad \log L_1 = 1{,}08(25) \log M_1 + 0{,}15(7) \qquad (4.4)$$

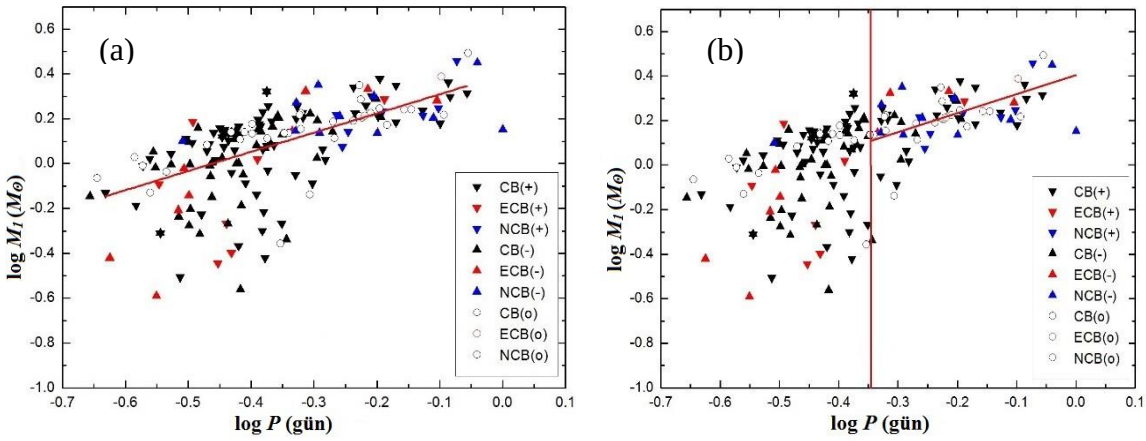
$$1{,}35\ M_\odot < M_1 < 2{,}75\ M_\odot \qquad \log L_1 = 3{,}39(11) \log M_1 + 0{,}03(1) \qquad (4.5)$$

Şeklindedir. Şekil 4.5(b)'de M_2-L_2 ilişkisi ise aşağıdaki bağıntılar ile verilmiştir:

$$0{,}09\ M_\odot < M_2 < 2\ M_\odot \qquad \log L_2 = 0{,}73(9) \log M_2 + 0{,}23(4) \qquad (4.6)$$

CB ve ECB türü tüm sistemlere uygulanan en olası doğrusal temsiller $\log M - \log R$ için Şekil 4.4' te, $\log M - \log L$ için ise Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Diyagramlarda NCB türü sistemler doğrusal temsile dahil edilmemiş olup sadece noktalanmıştır. *MLR* ilişkisi, sayı ve duyarlılık arttıkça, değişmektedir. Bu çalışmada özellikle birinci bileşenler için farklı kütle aralıklarına göre *MLR* ilişkisi elde edilmiştir. Bunun yanında literatürde son olarak tamamı anakol yıldızı olan 509 ayrık çift sistem bileşenleri için farklı kütle aralıklarında *MLR* ilişkisi Eker ve ark. (2018) tarafından belirlenmiştir. Yakın çift yıldızlarda yakınlık etkilerinden dolayı; kütle ve açısal momentum aktarımı, kütle aktarımı ve kaybı, manyetik etkinlik ve enerji aktarımı olduğundan DB türü sistemlere göre elde edilen *MLR*'den farklılık göstermektedir.

Örten bir çift yıldız sistemi için yörünge dönemi (P) çok hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Sistemin yörünge dönemi bilinirse, dönemden sistemin birinci bileşenin kütlesine (M_1) ulaşabilir mi? sorusuna cevap arandı ve P ile M_1 arasındaki ilişki incelendi. Bu çalışmada 144 CB sistemi ve 20 ECB sistemi için; $\log M_1 - \log P$ dağılımı Şekil 4.6'da gösterildiği üzere, doğrusal bir fonksiyon ile temsil edildi (CB, ECB ve NCB sistemleri farklı semboller ile temsil edilmiş olup, doğrusal fonksiyon CB ve ECB sistemlerini temsil etmekte olup NCB sistemleri grafikte sadece noktalanmıştır).



Şekil 4.6. CB ve ECB türü sistemler için dönem−kütle ilişkisi

Şekil 4.6'da sistemlerin yörünge dönemleri 0,45 gün ve kütleleri 1 $M_\odot$ değerini geçtikten sonra dağılımda saçılmanın azaldığı görülüyor. Şekil 4.6(a)'da bütün sistemler bağıntı (4.7) ile temsil edilmektedir. Şekil 4.6(b)'de ise yörünge dönemleri 0,45 gün ve kütleleri 1 $M_\odot$'ten büyük sistemlerin temsili için bağıntı (4.8) kullanılmıştır.

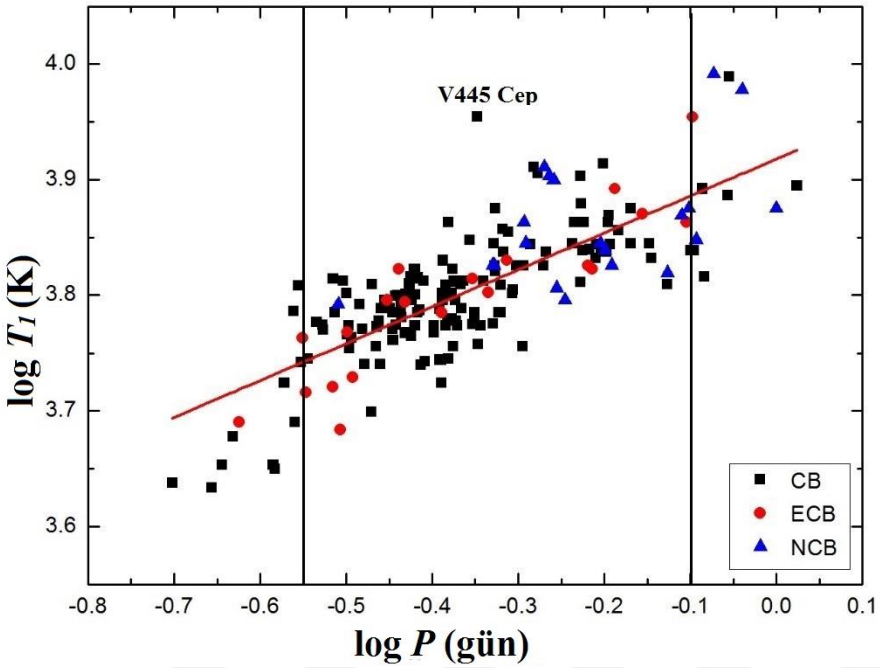
$$\log M_1 = 0{,}85(16) \log P + 0{,}39(6) \tag{4.7}$$

$$\log M_1 = 0{,}86(8) \log P + 0{,}41(5) \tag{4.8}$$

Gazeas ve Stepien (2008), 112 CB için sistemlerin birinci bileşenin kütlesi ile yörünge dönemi arasındaki ilişkiyi log M_1= 0,755(59) log P+0,416(24) şeklinde vermişlerdir. Bu temsilde hatalar çok küçük değerlerde elde edilmiş olup bunun nedeni çalışmada kullanılan küçük kütleli sistem sayısının az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ise 164 sistem kullanıldı ve bu sistemler arasında küçük kütleli olanların sayısı oldukça fazla olup 1 $M_\odot$ kütlesinden küçük kütleli sistemlerde dağılımın çok iyi olmadığı açık bir şekilde görülmektedir.

Deb ve Singh (2011) tarafından 62 sistemin birinci bileşenin kütlesiyle dönem ilişkisi incelenmiş olup dağılım log M_1= 0,755(59) log P+0,416(24) denklemi ile temsil edilmiştir. Bu temsilde de hatalar çok küçük değerlerde elde edilmiştir. Bunun nedeni Gazeas ve Stepien (2008) çalışmasında olduğu gibi kullanılan küçük kütleli sistemin ve toplam sistem sayısının az olmasıdır.

Ayrıca bu çalışmada yörünge dönemi (P) ile birinci bileşenin sıcaklık (T_1) ilişkisi de incelenmiştir. Birinci bileşenin sıcaklığı iyi bilinen 153 CB türü ve 20 ECB türü sistem için bu ilişki incelenmiş olup Şekil 4.7'de gösterilmektedir.



Şekil 4.7. 153 CB ve 20 ECB türü sistemin dönem−sıcaklık ilişkisi

Şekil 4.7 incelediğinde yörünge dönemi ile sıcaklık arasında bir ilşki olduğu göze çarpmaktadır. Bu ilişki doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiş olup eşitlik (4.9) ile verilmektedir. Yörünge dönemi 0,28 (log P=−0,55) gün ile 0,79 (log P=−0,1) gün araında iyi bir temsil olarak görülmektedir (V445 Cep, kısa dönemli aşırı değen erken tayf türünden CB türü sistem hariç). Şekil 4.7'de 20 NCB türü sistem sadece noktalanmış olup doğrusal temsile dahil edilmemiştir.

$$\log T_1 = 0{,}32(6) \log P + 3{,}9(1) \qquad (4.9)$$

4.2. ECB Türü Sistemlerin Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Eş-Zamanlı Analizleri

Bu çalışma kapsamında, yakın çift yıldız sistemleri için koordinat, fotometrik, tayfsal ve temel fiziksel parametrelerden oluşmuş veri tabanları hazırlamak önemlidir. Bu yüzden ışık eğrileri güncellemeye ihtiyaç duyulan (ışık eğrisi eski veya ışık eğrisinde değişim ihtimali olan) sistemlerin gözlemleri, ÇOMÜG'te bir sistemin (CN And) ve TUG'ta iki sistemin (GZ And ve LS Del) gözlemleri yapıldı. Bu gözlemler ile ilişkin bilgiler Çizelge

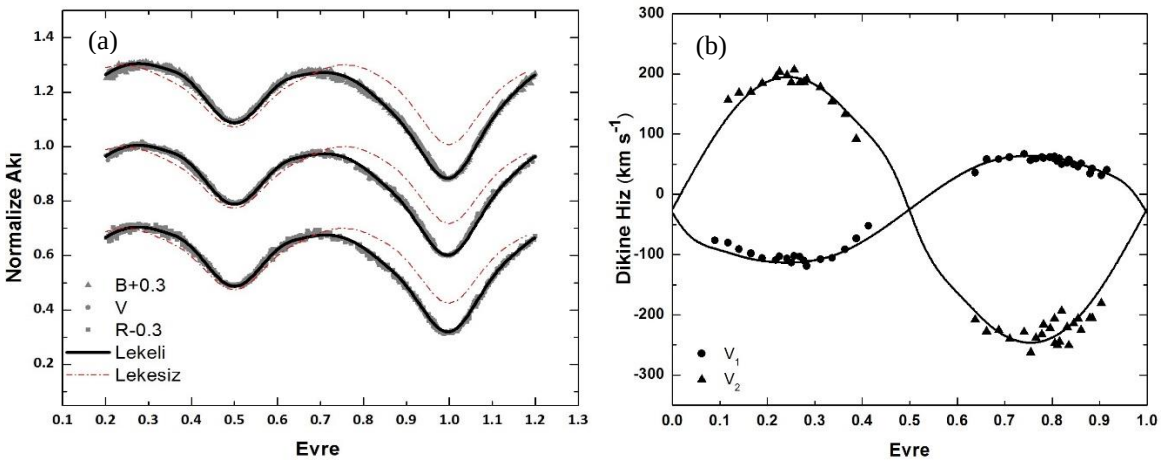
3.1'de verilmektedir. Sistemlerin ışık eğrileri analizleri WD yöntemiyle yapılmış olup, sistemler ilk, ayrık olarak düşünüldü ve WD çözümlerimde MOD2 seçildi. Çözümlerin sonucunda potansiyel değerlerinin, kütle oranıyla birlikte değerlendirildiğinde, sistemlerin bileşenlerinin Roche loblarını doldurmuş olduğu görüldü ve değen sistem çözümleri için gerekli olan MOD3 seçildi. WD çözümünde serbest bırakılan paremetre değerlerinin düzeltmeleri hatalardan büyük olana kadar analizlere devam edildi. Sonuç olarak, ışık ve dikine hız eğrileri CN And GZ And ve LS Del sistemleri için eş zamanlı analize alınarak sistemlerin kütle, yarıçap gibi temel fiziksel parametreleri yeniden belirlendi.

4.2.1. CN And

Bu çalışmada CN And'ın fotometrik gözlemleri ÇOMÜG'te, T30 (30 cm çaplı, Meade LX200 Schmidt-Cassegrain tipi teleskop, 3048 mm, *f*/10) teleskobu ve Apogee Alta U47 CCD + Bessel *BVR* ile yapıldı. Sistemin 2017 yılının Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında toplam sekiz gece gözlem yapılarak *BVR* filtrelerinde ışık eğrisi elde edilmiş olup ve ayrıca 2013 yılında yapılan gözlemlerle beraber toplam onbir minimum zaman elde edilmiştir (bakınız Çizelge 2.2). Bu çalışmada, CN And sistemi için elde edilen ışık eğrileri, Rucinski ve ark. (2000) tarafından elde edilen dikine hız verileriyle eş zamanlı olarak çözülmüştür. Birinci bileşenin sıcaklığı olarak, sistem için yıldızlararası kızarmadan arındırılmış $B-V$ renk indeksi (APASS veri tabanından alınarak) 0,47 kadir olarak hesaplanarak buna karşılık F6V tayf sınıflaması (Cox, 2000) dikkate alınmış ve 6350 K değeri kullanılmıştır. Analiz sırasında birinci bileşenin yüzeyi soğuk, ikinci bileşenin yüzeyi sıcak bir leke modeli uygulanmıştır. Fotometrik gözlemlerden elde edilen ışık eğrilerinin analizleri için iyi bilinen ve yaygın kullanılan Wilson ve Devinney (1971) yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada, öncelikle ayrık sistemler için geçerli MOD2 uygulanmış ancak her iki bileşenin de yüzey potansiyel değerleri kritik sınıra ulaştığından çözüm MOD3 ile sonlandırılmıştır. Sonuçlar, literatürde yer alan çalışmaların sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir. Sistemin temel fiziksel parametreleri ve literatür ile kıyaslanması Çizelge 4.3'te verilmiştir. Gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri Şekil 4.8(a,b)'de verilmiş olup, yıldızın dikine hız eğrilerinin kuramsal eğriler ile uyumu da gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. CN And sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçlarıyla daha önceki çalışmaların karşılaştırılması

Parametre	Van Hamme ve ark. (2001) (*UBV*)	Çiçek ve ark.(2005) (*BVR*)	Lee ve Lee (2006) (*BVRI*)	Siwak ve ark.(2010) (*BVRI*)	Bu Çalışma (*BVR*)
T_0 (HJD)	2450698,9430	2452185,4226	2446711,5318	2452500,12040	2458000,3841
P (gün)	0,46279520	0,46278845	0,46279252	0,46279081	0,46278940
i (º)	68,510 (170)	68,020 (150)	69,900 (100)	69,416(92)	67,802 (145)
T_1 (K)	6500	6500	6500	6450	6350
T_2 (K)	5922 (24)	5947 (12)	5890 (4)	4726(34)	5732 (25)
$\Omega_1 = \Omega_2$	2,655 (4)	2,667 (6)	2,658 (2)	2,6403(12)	2,651 (3)
q	0,389 (2)	0,394 (2)	0,390 (1)	0,385(5)	0,387 (4)
a (R_O)	3,066 (3)5	3,16 (2)	3,00 (1)	3,163(22)	3,14 (1)
V_γ (km s^{-1})	-24,2 (1)	-25,89 (66)	-22,3 (9)	-23,47(63)	-25,53 (35)
$A_1 = A_2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$g_1 = g_2$	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
$L_1/(L_1+L_2)_B$	0,809 (6)	0,798 (2)	0,814 (3)	0,927(2)	0,808 (4)
$L_1/(L_1+L_2)_V$	0,786 (6)	0,778 (3)	0,789 (3)	0,912(2)	0,796 (5)
$L_1/(L_1+L_2)_R$	-	0,765 (2)	0,774 (2)	0,897(1)	0,782 (5)
$L_1/(L_1+L_2)_I$	-	-	-	0,827(1)	-
$L_2/(L_1+L_2)_B$	0,191	0,202	0,186	0,073(3)	0,192
$L_2/(L_1+L_2)_V$	0,214	0,222	0,211	0,088(4)	0,204
$L_2/(L_1+L_2)_R$	-	0,235	0,226	0,103(4)	0,218
$L_2/(L_1+L_2)_I$	-	-	-	0,127(4)	-
r_1 (pole)	0,435 (1)	-	-	-	0,4347 (2)
r_1 (side)	0,465 (1)	-	-	-	0,4642 (3)
r_1 (back)	0,491 (1)	-	-		0,4909 (3)
r_2 (pole)	0,279 (1)	-	-	-	0,2806 (2)
r_2 (side)	0,291 (2)	-	-	-	0,2925 (2)
r_2 (back)	0,323 (2)	-	-	-	0,3252 (4)
Doldurma oranı(%)	99	99	99	-	100
f (%)				3	0
Leke Parametreleri		Birinci bileşen			
θ (derece)	22,3 (2,4)	22,6 (4,5)	19,8 (2,0)	-	22(3)
ϕ (derece)	16,9 (2,0)	17,5 (3,5)	11,5 (2,0)	-	15(3)
r (derece)	32,9 (2,0)	32,1 (6,4)	34,9 (1,0)	-	35(1)
$T_f = T_d/T_s$	0,650	0,650	0,650	-	0,650
Leke Parametreleri		İkinci bileşen			
θ (derece)	84 (5)	83,1 (2,0)	87,5 (2,0)	90	80(2)
ϕ (derece)	1,1 (2,0)	1,3 (3,0)	3,6 (2,3)	11,49(36)	1(2)
r (derece)	19,5 (1,8)	20,1 (4,0)	23,3 (2,1)	113,9(1,9)	30(4)
$T_f = T_d/T_s$	1,104 (13)	1,093 (22)	1,092 (14)	1,2138(72)	1,100(20)



Şekil 4.8. (a): CN And sisteminin *BVR* filtrelerindeki ışık eğrileriyle eş-zamanlı çözümden elde edilen parametreler ile oluşturulan kuramsal eğrilerin uyumu. Analiz sonucu elde edilen kuramsal eğriler sürekli çizgiyle gösterilmektedir (b): CN And sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri

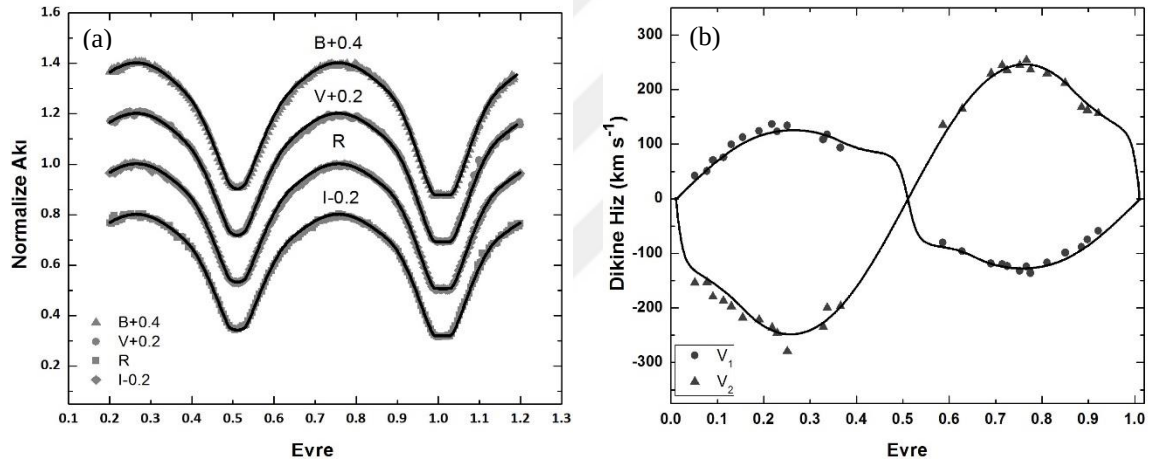
Çizelge 4.3. CN And örten çift sisteminin temel fiziksel parametreleri ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması

Parametre	van Hamme ve ark.(2001)	Çiçek ve ark.(2005)	Siwak ve ark.(2010)	Bu Çalışma
$M_1\,(M_\odot)$	1,30(5)	1,42(3)	1,433(30)	1,40(2)
$M_2\,(M_\odot)$	0,51(2)	0,56(2)	0,552(20)	0,55(1)
$R_1\,(R_\odot)$	1,43(2)	1,48(1)	1,48(3)	1,45(2)
$R_2\,(R_\odot)$	0,92(1)	0,94(1)	0,95	0,94(2)
log g_1 (cgs)	4,24	4,25(1)	---	4,26(1)
log g_2 (cgs)	4,22	4,24(1)	---	4,23(2)
$M_{bol.1}$ (kadir)	3^m,46	3^m,38(2)	---	3^m,49(2)
$M_{bol.2}$ (kadir)	4^m,83	4^m,75(4)	---	4^m,91(4)
$L_1\,(L_\odot)$	---	3,52(7)	3,40	3,41(9)
$L_2\,(L_\odot)$	---	0,998(34)	0,40	0,929(42)
E (B-V)(kadir)	---	---	---	0,067(12)
$d_{fotometri}$ (pc)	---	210(15)	---	181(13)
d_{Gaia} (pc)				202(2)

4.2.2. GZ And

Bu çalışmada sistemin fotometrik gözlemleri, TUG'da T100 (100 cm çaplı ACE RC1.0 teleskobu, *f*/10) teleskobuyla *BVRI* filtreleri kullanılarak yapıldı. 2017 yılının Kasım ayında toplam iki gece gözlem yapılarak *BVRI* filtrelerinde ışık eğrisi elde edilmiş olup ve

bu gözlemlerden iki minimum zaman elde edilmiştir (bakınız Çizelge 3.2). Aynı zamanda SuperWASP veri tabanındaki ışık eğrilerinden yedi minimum zamanı hesaplanmıştır (bakınız Ek Çizelge 1). Bu çalışmada, GZ And sistemi için elde edilen fotometrik veriler, Lu ve Rucinski (1999) tarafından elde edilen dikine hız verileriyle eş zamanlı olarak çözülmüştür. Birinci bileşenin sıcaklığı için, $B-V$ renk indeksi (APASS veri tabanından alınarak) 0,76 kadir olarak hesaplandı ve G9V tayf sınıflaması (Cox, 2000) dikkate alınarak 5260 K değeri kullanılmıştır. CN And sistemindeki yöntem takip edilmiş ve MOD3 kullanılarak analiz yapılmıştır. Sonuçlar, literatürde yer alan çalışmalar ile birlikte Çizelge 4.4'te verilmiştir. Gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri Şekil 4.9(a)'da verilmiş olup, Şekil 4.9(b)'de ise yıldızın dikine hız eğrilerinin kuramsal eğriler ile uyumu gösterilmiştir. Sistemin temel fiziksel parametreleri ve literatür ile kıyaslanması Çizelge 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.9. (a): GZ And sisteminin *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrileri. Açıklama Şekil 4.9 ile aynıdır. (b): GZ And sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri

Çizelge 4.4. GZ And sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları ile daha önceki çalışmaların karşılaştırılması

Parametre	Yang ve Liu (2003) (*BV*)	Baran ve ark. (2004) (*VRI*)	Bu Çalışma (*BVRI*)
T_0 (HJD)	2452229,2661(3)	2445985,8550	2451384,5198(5)
P (gün)	0,30501269(9)	0,30500298	0,305016082(9)
i (º)	85,86(20)	87(1)	88,14 (1,15)
T_1 (K)	5021(3)	6500	5260
T_2 (K)	5260	5810(25)	5023(20)
$\Omega_1 = \Omega_2$	2,8876(16)	5,011(12)	5,162 (1)
q	0,5105(7)	1,880	1,96 (2)
a (R_O)	---	---	2,33 (4)
V_γ (km s^{-1})	---	---	-0,93(5)
$A_1 = A_2$	0,5	0,5	0,5
$g_1 = g_2$	0,32	0,32	0,32
$L_1/(L_1+L_2)_B$	0,5754(7)	---	0,413 (4)
$L_1/(L_1+L_2)_V$	0,5913(6)	0,428(5)	0,405(5)
$L_1/(L_1+L_2)_R$	---	0,418(4)	0,396 (5)
$L_1/(L_1+L_2)_I$	---	0,406(3)	0,389(3)
$L_2/(L_1+L_2)_B$	---	---	0,587
$L_2/(L_1+L_2)_V$	---	0,572	0,595
$L_2/(L_1+L_2)_R$	---	0,582	0,603
$L_2/(L_1+L_2)_I$	---	0,594	0,611
r_1 (pole)	0,4186(3)	0,3108(11)	0,3042 (2)
r_1 (side)	0,4458(3)	0,3255(13)	0,3179 (3)
r_1 (back)	0,4764(5)	0,3619(21)	0,3522 (3)
r_2 (pole)	0,3077(3)	0,4150(11)	0,4153 (2)
r_2 (side)	0,3222(3)	0,4415(14)	0,4415(2)
r_2 (back)	0,3588(5)	0,4722(18)	0,4707 (4)
f (%)	2,7	8	6

Çizelge 4.5. GZ And örten çift sisteminin analizleri sonucunda bulunan temel fiziksel parametreler ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması

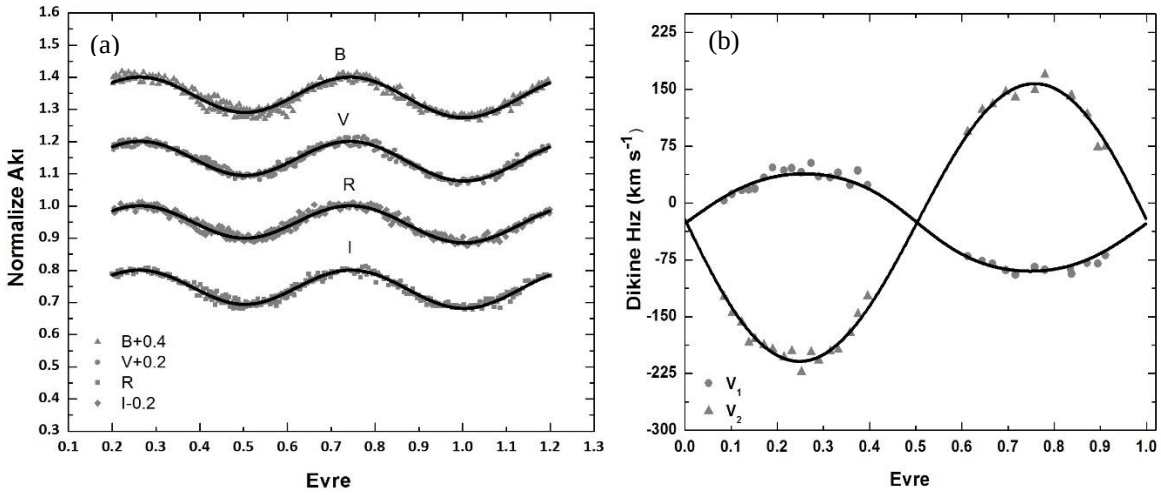
Parametre	Yang ve Liu (2003)	Baran ve ark. (2004)	Bu Çalışma
$M_1\,(M_\odot)$	1,25(4)	0,593(15)	0,62(3)
$M_2\,(M_\odot)$	0,65(1)	1,115(18)	1,22(2)
$R_1\,(R_\odot)$	1,06(1)	0,741(7)	0,76(2)
$R_2\,(R_\odot)$	0,78(1)	1,005(9)	1,04(1)
log g_1 (cgs)	---	---	4,47(1)
log g_2 (cgs)	---	---	4,49(2)
$M_{bol.1}$ (kadir)	---	---	5^m,78(2)
$M_{bol.2}$ (kadir)	---	---	5^m,32(4)
$L_1\,(L_\odot)$	0,63(5)	---	0,33(7)
$L_2\,(L_\odot)$	0,41(3)	---	0,74(4)
$E(B\text{-}V)$ (kadir)	---	---	0,095(22)
$d_{fotometri}$ (pc)	---	---	136(10)
d_{Gaia} (pc)			168(2)

4.2.3. LS Del

Bu çalışmada LS Del sisteminin fotometrik gözlemleri, GZ And sisteminde olduğu gibi TUG T100 teleskobuyla yapıldı. 2017 yılında toplam dört gece gözlem yapılarak *BVRI* filtrelerinde ışık eğrisi elde edilmiş olup ve bu gözlemlerden iki minimum zaman elde edilmiştir (bakınız Çizelge 3.2'de verilmiştir). Bu çalışmada, LS Del sistemi için elde edilen fotometrik veriler, Lu ve Rucinski (1999) tarafından elde edilen dikine hız verileriyle eş zamanlı olarak çözülmüştür. Birinci bileşenin sıcaklığı için, $B-V$ renk indeksi (APASS veri tabanından alınarak) 0,44 kadir olarak hesaplandı ve F5V tayf sınıflaması (Cox, 2000) dikkate alınarak 6650 K değeri sabit olarak kullanıldı. CN And sistemindeki yöntem izlenerek analiz MOD3 ile gerçekleştirildi. Sonuçlar, literatürde yer alan çalışmaların sonuçlarıyla birlikte Çizelge 4.6'da listelendi ve aynı zamanda sistemin temel fiziksel parametreleri ve literatür ile kıyaslanması Çizelge 4.7'de verildi. Gözlemsel ve kuramsal ışık eğrileri Şekil 4.10(a)'da verilmiş olup yıldızın dikine hız eğrilerinin kuramsal eğriler ile uyumu da Şekil 4.10(b)'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. LS Del sisteminin ışık eğrisi analiz sonuçları ile daha önceki çalışmaların karşılaştırılması

Parametre	Deb ve Singh (2011),(*V*)	Bu Çalışma (*BVRI*)
T_0 (HJD)	-	2458000,3841(2)
P (gün)	-	0,363380(5)
i (º)	45,25 (2,45)	45,6 (2)
T_1 (K)	6250	6650
T_2 (K)	6192 (168)	5735 (155)
$\Omega_1 = \Omega_2$	6,051 (80)	6,03 (15)
q	0,375 (10)	0,38 (1)
a ($R_\odot$)	2,573 (112)	2,62 (5)
V_γ (km s^{-1})	-	-25,9 (4)
$A_1 = A_2$	0,5	0,5
$g_1 = g_2$	0,32	0,32
$L_1/(L_1+L_2)_B$	-	0,419 (9)
$L_1/(L_1+L_2)_V$	-	0,436 (8)
$L_1/(L_1+L_2)_R$	-	0,405 (9)
$L_1/(L_1+L_2)_I$	-	0,401(9)
$L_2/(L_1+L_2)_B$	-	0,583
$L_2/(L_1+L_2)_V$	-	0,564
$L_2/(L_1+L_2)_R$	-	0,592
$L_2/(L_1+L_2)_I$	-	0,599
r_1 (pole)	-	0,2841 (2)
r_1 (side)	-	0,2968 (3)
r_1 (back)	-	0,3330 (3)
r_2 (pole)	-	0,4408 (2)
r_2 (side)	-	0,4721 (2)
r_2 (back)	-	0,5004 (4)
f (%)	9	8



Şekil 4.10. (a): LS Del sisteminin *BVRI* filtrelerindeki ışık eğrileri. Açıklama Şekil 3.8 ile aynıdır. (b): LS Del sistemini bileşenlerinin gözlemsel ve kuramsal dikine hız eğrileri

Çizelge 4.7. LS Del örten çift sisteminin analizleri sonucunda bulunan temel astrofiziksel parametreler ve literatürdeki çalışmalar ile kıyaslanması

Parametre	Deb ve Singh (2011)	Bu Çalışma
$M_1\,(M_\odot)$	0,470(138)	0,55(1)
$M_2\,(M_\odot)$	1,253(401)	1,43(2)
$R_1\,(R_\odot)$	0,792(42)	0,82(1)
$R_2\,(R_\odot)$	1,230(58)	1,26(2)
log g_1 (cgs)	-	4,35(1)
log g_2 (cgs)	-	4,39(2)
$M_{bol,1}$ (kadir)	-	4^m,6(2)
$M_{bol,2}$ (kadir)	-	4^m,3(2)
$L_1\,(L_\odot)$	0,933(206)	1,16(9)
$L_2\,(L_\odot)$	1,992(403)	1,55(5)
E (B-V) (kadir)	-	0,12(2)
$d_{fotometri}$ (pc)	-	98(7)
d_{Gaia} (pc)		100(1)

4.3. Çalışılan Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimlerinin İncelenmesi

Değme sınırı civarında olan NCB ve ECB türü sistemlerden seçilecek olanların gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi'nde ve TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi'nde gerçekleştirildi. Ayrıca, dönem değişim analizleri için, gözlemlerden elde edilen minimum zamanları dışında literatürden toplanan minimum zamanlarıyla birlikte aynı zamanda (SuperWASP, ASAS vb.) veri arşivlerinden de minimum zamanlar okundu ve tüm

veri analize hazır hale getirildi. Yörünge dönem değişimleri de yakın çift sistemlerin evrimlerinin anlaşılmasında önemlidir. Bu kapsamda, ECB ve NCB türü sistemlerin, derlenen tüm minimum zamanları kullanılarak dönem değişimlerinin analizleri, $O-C$ yöntemiyle gerçekleştirildi. Bu tez çalışmasında 20 ECB ve 20 NCB türü sistemin yörünge dönem değişimi gösterip göstermediği $O-C$ diyagramlarında incelendi. ECB türü sistemlerden değişim gösteren 15 sistemin yörünge dönem analizleri yapılmıştır. NCB türü sistemlerden ise değişim gösteren 18 sistemin analizi yapıldı. ECB'lerden beşinin ve NCB'lerden ise ikisinin ya verilerine ulaşılamadı ya da değişim görünmediği için yörünge dönem analiz çalışması yapılmadı. Seçilen sistemlerin yörünge dönem analizleri, Zasche ve ark. (2008) tarafından yazılan MATLAB altındaki kodlar yardımıyla yapılmıştır.

4.3.1. ECB Türü Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimleri

4.3.1.1. Dönemi Azalan ECB Türü Sistemler

Dönem analizi yapılması için seçilen CN And, TW Cet, BX And, RW Com, PY Vir ve V1073 Cyg sistemlerinin yörünge dönem analizleri için oluşturulan $O-C$ grafiklerinde, ilk olarak azalan parabolik değişim göze çarpmaktadır. Bundan dolayı, sistemlerin $O-C$ verilerine önce (3.1) bağıntısı uygulandı. Her bir sistem için, parabolik kuramsal eğriden gözlemsel eğri verilerinin farkları alındığında ortaya çıkan sinüs benzeri değişim açık bir şekilde görülmüştür. Bu nedenle, sistemlerin $O-C$ değişimlerinde hem parabolik hem de sinüs benzeri değişimler olduğu dikate alınmıştır. Literatürde çevrimsel dönem değişimlerinin kaynağı için genllikle iki mekanizma önerilir. Bunlar sırasıyla, sistemde olası üçüncü bir cismin varlığı ve aktif bileşen veya bileşenler varsa bunların yüzey manyetik etkinliği olabilir. Her bir sistem için, öncelikle çevrimsel dönem değişim nedeni hangi mekanizmadan kayanaklanmış olabileceğine bakılmaksızın, olası üçüncü cismin parametreleri ve manyetik aktivite parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9). Bu hesaplamalarda kullanılan sistemlerin kütleleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

İlk olarak üçüncü cisim olasılığı göz önünde bulundurularak $O-C$ değişimlerine parabolik ve LITE terimleri kullanılarak (3.1) ve (3.5) eşitlikleri birleştirilmiş olup sistemler için belirlenen parametreler hatalarıyla birlikte Çizelge 4.8'de verilmektedir. Çizelge 4.8'de olası üçüncü cisimlerin bazı yörünge parametreleriyle minimum kütle değerleri de verildi. Sistemlerin yörünge dönemlerinin azalmasının nedeni olarak, bileşenler arası kütle aktarımı ya da bileşenlerden en az biri geri tayf türünde ise manyetik frenlemeden dolayı sistemlerin kaybedeceği açısal momentum kaybı da dönem azalmasına sebep olabilir. Korunumlu kütle varsayımı altında bağıntı (3.3) kullanılarak, kütle aktarım oranları hesaplanmış ve Çizelge

4.8'de verilmiştir. Bu çizelgede her bir sistemin, dönem azalması korunumlu kütle varsayımıyla, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru, kütle aktarım oranı ve sistemlerin yörünge dönem azalma oranları hesaplanmıştır.

İkinci olarak ise; bileşenlerden biri veya her ikisi soğuk ve dış kısımlar konvektif zarfa sahipse, aktif bileşenlerin gösterecekleri manyetik çevrim de çevrimsel dönem değişimine sebep olabilir (sistemlerin tayf türleri Çizelge 2.1'de listelenmiştir). Bu yüzden, parabolik terim ile birlikte çevrimsel değişimler Applegate (1992), modeliyle açıklamak için $O-C$ verilerine (3.6) bağıntısı uygulandı ve bulunan Applegate parametreleri Çizelge 4.9'da listelendi.

Çizelge 4.9 incelendiğinde, TW Cet, BX And ve V1073 Cyg sistemlerinin modulasyon dönemleri büyük değerlerde ve literatürde bu kadar büyük bir döneme sahip herhangi bir çalışma olmadığı için bu sistemler için hesaplanan Applegate parametreleri tartışılmamıştır (literatürde genellikle 40-50 yılı geçen çalışma yoktur). Aynı çizelgede PY Vir sisteminin modulasyon dönemi beş yıl ve sistemin her iki bileşeni de (Çizelge 2.1) geri tayf türünden olmasına rağmen, Rucinski ve ark. (2008) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında, üçüncü bileşen belirlenmiştir. Ayrıca bileşenlerin kuadrupol momentini (yıldızın kuadrupol momentinde değişimler dönme-dolanma kilitlenmesi nedeniyle yörünge dönemine aktarılır) hesaplamak için $\Delta P/P=-9\Delta Q/Ma^2$ eşitliği Lanza ve Rondo (2002) tarafından önerilmiştir. Yakın çift sistemler için bu değerin yaklaşık $10^{51}-10^{52}$ g cm^2 aralığında olması gerektiği Lanza ve Rondo (1999) tarafından ifade edilmiştir. Geri tayf türünden soğuk olan bu tür bileşenlerin yörünge dönem modulasyonlarını, Applegate (1992) modeli ile açıklamanın yeterli olamayacağı Lanza (2006) tarafından belirtilmiştir. Aktif bileşen olma olasılığı olan bileşenler için Lanza ve Rondo (2002) eşitliği, PY Vir sistemine uygulanmış olup kuadrupol momenti değeri yaklaşık 10^{50} g cm^2 olarak hesaplanmış ve bu değer Lanza ve Rondo (1999) tarafından önerilen aralıktan uzaktır. TW Cet sistem için olası üçüncü cismin minimum 0.088 $M_\odot$ olarak hesaplanmıştır. Eğer böyle bir bileşen varsa M tayf türünden daha geç kahverengi bir cüce yıldız olabilir.

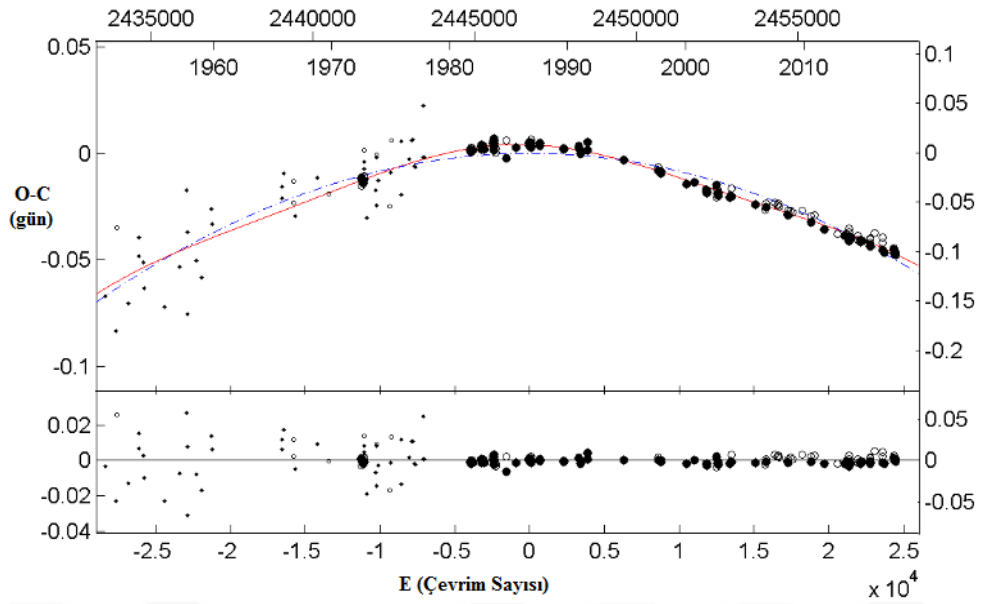
CN And ve RW Com sistemlerinin bileşenleri soğuk ve konvektif zarfa sahiptir (Çizelge 2.1). Ayrıca her iki sistem için, bugüne kadar herhangi bir ışık eğrisi analiz çalışmasında da üçüncü cismin yaptığı ışık katkısına rastlanılmamıştır. Çizelge 4.8 incelendiğinde, CN And sisteminin önerilen üçüncü cisimin kütlesi oldukça küçük olup böyle bir bileşenin belirlenmesi oldukça güçtür. Çizelge 4.9 incelendiğinde, CN And ve RW Com sistemlerinin modulasyon dönemleri sırasıyla 38 ve 36 yıl olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8. Dönemi azalan ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları

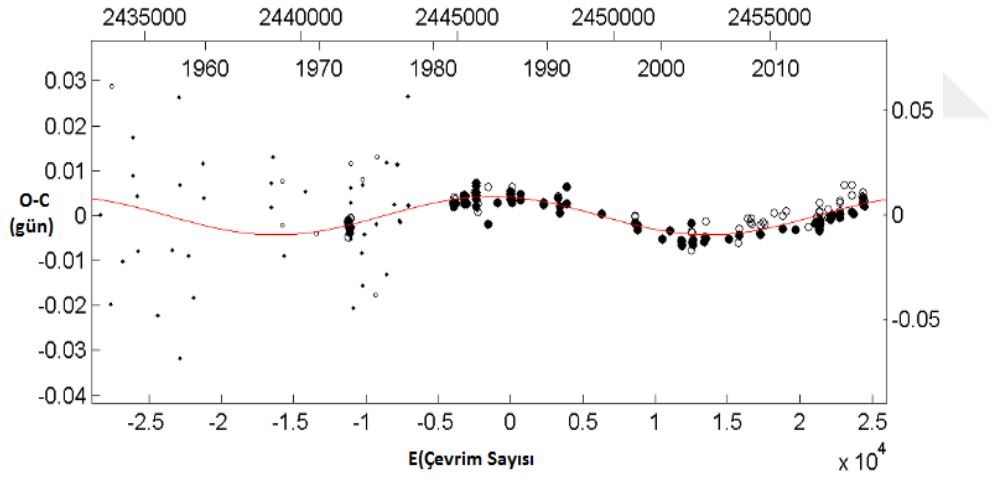
Parametreler	CN And	TW Cet	BX And	RW Com	PY Vir	V1073 Cyg
T_o (HJD+2400000)	58000,3841(5)	52500,2675(22)	39028,4529(5)	19680,1391(5)	55987,8920(9)	38672,5732 (8)
P_{orb} (gün)	0,46278940(4)	0,3168516(2)	0,6101123(4)	0,2373469(1)	0,3112479(1)	0,78585553 (1)
Q (gün)	$-9{,}60(3)\times10^{-11}$	$-5{,}63(20)\times10^{-12}$	$-6{,}8(4)\times10^{-11}$	$-3{,}9\ (7)\times10^{-12}$	$-2{,}8\ (1)\times10^{-11}$	$-5{,}4\ (1)\times10^{-11}$
dP/dt (s/yüzyıl)	-1,30	-0,11	-0,7	-0,11	-0,56	-0,43
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$-9{,}9\times10^{-8}$	$3{,}93\times10^{-8}$	$-7{,}9\times10^{-8}$	$1{,}22\times10^{-8}$	$-2{,}4\times10^{-7}$	$-1{,}82\times10^{-8}$
$a_{12}\sin i$ (AB)	0,72(5)	1,24(25)	7,6(4)	3,2(2)	0,99(7)	5,6 (3)
e	0,0	0,0	0,5(1)	0,14(3)	0,0	0,0
ω (deg)	90	90	150(22)	90(5)	90	90
A_3	0,0043(2)	0,009(1)	0,04(1)	0,018(1)	0,006(1)	0,032(7)
T' (HJD+2400000)	54579(658)	51866(540)	34137(453)	54999(433)	51172(326)	36707 (592)
P_{12} (yıl)	38(4)	107,1(1,2)	104(10)	36(1)	5(1)	95 (10)
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0,00025(5)	0,00017(8)	0,041(3)	0,025(1)	0,036(4)	0,019 (1)
m_3 ($M_\odot$) (i=90 için)	0,10	0,088	0,87	0,4	0,56	0,5

Çizelge 4.9. Dönemi azalan ECB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler

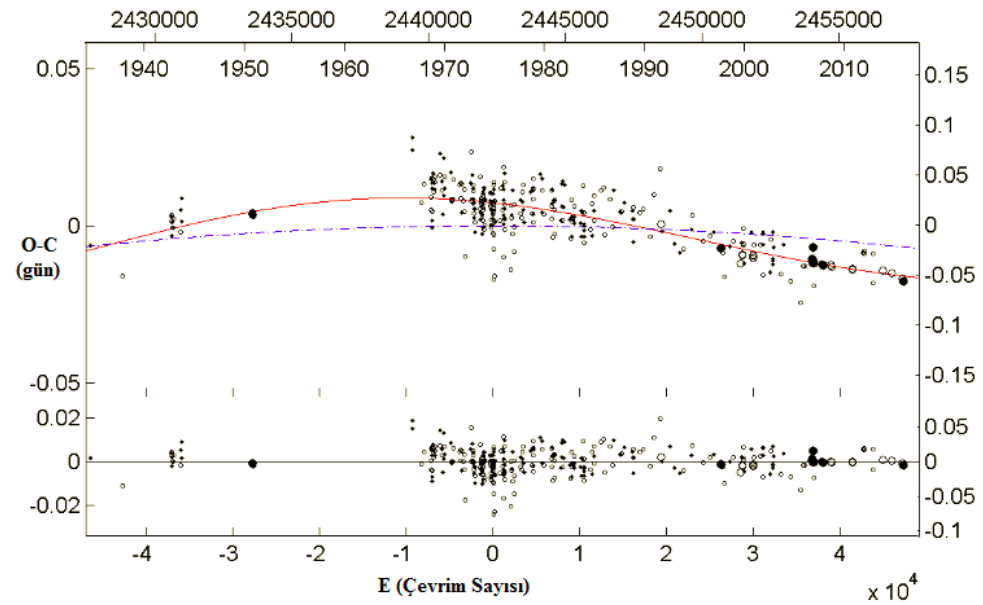
Parametreler	CN And	TW Cet	BX And	RW Com	PY Vir	V1073 Cyg
P_{mod} (yıl)	38	107	104	36	5	95
$\Delta P/P$	$3{,}89\times10^{-6}$	$2{,}9\times10^{-6}$	$1{,}3\times10^{-5}$	$1{,}7\times10^{-5}$	$4{,}1\times10^{-5}$	$1{,}2\times10^{-5}$
ΔJ (erg s^{-1})	$-1{,}9\times10^{47}$	$-7{,}8\times10^{46}$	-1×10^{48}	$-1{,}6\times10^{47}$	$-1{,}3\times10^{48}$	$-8{,}2\times10^{47}$
$\Delta\Omega/\Omega$	0,001	0,0008	0,004	0,003	0,011	0,002
ΔE (erg)	$2{,}9\times10^{40}$	$1{,}3\times10^{40}$	$6{,}8\times10^{41}$	$1{,}3\times10^{41}$	$3{,}3\times10^{42}$	$1{,}9\times10^{41}$
I_s (g cm^2)	$1{,}3\times10^{54}$	$4{,}4\times10^{53}$	$2{,}6\times10^{54}$	$1{,}9\times10^{53}$	$5{,}4\times10^{53}$	$3{,}6\times10^{54}$
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,006	0,003	0,05	0,02	4,8	0,05
B (kG)	5	5	5	22	78	3



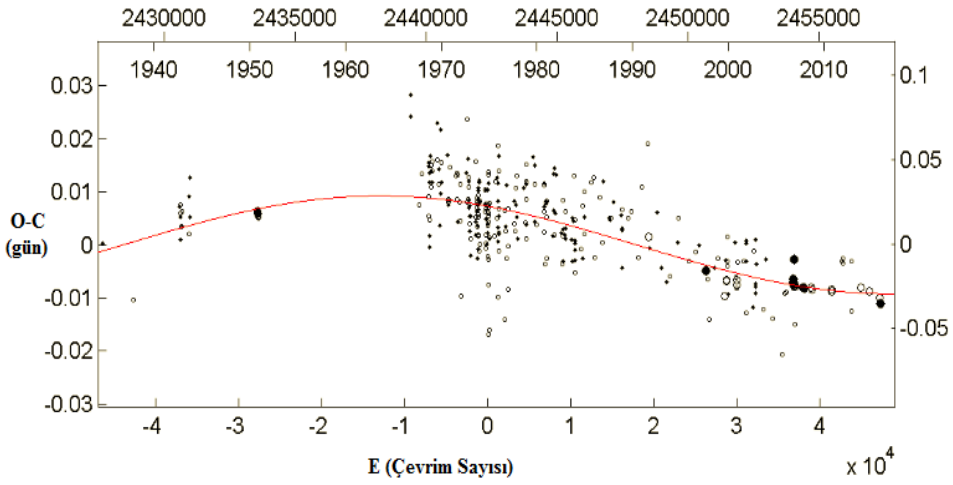
Şekil 4.11. CN And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğrilerle temsili. Üst panelde; kesikli çizgili parabol, sürekli çizgi ise parabol+sinüs fitini temsil etmekte, alt panel ise kuramsal eğriden olan farkları gösterilmektedir



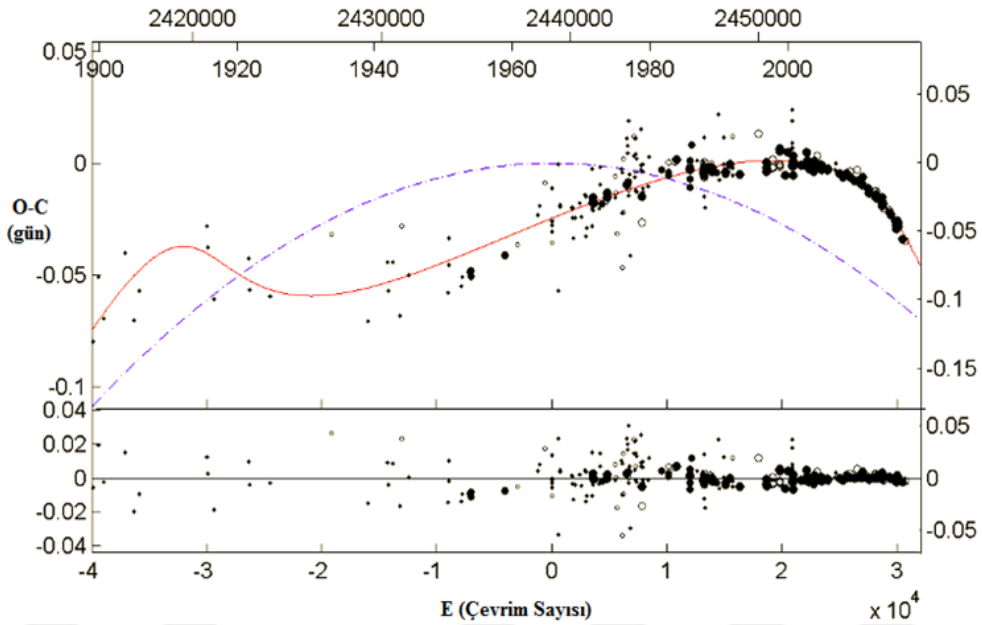
Şekil 4.12. CN And sisteminin parabolik değişimden arındırılan çevrimsel $O-C$ değişimi ve kuramsal temsili



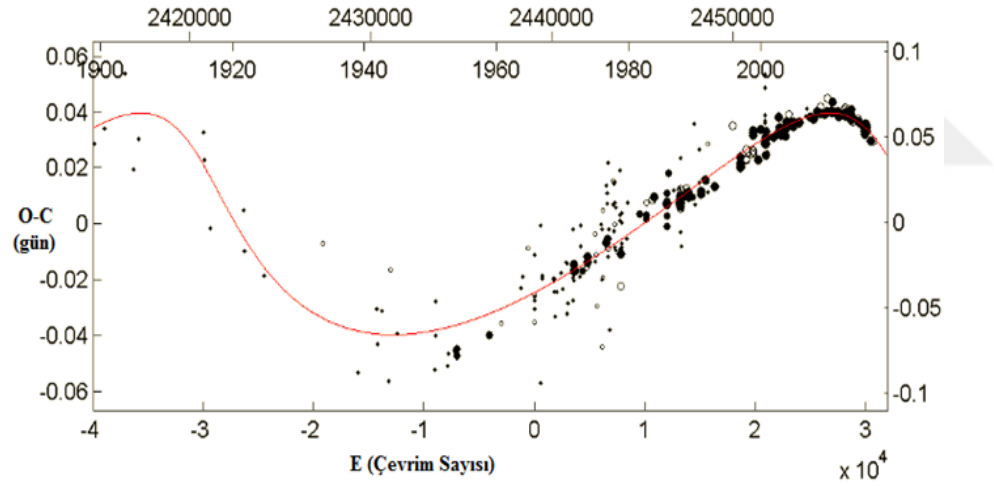
Şekil 4.13. TW Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



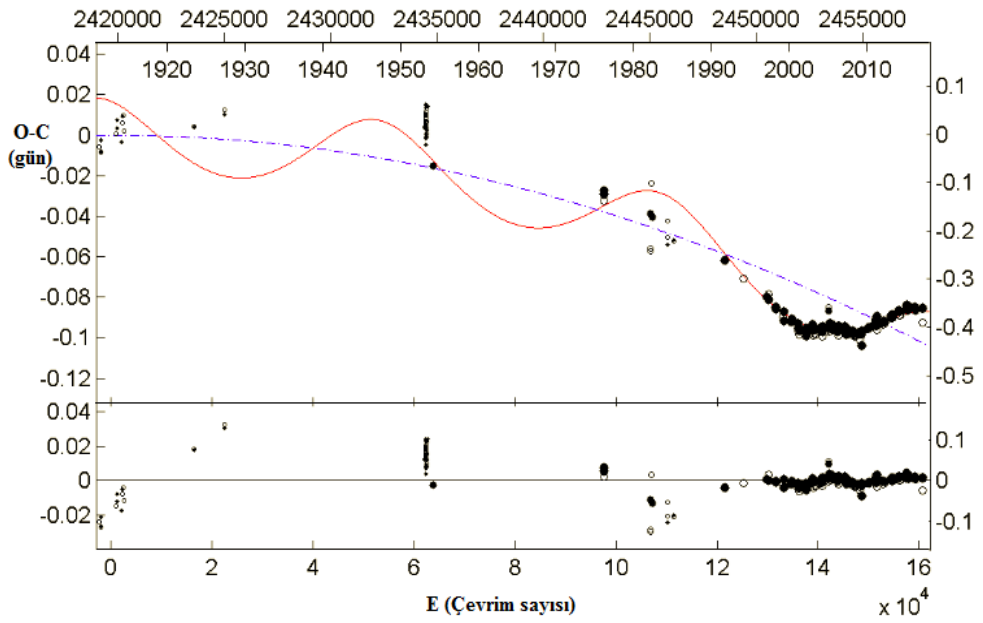
Şekil 4.14. TW Cet sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



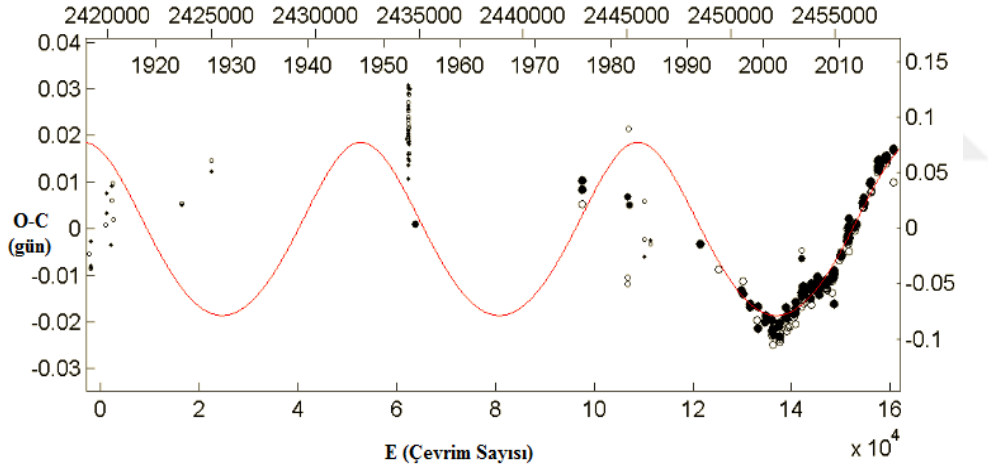
Şekil 4.15. BX And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



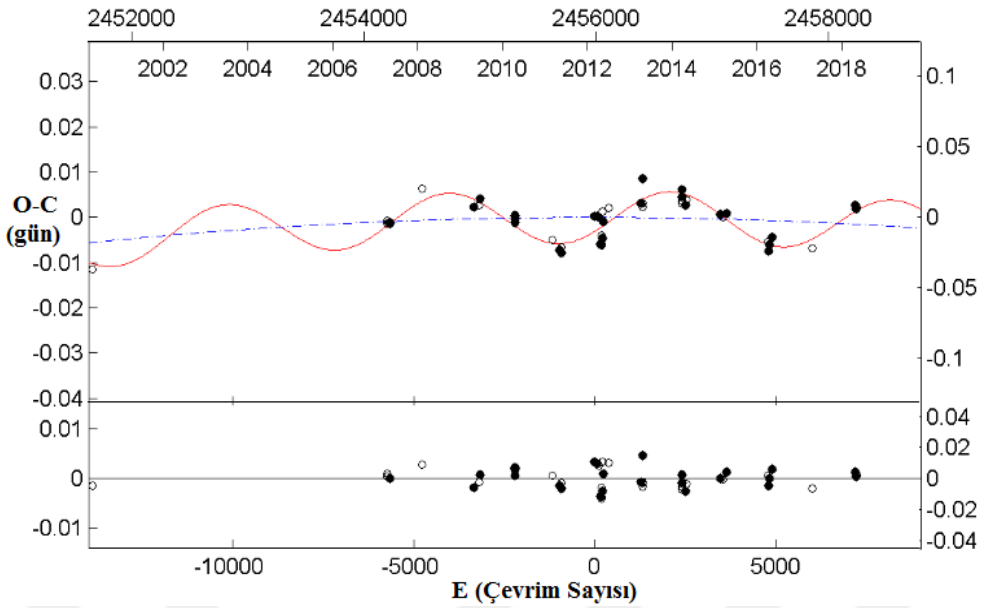
Şekil 4.16. BX And sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



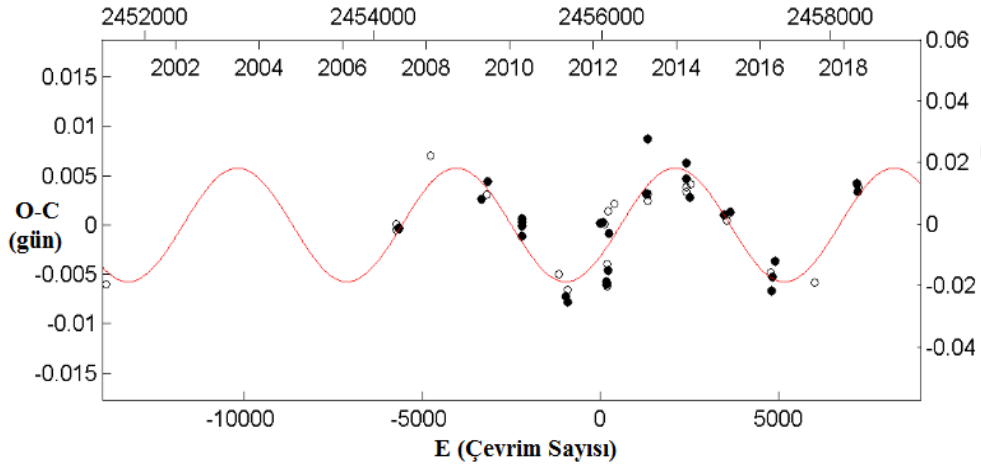
Şekil 4.17. RW Com sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



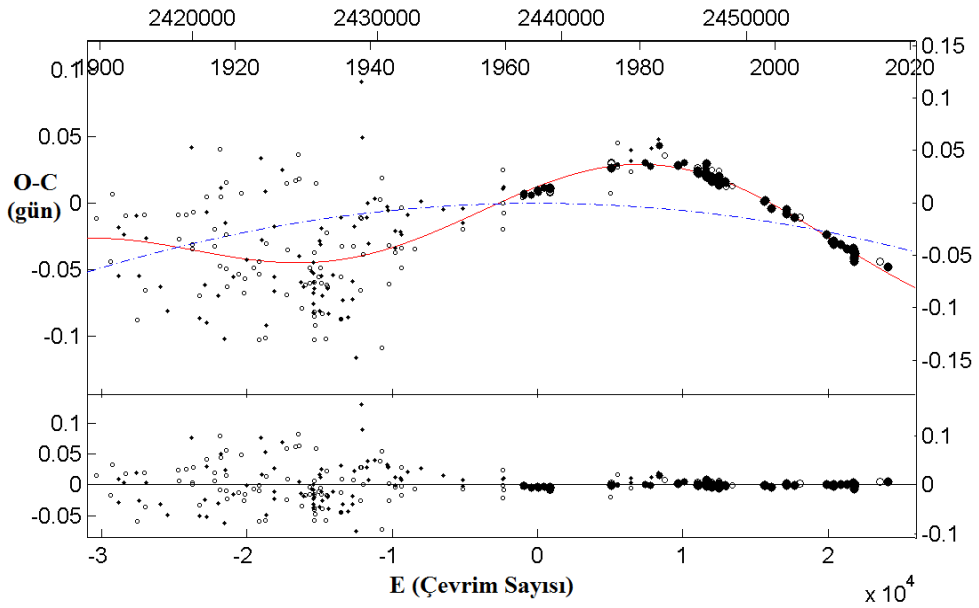
Şekil 4.18. RW Com sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



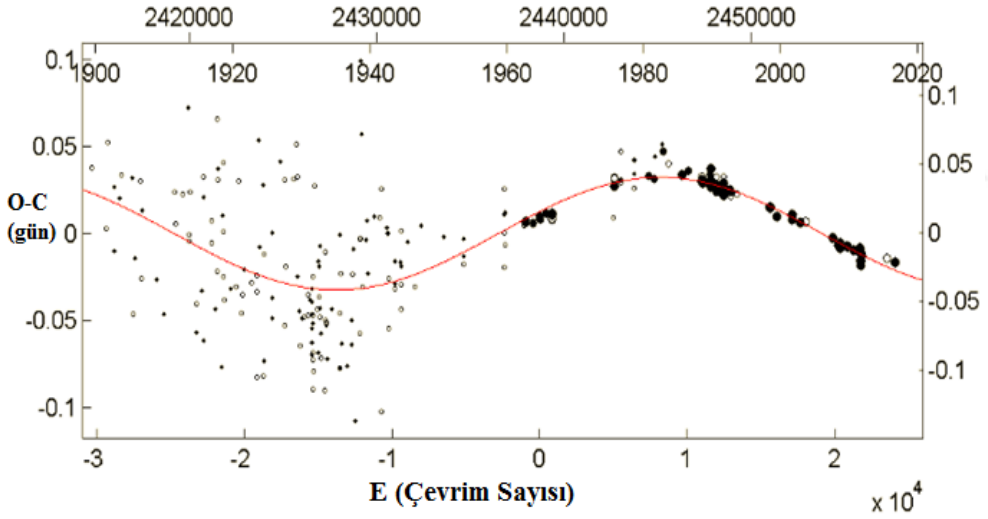
Şekil 4.19. PY Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



Şekil 4.20. PY Vir sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



Şekil 4.21. V1073 Cyg sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



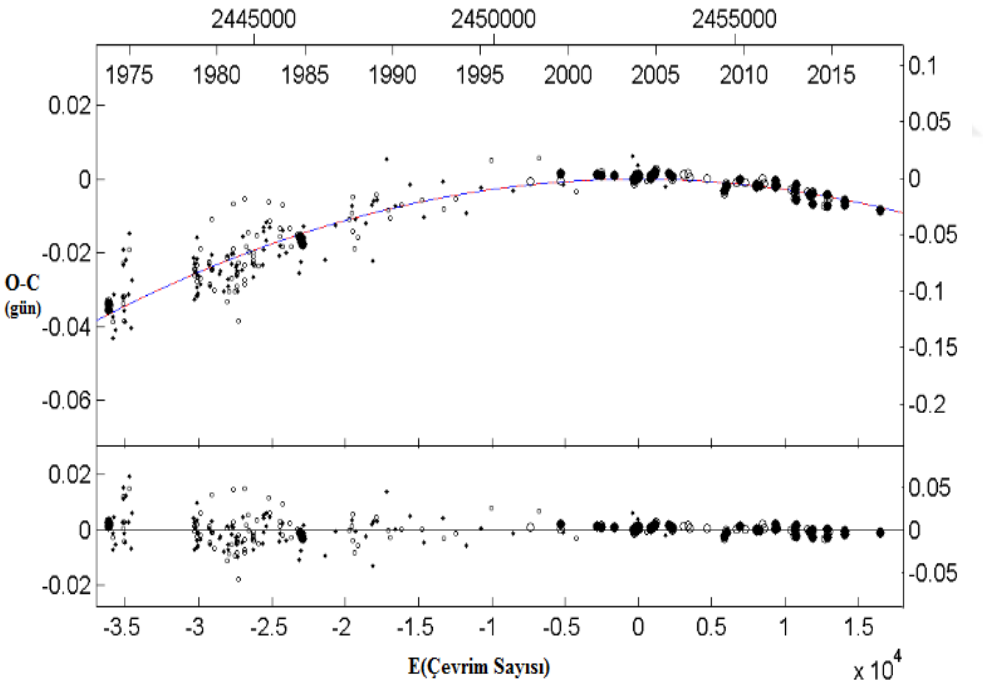
Şekil 4.22. V1073 Cyg sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır

ECB türü sistemlerden, GZ And, TT Cet ve GW Cnc örten çift sistemleri için oluşturulan $O-C$ grafiklerinde, sadece parabolik değişim olduğu görülmüştür (Şekil 4.23 - Şekil 4.25). Bundan dolayı, sistemlerin $O-C$ verilerine (3.1) bağıntısı uygulandı ve $O-C$ analizi sonucunda bulunan parametreler Çizelge 4.10'da listelendi. Yörünge dönemdeki azalma nedeni, CN And, TW Cet, BX And, RW Com, PY Vir ve V1073 Cyg sistemleri için yapılan açıklama ile aynıdır. Bileşenler arası korunumlu kütle varsayımıyla, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru kütle aktarım oranları bağıntı (3.3) ile

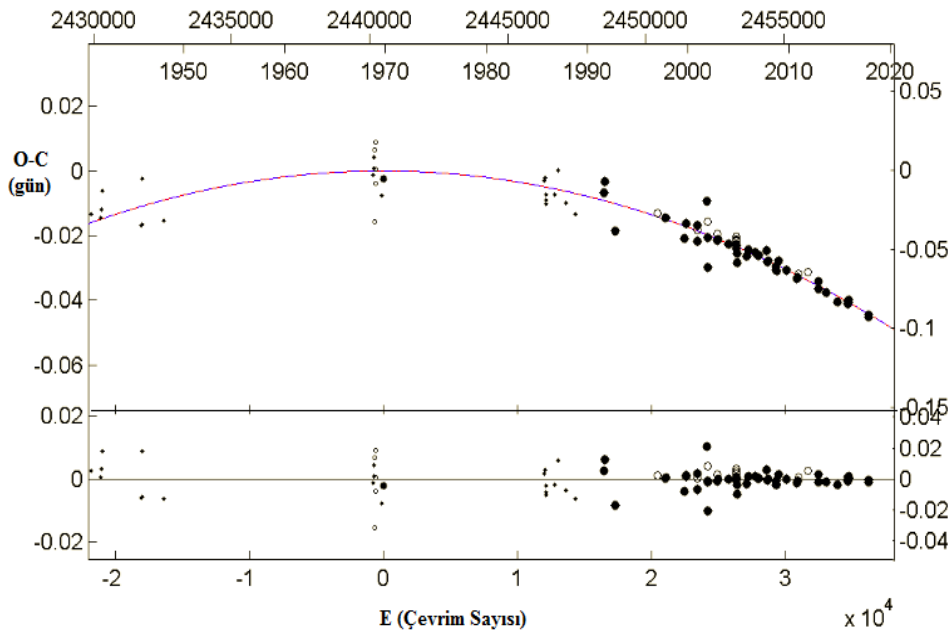
hesaplanmıştır (Çizelge 4.10). GZ And'ın son dönem analiz çalışması Yang ve Liu (2003) tarafından yapılmış olup, çalışmada sistemin döneminin arttığı ve bu artma oranının ise dP/dt= 2,4×10^{-7} gün/yıl olarak hesaplanmıştır. Yang ve Liu (2003)'nin aksine, bu çalışmada GZ And sisteminin $O-C$ analizinde, dönemin azaldığı görülmektedir (Şekil 4.23). TT Cet sisteminin dönem analiz çalışması ilk kez bu çalışmada yapılmış olup dönem azalma oranı -0,45 s/yüzyıl olarak verilmiştir.

Çizelge 4.10. Yörünge döneminde sadece azalan parabolik değişim gösteren ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları

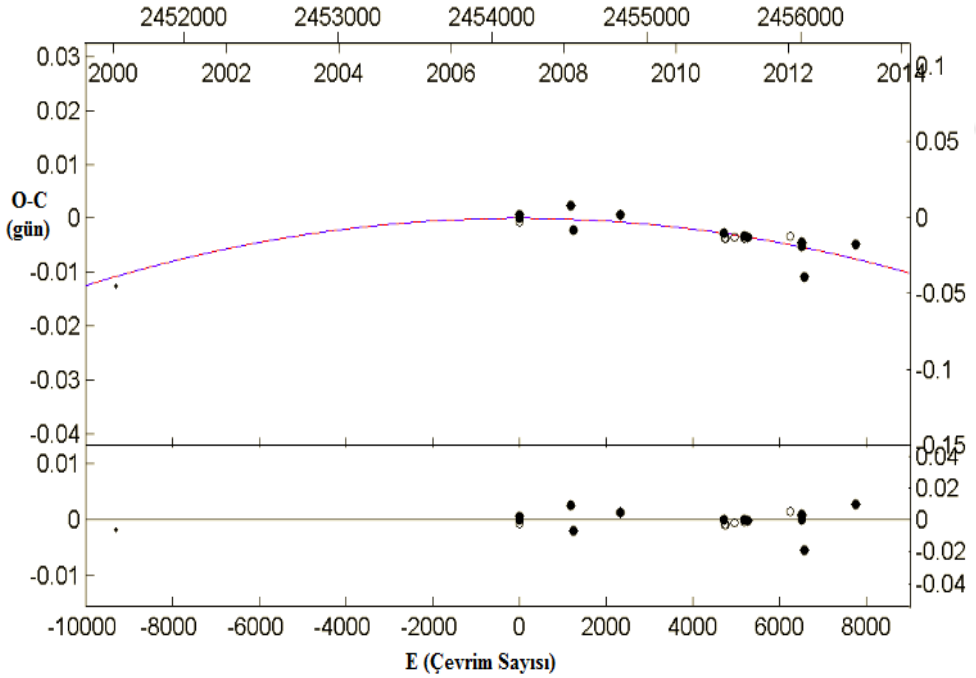
Parametreler	GZ And	TT Cet	GW Cnc
T_o (HJD+2400000)	51384,5198(5)	52500,1320(5)	54172,2949(5)
P_{orb} (gün)	0,30501608(1)	0,4859538(1)	0,28141222(5)
Q (gün)	-3,85(3) ×10^{-11}	-0,35(1) ×10^{-10}	-1,3(2) ×10^{-10}
dP/dt (s/yüzyıl)	-0,79	-0,45	-2,9
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	1,27×10^{-7}	-4,87×10^{-8}	1,4×10^{-7}



Şekil 4.23. GZ And sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Üst panelde, sürekli çizgi parabol fitini temsil etemekte, alt panel ise kuramsal eğriden olan farklar gösterilmektedir



Şekil 4.24. TT Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



Şekil 4.25. GW Cnc sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır

4.3.1.2. Dönemi Artan ECB Türü Sistemler

ECB türü XY Leo, V752 Cen, HT Vir ve YY Eri sistemlerinin dönem analizleri için oluşturulan $O-C$ grafiklerinde, artan parabolik değişim görüldü. Bundan dolayı, sistemlerin $O-C$ verilerine önce (3.1) bağıntısı uygulandı. Sistemlerin, parabolik kuramsal eğriden gözlemsel eğri verileri çıkarıldığında çevrimsel değişimde görüldü (Şekil 4.26 - Şekil 4.33). Bu yüzden, sistemlerin $O-C$ değişimlerinde hem parabolik hem de çevrimsel değişimler olduğu dikkate alınmıştır. Sistemlerin çevrimsel dönem değişimlerinin kaynağı, CN And, TW Cet, BX And, RW Com, PY Vir ve V1073 Cyg ile aynı şekilde açıklanabilir. Sinüs benzeri dönem değişim nedeni bakılmaksızın, olası üçüncü cismin parametreleri ve manyetik aktivite parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12). Bu hesaplamalarda kullanılan sistemlerin kütleleri Çizelge 2.1'de verilmektedir.

Olası üçüncü bir cisim varlığı için $O-C$ verilerine parabolik ve LITE terimleri kullanılarak (3.1) ve (3.5) bağıntıları birleştirildi. Bu sistemler için belirlenen temel parametreler hataları ile birlikte Çizelge 4.11'de verilmektedir. Sistemlerin yörünge dönem artma nedeni olarak, bileşenler arası kütle aktarımı önerilmiştir. Korunumlu kütle varsayımı altında bağıntı (3.3) kullanılarak, kütle aktarım oranı hesaplanmış ve Çizelge 4.11'de verilmektedir.

Sistemlerin tayf türleri Çizelge 2.1'de verilmiş olup, bileşenlerden en az biri soğuk ve dış kısımlar konvektif zarfa sahipse, aktif bileşen(ler)in göstereceği manyetik çevrim de dönemsel değişim sebebi olabilir. Bu yüzden, parabolik terim ile birlikte sinüs benzeri değişimler Applegate (1992), modeliyle açıklamak için $O-C$ verilerine (3.6) bağıntısı uygulandı ve bulunan Applegate parametreleri Çizelge 4.12'de verildi.

Çizelge 2.1'de XY Leo'nun tayf türleri verilmiş olup her iki bileşende soğuk bileşen olmasına rağmen, Pribulla ve ark. (2007) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında üçüncü bileşenin dikine hızı hesaplanmış ve üçüncü bileşen ile ilgili yörünge parametreleri verilmiştir. Aynı zamanda XY Leo için, Yakut ve ark. (2003) tarafından yapılan ışık eğrisi analizinde üçüncü ışık katkısına rastlanmıştır. Bu çalışmada, XY Leo için olası üçüncü cismin minimum kütlesi 1,1 $M_{\odot}$ olarak hesaplanmış olup G tayf türünden bir yıldız olabilir. V752 Cen sisteminde her iki bileşeni soğuk (Çizelge 2.1) ve Çizelge 4.12 incelendiğinde Applegate (1992), tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerler olduğu görülmektedir. Ancak Schumacher (2009) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında, üçüncü bileşenin dikine hızı hesaplamıştır. Bu çalışmada sistemde olası üçüncü bir cismin dönemi P_3=41 yıl olarak belirlendi ve ayrıca sistemin yörüngesinin de dışmerkezli (e=0,5) olduğu görülmektedir. HT Vir'in tayf türü F8V+F9 olup her iki bileşende soğuk ve konvektif

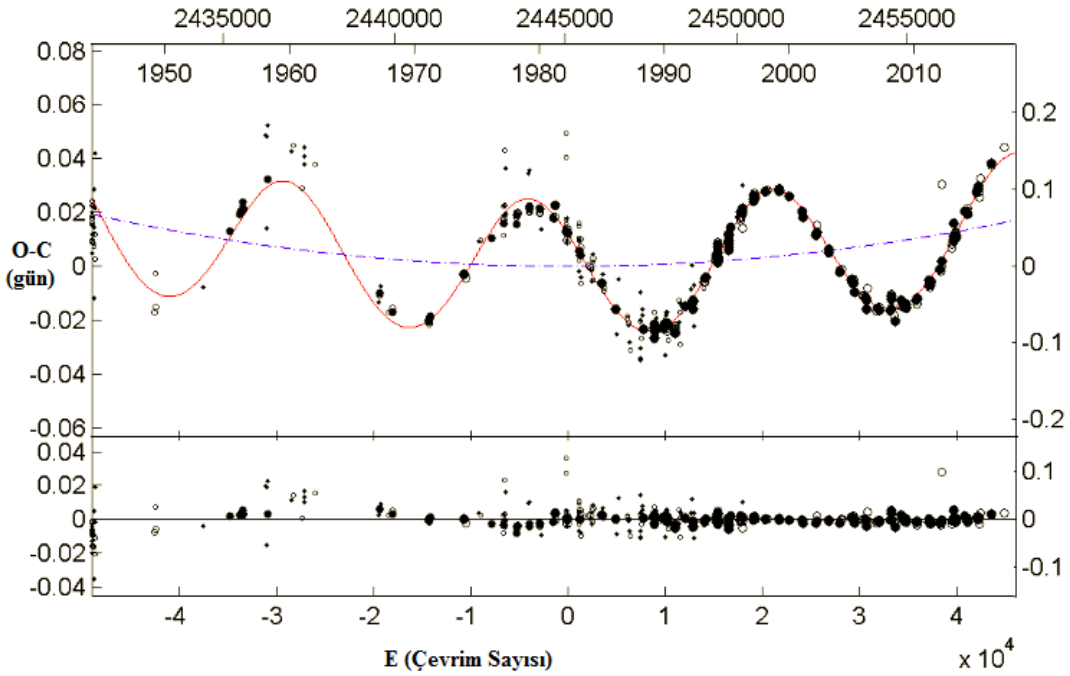
zarfa sahiptir. Ancak sistemin kuadrupol momenti (açıklama PY Vir sistemi aynıdır) yaklaşık 10^{50} g cm^2 değerinde çıkmaktadır ki bu değer Lanza ve Rondo (1999) tarafından önerilen aralıktan uzak olduğu için ve ayrıca HT Vir sistemi, Lu ve ark. (2001) tarafından yapılan tayf çalışmasında dörtlü bir sistem olduğu rapor edilmiş olup üçüncü bileşenin parametreleri belirlenmiştir. YY Eri'nin tayf türü G3+K0 sahip ve her iki bileşende soğuk ve dış kısımlar konvektif zarfa sahiptir. Bu yüzden, Applegate parametreleri (Çizelge 4.12) incelendiğinde, Applegate (1992) tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerler olduğu görülmektedir. Ayrıca Yang ve Liu (1999) tarafından yapılan ışık eğrisi analizinde üçüncü ışık katkısına rastlanılmamıştır. Bu çalışmada YY Eri için, modulasyon dönemi yaklaşık 47 yıl ve yüzey altı manyetik alan yaklaşık 9 kG olarak hesaplandı.

Çizelge 4.11. Dönemi artan ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları

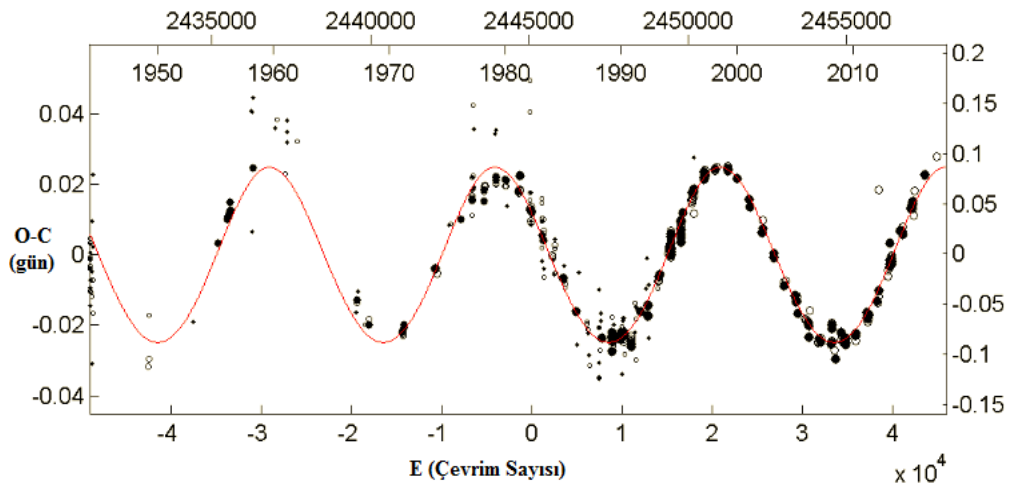
Parametreler	XY Leo	V752 Cen	HT Vir	YY Eri
T_o (HJD+2400000)	45074,4783(1)	41060,1081(5)	48760,6656 (5)	41581,6185(1)
P_{orb} (gün)	0,28410296(1)	0,3702252(2)	0,407671332 (4)	0,32149638 (3)
Q (gün)	8,1 (1) $\times 10^{-12}$	3,1(3) $\times 10^{-11}$	8,5 (1) $\times 10^{-11}$	1,9 (1) $\times 10^{-11}$
dP/dt (s/yüzyıl)	0,18	0,53	1,31	0,37
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	5,35 $\times 10^{-8}$	-3,18$\times 10^{-8}$	-7,02$\times 10^{-7}$	4,64 $\times 10^{-8}$
a_{12} sin i (AB)	4,3(1)	4,1(2)	2,3 (3)	2,1(1)
e	0,10(5)	0,5(1)	0,0	0,37(8)
ω (deg)	78(5)	0,0	90	29(6)
A_3	0,025(6)	0,020(7)	0,013(4)	0,011(1)
T' (HJD+2400000)	42761(401)	54018(256)	51377 (286)	47027(969)
P_{12} (yıl)	19 (1)	41(3)	41 (7)	47 (1)
$f(m_3)(M_\odot)$	0,21 (1)	0,039(5)	0,0071 (5)	0,0037(1)
$m_3(M_\odot)$ (i=90 için)	1,1	0,59	0,4	0,28

Çizelge 4.12. Dönemi artan ECB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler

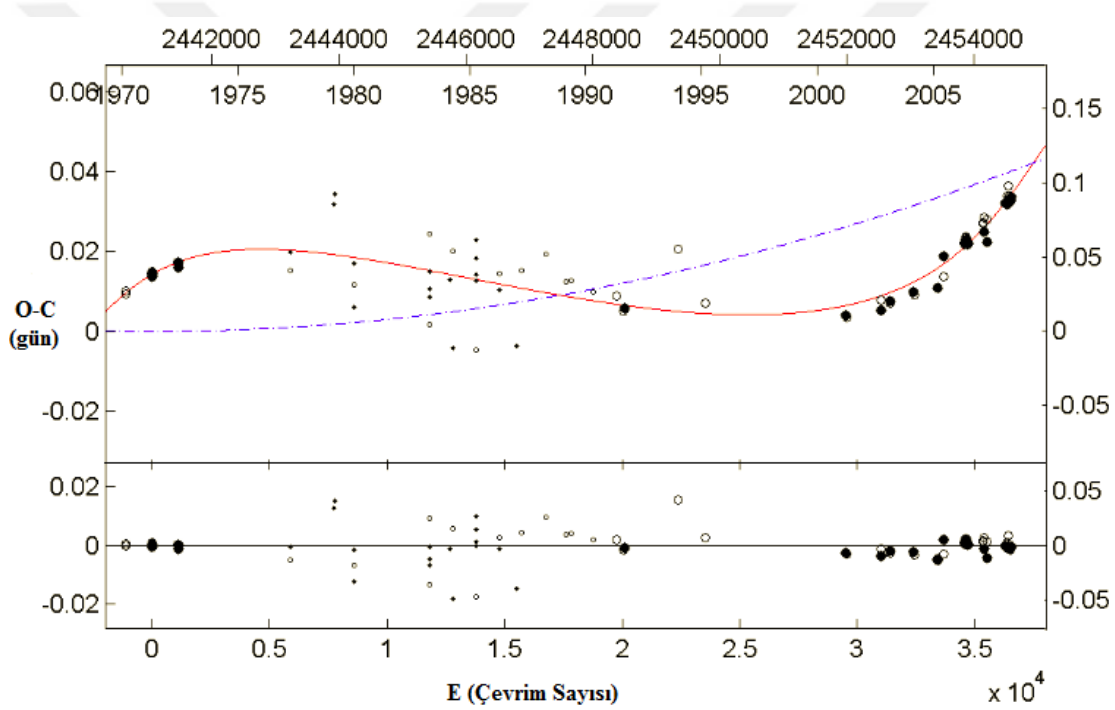
Parametreler	XY Leo	V752 Cen	HT Vir	YY Eri
P_{mod} (yıl)	19	41	41	47
$\Delta P/P$	$4{,}5\times10^{-5}$	$1{,}6\times10^{-5}$	$1{,}1\times10^{-5}$	8×10^{-6}
ΔJ (erg s^{-1})	-1×10^{48}	$-2{,}8\times10^{47}$	$-5{,}5\times10^{47}$	$-3{,}4\times10^{47}$
$\Delta\Omega/\Omega$	0,009	0,004	0,004	0,002
ΔE (erg)	$2{,}4\times10^{42}$	$2{,}2\times10^{41}$	$3{,}9\times10^{41}$	$1{,}3\times10^{41}$
I_s (g cm^2)	$4{,}4\times10^{53}$	$3{,}6\times10^{53}$	$7{,}8\times10^{53}$	9×10^{53}
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,95	0,04	0,07	0,07
B (kG)	41	17	13	9



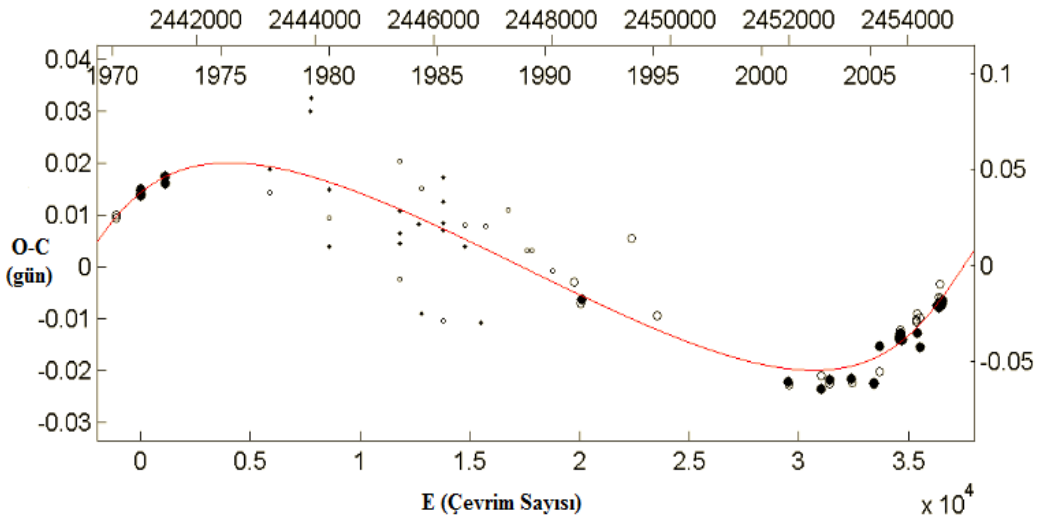
Şekil 4.26. XY Leo sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



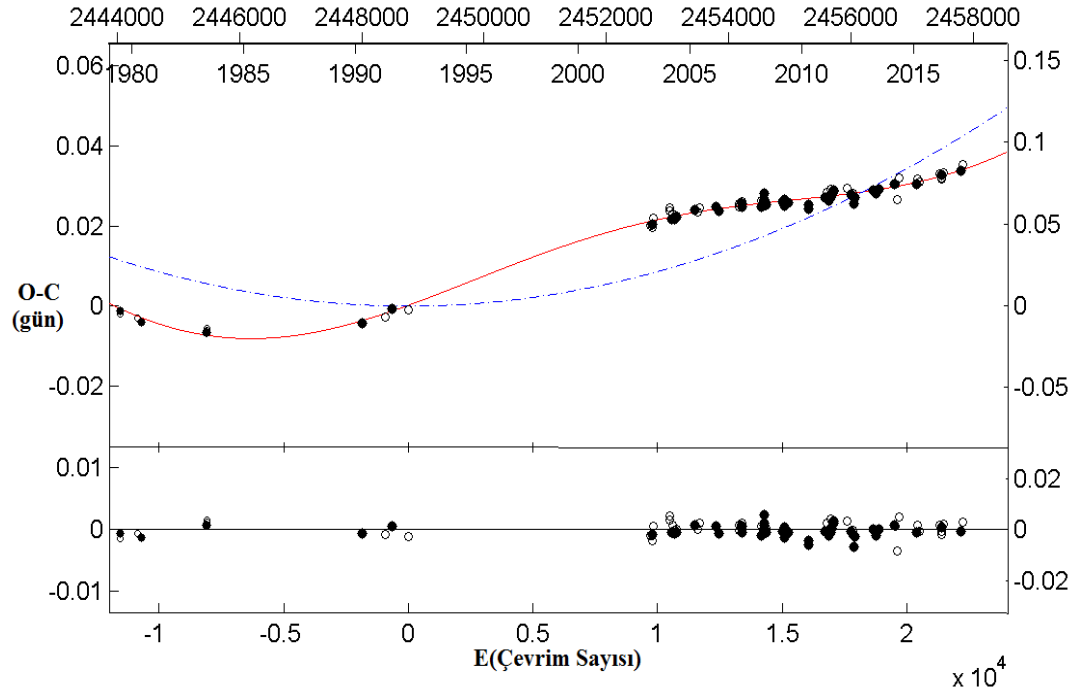
Şekil 4.27. XY Leo sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



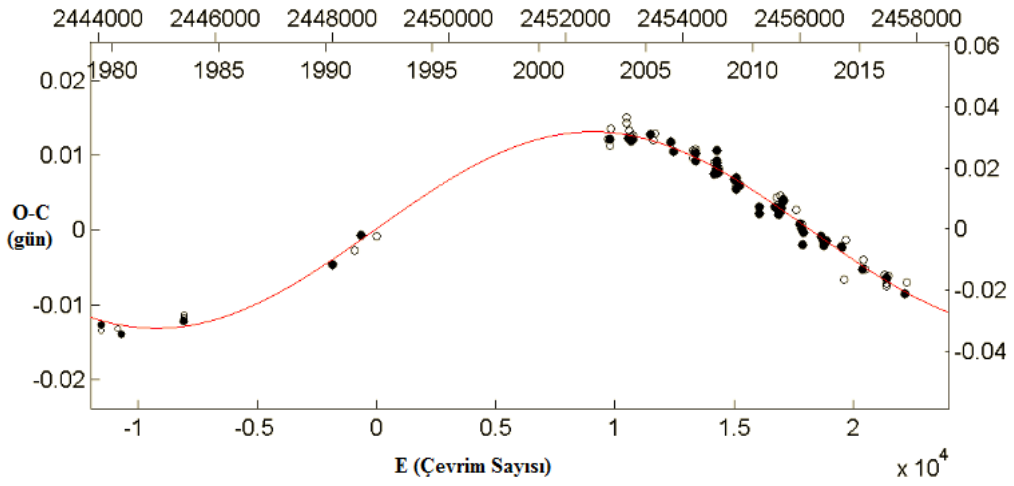
Şekil 4.28. V752 Cen sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



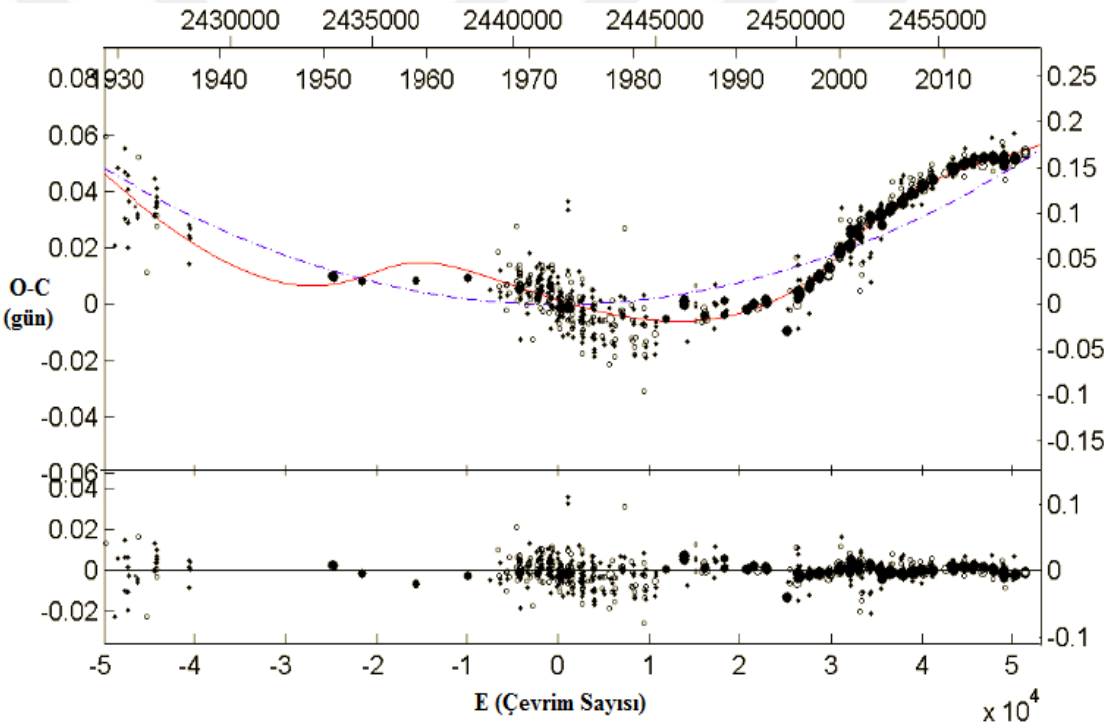
Şekil 4.29. V752 Cen sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



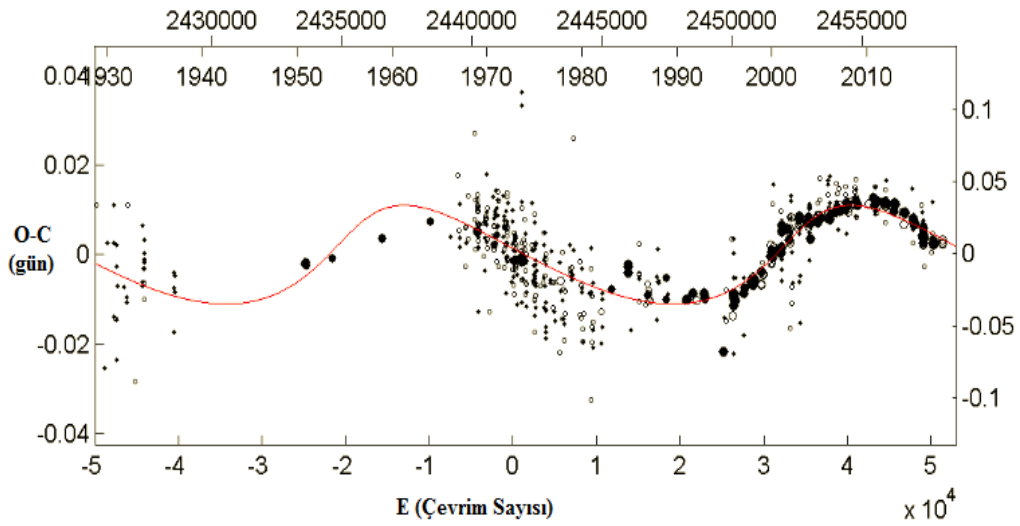
Şekil 4.30. HT Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



Şekil 4.31. HT Vir sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



Şekil 4.32. YY Eri sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır

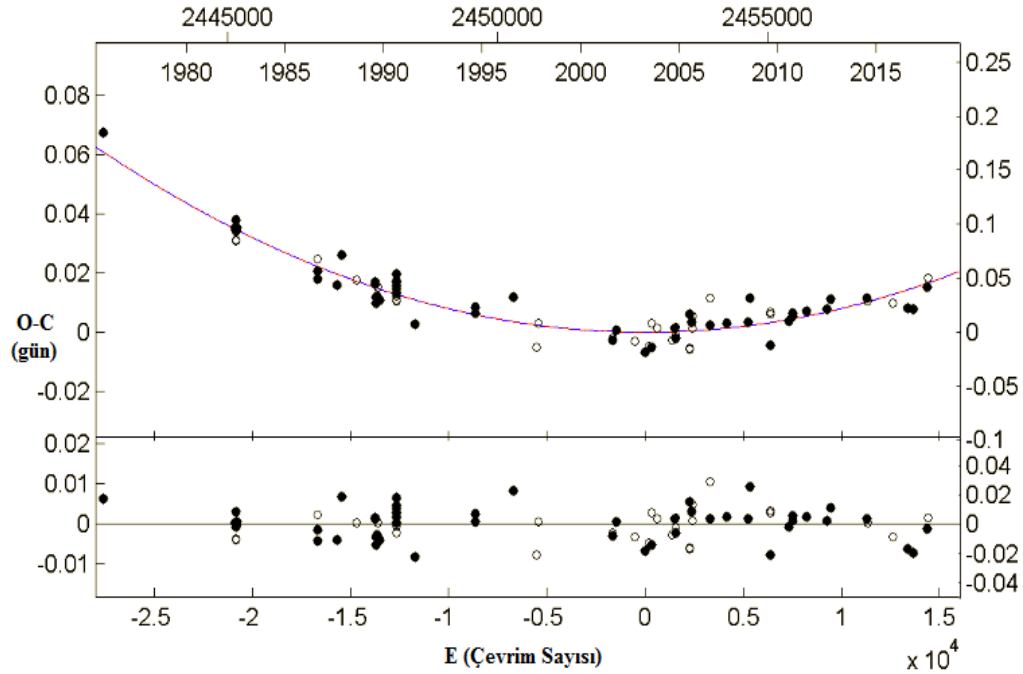


Şekil 4.33. YY Eri sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır

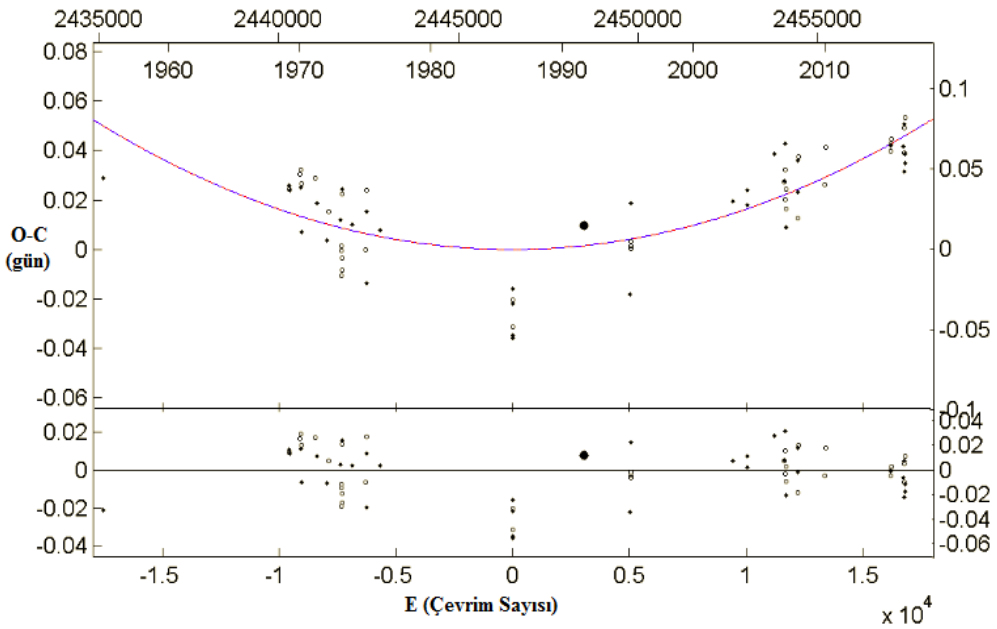
LS Del ve S Ant örten çift sistemleri için oluşturulan $O-C$ grafiklerinde, sadece parabolik değişim görülmüştür (artan parabolik değişim). Bundan dolayı, sistemlerin $O-C$ verilerine (3.1) bağıntısı uygulanmış olup $O-C$ analizi sonucunda bulunan parametreler Çizelge 4.13'te verilmiştir. Yörünge dönemdeki artma nedeni, XY Leo, V752 Cen, HT Vir ve YY Eri sistemleri için yapılan açıklamayla aynıdır. Sistemin kütlesi korunumlu varsayılırsa, yörünge döneminin artma nedeni olarak, bileşenler arasında (küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru) olduğu önerilmiş ve kütle aktarım oranları bağıntı (3.3) ile hesaplanmıştır (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.13. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren ECB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları

Parametreler	LS Del	S Ant
T_o (HJD+2400000)	52734,8397 (7)	52500,0613(9)
P_{orb} (gün)	0,363837278(5)	0,6483514(5)
Q (gün)	$9{,}03(12)\times10^{-11}$	$2{,}42(8)\times10^{-10}$
dP/dt (s/yüzyıl)	1,56	2,35
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$-1{,}4\times10^{-7}$	$1{,}75\times10^{-7}$



Şekil 4.34. LS Del sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



Şekil 4.35. S Ant sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır

4.3.2. NCB Türü Sistemlerin Yörünge Dönem Değişimleri

4.3.2.1. Dönemi Azalan NCB Türü Sistemler

Değmeye yakın sistemlerden, EE Aqr, RU Eri, TT Her, AG Phe ve RZ Dra'nın yörünge dönem analiz çalışması sonucunda, sistemlerin dönemlerinin azalmayla birlikte sinüs benzeri değişimler de göstermiştir (Şekil 4.36- Şekil 4.45). Ayrıca RZ Dra sisteminin yörünge dönem azalamsıyla birlikte iki sinüs benzeri değişim olduğu görülmüştür. Parabol için bağıntı (3.1), parabol + LITE için bağıntı (3.1 ve 3.5), Applegate parametreleri için (3.6) bağıntıları ve kütle aktarımı için de (3.3) bağıntısı kullanılmıştır. Yörünge dönemi hem azalan hemde çevrimsel değişim gösteren NCB'ler için elde edilen parametreler Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te verilmiştir. Yörünge dönem azalma nedeni ECB türü sistemler için yapılan açıklamalar ile aynıdır. Literatürde çevrimsel değişim genellikle iki mekanizmayla açıklanmaya çalışılır (olası üçüncü bir cismin varlığı ya da manyetik aktivitenin sebep olacağı dönemsel değişim).

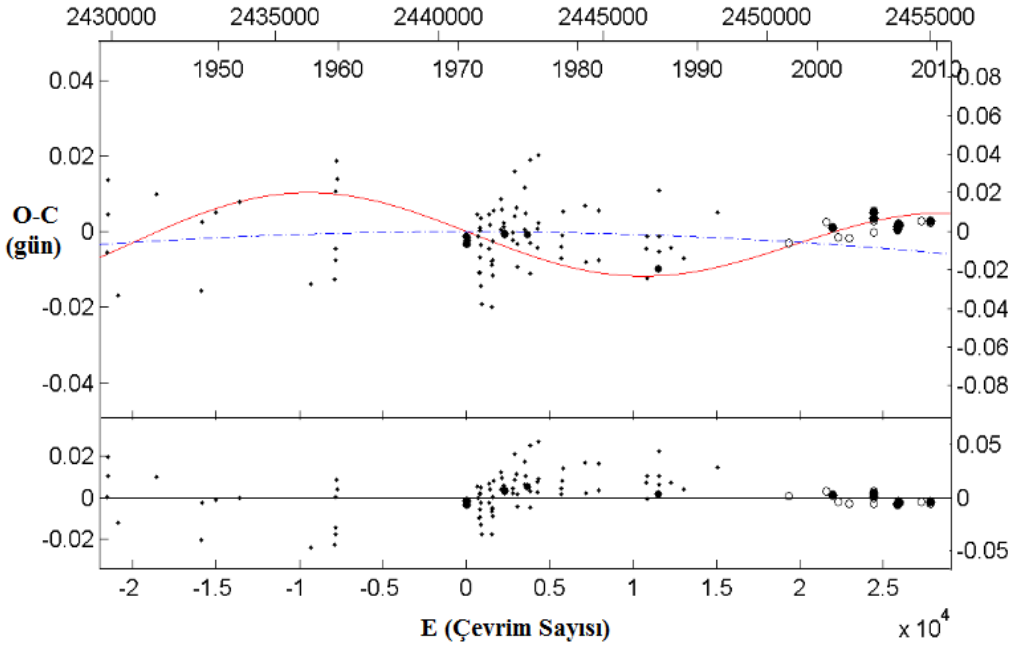
NCB türü sistemlerin tamamının ikinci bileşenleri soğuk ve konvektif zarfa sahiptir (Çizelge 2.3). Bu yüzden çevrimsel değişim nedeni için, ilk manyetik aktivite kaynaklı olabileceği göz önünde bulundurulmuştur. İkinci olarak ise sistemde olası üçüncü bir bileşenin varlığı üzerinde durulmuştur. Çizelge 4.15 incelendiğinde; EE Aqr, RU Eri ve AG Phe sistemleri için Applegate (1992), tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerdedir. EE Aqr, RU Eri ve AG Phe sistemleri için yapılan son ışık eğrisi analizlerinde (sırasıyla Covino ve ark., 1990; Williamon ve ark., 2013; Cerutti, 1996) üçüncü bir bileşnin ışık katkısına da rastlanmamış. Ayrıca EE Aqr, RU Eri ve AG Phe sistemleri için hesaplanan minimum kütle değerleri (Çizelge 4.14), sistemlerin toplam kütleleri (Çizelge 2.3) düşünüldüğünde, böyle bileşenlerin olması durumunda belirlemesi zor olacaktır. TT Her'nin ikinci bilenşeni soğuk konvektif zarfa sahip (Çizelge 2.3) ve Çizelge 4.15 incelendiğinde Applegate (1992)'in önerdiği değerlere yakın sonuçlar elde edilmiş. Ancak sistemin modulasyon dönemi P_3=76 yıl olarak belirlendi ki bugüne kadar literatürde bu kadar büyük dönemli herhangi bir manyetik aktivite kaynaklı çevrimsel değişim çalışması bulunmamaktadır. RZ Dra'nın tayf türü A6+K1 olup ikinci bileşeni konvektif zarfa sahiptir. Fakat bileşenlerin kuadrupol momentinindeki (açıklama PY Vir sistemiyle aynıdır) değişimler yaklaşık 10^{48} g cm^2 olarak belirlenmiştir. Bu değerde yakın çift yıldızlar için Lanza ve Rondo (1999) tarafından önerilen (10^{51}-10^{52} g cm^2) aralıktan uzak bir değerdir. RZ Dra sistemi için, dönem analiz çalışması Yang ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup olası üçüncü ve dördüncü cisimlerin dönemleri P_3=75,62, P_4=27,59 yıl olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada da yakın değerler elde edildi (Çizelge 4.17).

Çizelge 4.14. Dönemi azalan NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları

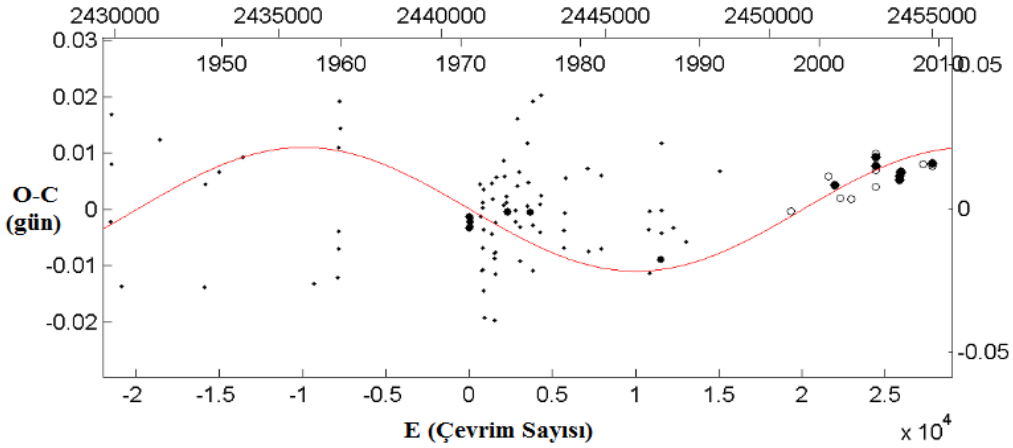
Parametreler	EE Aqr	RU Eri	TT Her	AG Phe
T_o (HJD+2400000)	40828,7835(15)	42359,3433(3)	44025,4704(3)	44170,7889(5)
P_{orb} (gün)	0,5089961(2)	0,6321987(4)	0,9120781(3)	0,7553409(2)
Q (gün)	$-7{,}1(3)\times10^{-12}$	$-2{,}8(1)\times10^{-11}$	$-1{,}1(2)\times10^{-10}$	$-3{,}5(2)\times10^{-11}$
dP/dt (s/yüzyıl)	-0,09	-0,28	-0,76	-0,29
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$-7{,}08\times10^{-9}$	$-2{,}7\times10^{-8}$	$-5{,}6\times10^{-8}$	$-3{,}88\times10^{-9}$
$a_{12}\sin i$ (AB)	1,7(3)	0,52(1)	1,9(3)	1,1(2)
e	0,0	0,0	0,0	0,0
ω (deg)	90	90	90	90
A_3	0,011(3)	0,003(1)	0,011(5)	0,006(2)
T' (HJD+2400000)	52535(348)	52705(184)	53580(546)	45329(313)
P_{12} (yıl)	35(2)	16(1)	76(14)	28(4)
$f(m_3)(M_\odot)$	0,0043(3)	0,00054(1)	0,0012(4)	0,0016(4)
$m_3(M_\odot)$ i=90 için)	0,36	0,14	0,28	0,17

Çizelge 4.15. Dönemi azalan NCB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler

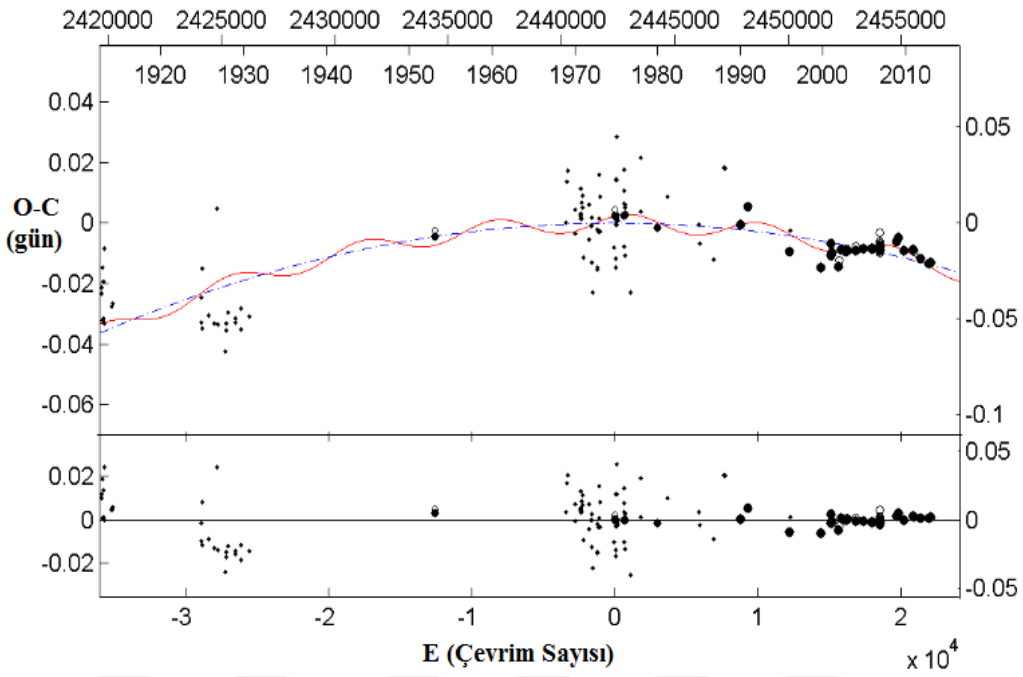
Parametreler	EE Aqr	RU Eri	TT Her	AG Phe
P_{mod}	35	16	76	28
$\Delta P/P$	$1{,}1\times10^{-5}$	$6{,}4\times10^{-6}$	5×10^{-6}	$7{,}37\times10^{-6}$
ΔJ (erg s^{-1})	$-1{,}1\times10^{48}$	$-4{,}1\times10^{47}$	$-8{,}2\times10^{47}$	$-8{,}2\times10^{47}$
$\Delta\Omega/\Omega$	0,004	0,002	0,002	0,005
ΔE (erg)	$5{,}9\times10^{41}$	$8{,}6\times10^{40}$	$1{,}3\times10^{41}$	$3{,}8\times10^{41}$
I_s (g cm^2)	$1{,}32\times10^{54}$	$1{,}9\times10^{54}$	5×10^{54}	$1{,}76\times10^{54}$
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,12	0,14	0,04	0,1
B (kG)	10	9	3	11



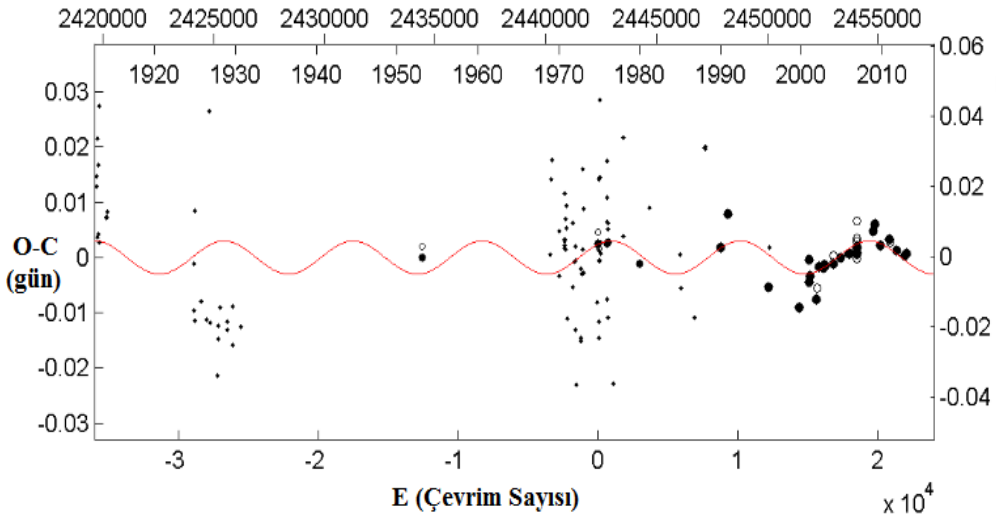
Şekil 4.36. EE Aqr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



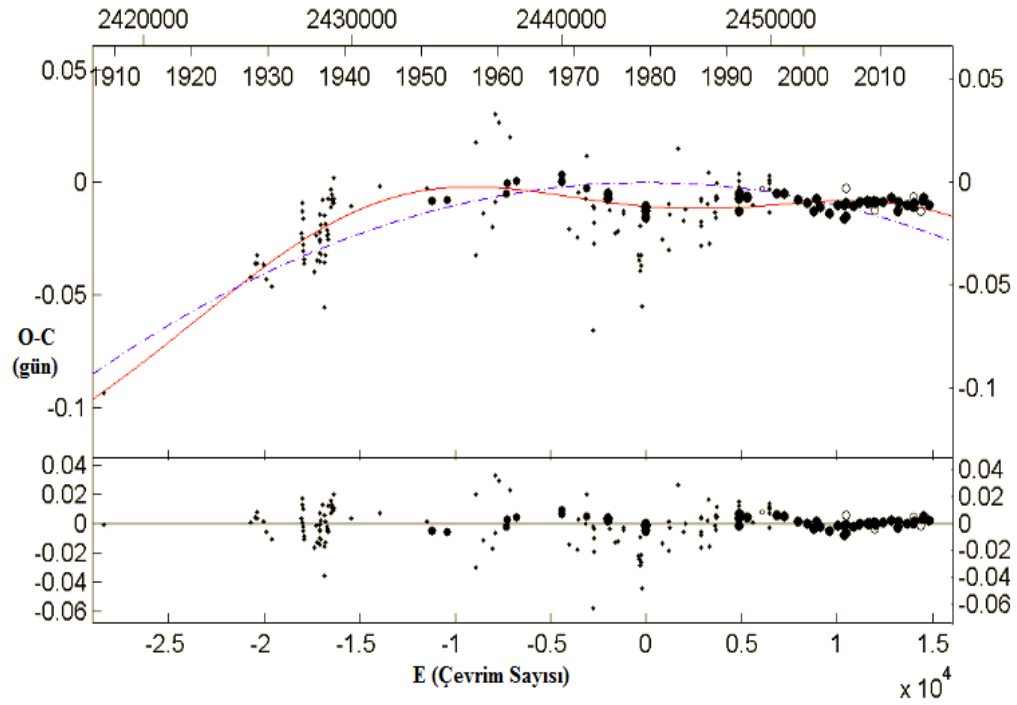
Şekil 4.37. EE Aqr sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



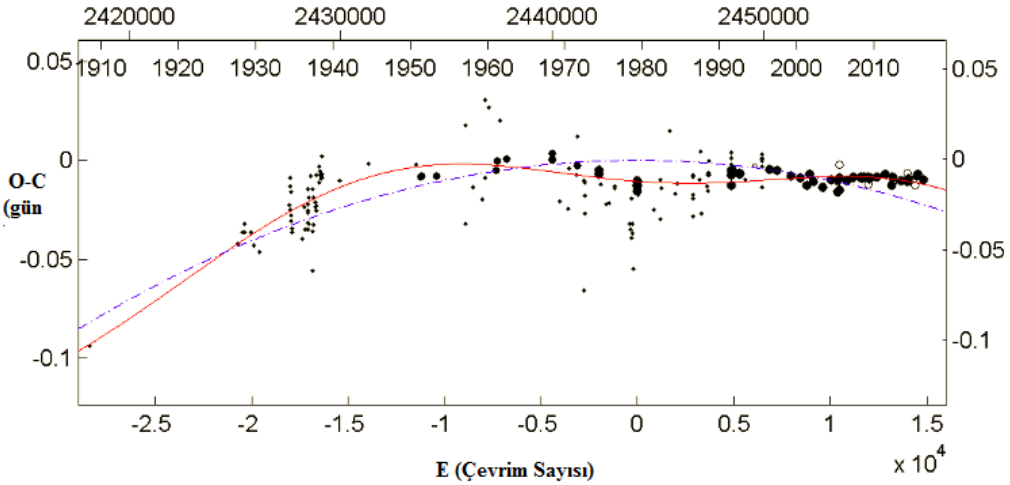
Şekil 4.38. RU Eri sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



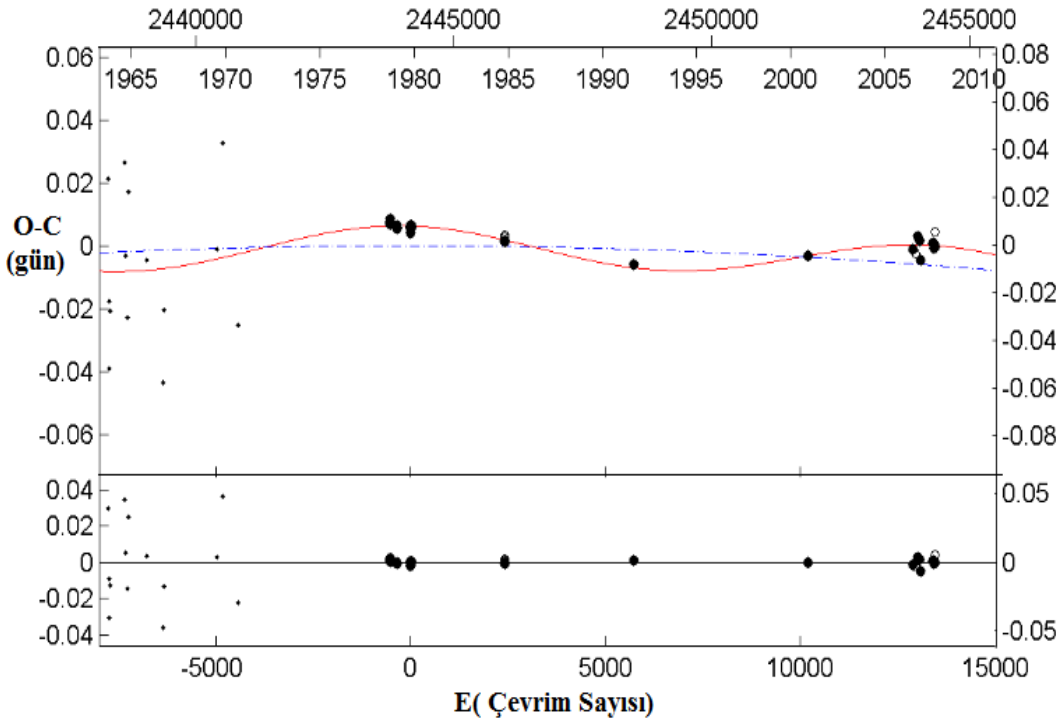
Şekil 4.39. RU Eri sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



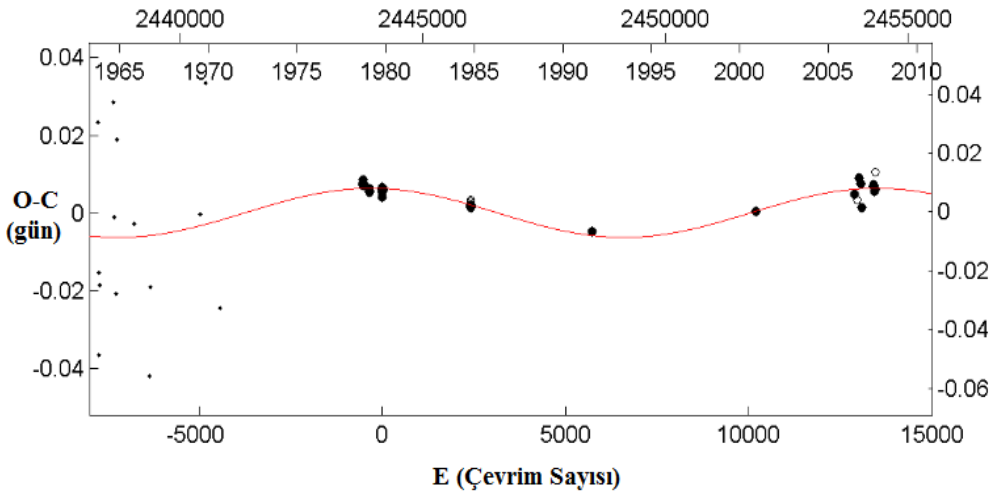
Şekil 4.40. TT Her sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



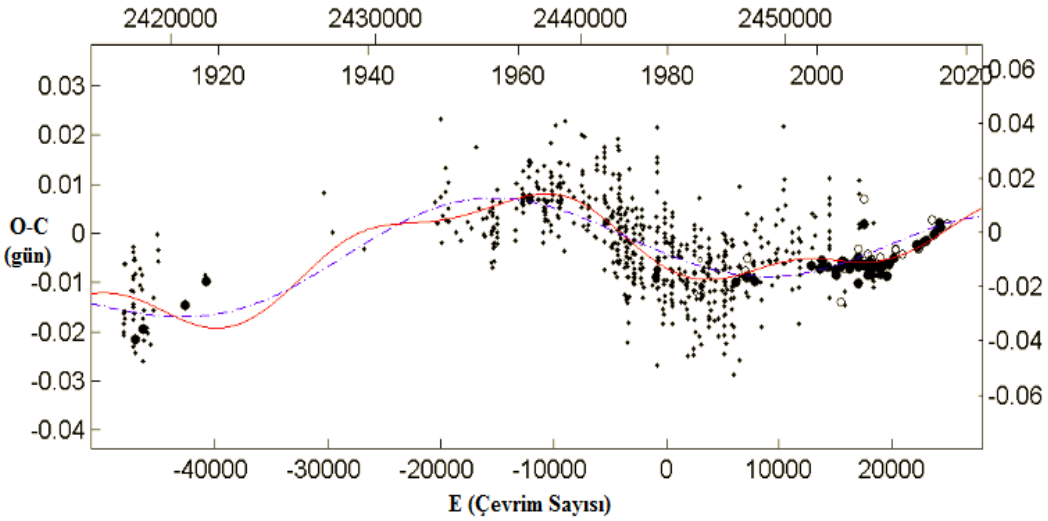
Şekil 4.41. TT Her sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



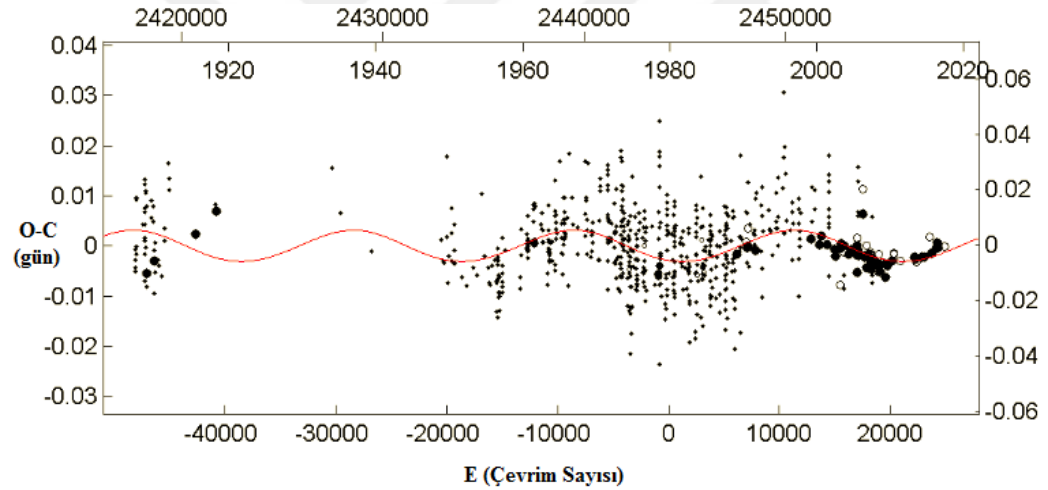
Şekil 4.42. AG Phe sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



Şekil 4.43. AG Phe sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



Şekil 4.44. RZ Dra sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Kesikli çizgi üçüncü cismi, üstüne binmiş sürekli çizgi de dördüncü cismin kuramsal fitini temsil etmektedir



Şekil 4.45. RZ Dra sistemi için dördüncü cisim kuramsal fiti

Çizelge 4.16. RZ Dra ve SW Lyn için Applegate parametreleri

Parametreler	RZ Dra	SW Lyn
P_{mod}	30	6
$\Delta P/P$	$3{,}4\times10^{-6}$	$3{,}4\times10^{-5}$
ΔJ (erg s^{-1})	$1{,}3\times10^{47}$	-3×10^{48}
$\Delta\Omega/\Omega$	0,001	0,01
ΔE (erg)	$5{,}5\times10^{40}$	$4{,}7\times10^{42}$
I_s (g cm^2)	$1{,}7\times10^{54}$	2×10^{54}
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,05	0,01
B (kG)	6	40

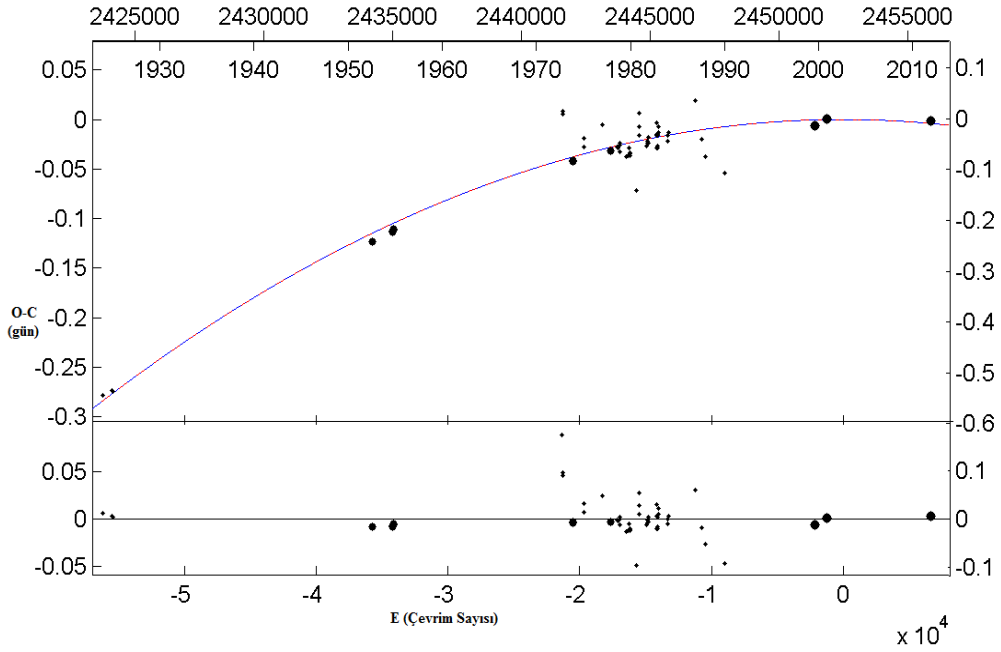
Çizelge 4.17. NCB türü RZ Dra ve SW Lyn sistemlerinin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreler ve hataları

Parametreler	RZ Dra	SW Lyn
T_o (HJD+2400000)	44177,5649(1)	43975,3893(8)
P_{orb} (gün)	0,5508760(3)	0,64406659(5)
Q (gün)	$-5(1)\times10^{-12}$	$-1,5(1)\times10^{-12}$
dP/dt (s/yüzyıl)	-0,06	-0,015
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$-4,9\times10^{-9}$	$-1,66\times10^{-9}$
e	0,10(1)	0,10(1)
ω (deg)	10(3)	74(8)
A_3	0,008(1)	0,006(1)
T_3' (HJD+2400000)	45649(658)	54391(126)
P_3 (yıl)	72(4)	39(1)
$f(m_3)(M_\odot)$	0,0006(1)	0,0009(1)
$M_3(M_\odot)$(i=90 için)	0,15	0,20
A_4	0,003(1)	0,006(1)
T_4' (HJD+2400000)	46421(445)	54421(445)
P_4 (yıl)	30(2)	6(1)
$f(m_4)(M_\odot)$	0,0002(1)	0,036(1)
$M_4(M_\odot)$(i=90 için)	0,11	0,78
e	0,10(5)	0,30(3)
ω (deg)	122(16)	105(7)

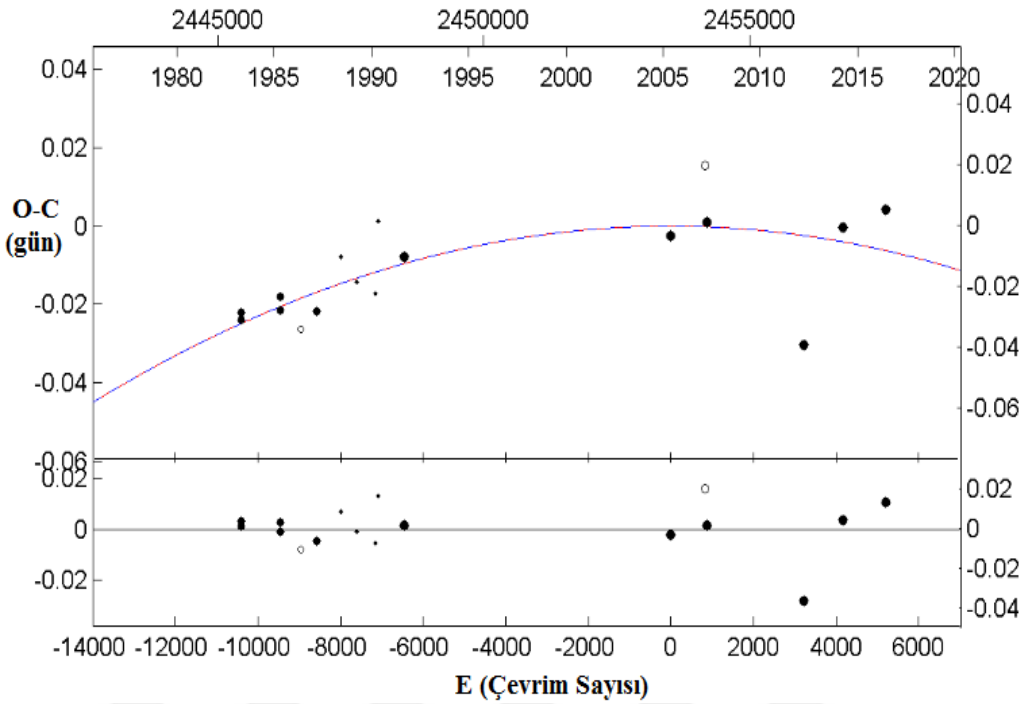
RT Scl, FO Vir, V361 Lyr, UU Lyn, RS Ind ve FT Lup örten çift sistemlerin yörünge dönemlerindeki değişim sadece azalan parabol olarak görülmüştür (Şekil 4.46 - Şekil 4.51). Parabol terimi için bağıntı (3.1) ve kütle aktarım oranları için ise bağıntı (3.3) kullanıldı. Dönem değişim ve kütle aktarım oranları Çizelge 4.18'de listelendi. Yörünge dönem azalma nedeni, yörünge dönemi azalan ECB türü sistemler için kullanılan açıklamalar ile aynıdır. RT Scl, FO Vir ve RS Ind için yapılan son dönem analizleri sırasıyla Hilditch ve King (1986), Lipari ve Sistero (1986) ve Marton ve ark. (1990) tarafından yapılmış olup bu çalışmada daha duyarlı bir veriyle yaklaşık 30 yıllık bir günceleme yapılmıştır. FO Vir'in dönem analiz çalışması ilk kez bu çalışmada yapılmıştır.

Çizelge 4.18. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları

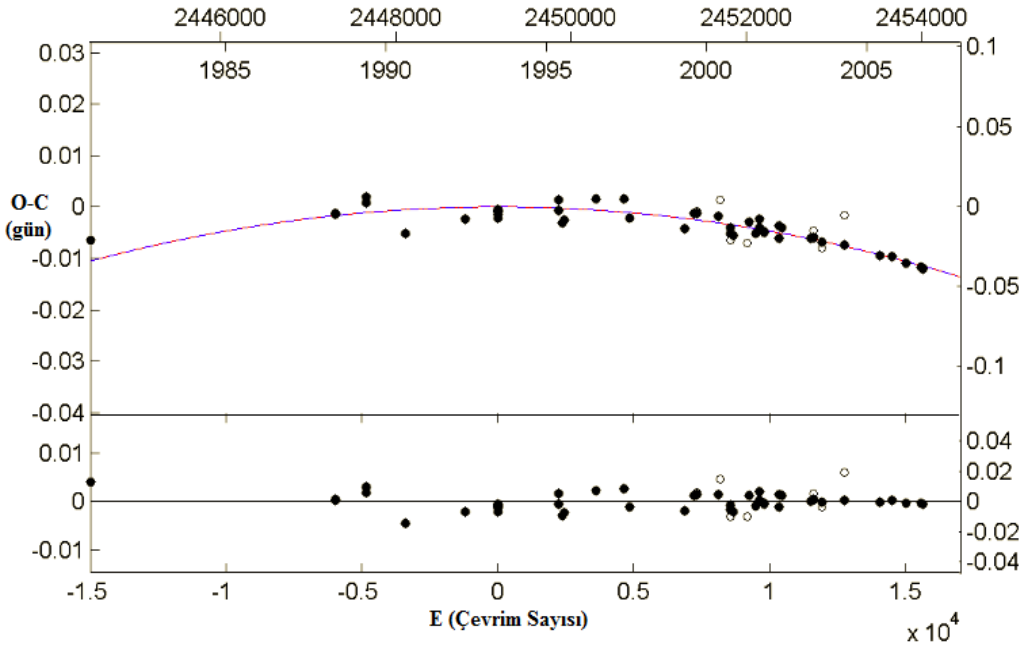
Parametreler	RT Scl	FO Vir	V361 Lyr	UU Lyn	RS Ind	FT Lup
T_o (HJD+2400000)	43450,6395 (2)	53510,6991 (5)	49163,8096 (2)	44674,0519 (4)	28619,6077 (2)	45062,0275 (1)
P_{orb} (gün)	0,5115600 (2)	0,7755636 (3)	0,30961395 (4)	0,46845988 (2)	0,62406084 (4)	0,4700845 (2)
Q (gün)	-0,47(3) $\times 10^{-10}$	-2,3(2) $\times 10^{-10}$	-0,46(4) $\times 10^{-10}$	-0,10(3) $\times 10^{-10}$	65(3) $\times 10^{-10}$	-1,05(3) $\times 10^{-10}$
dP/dt (s/yüzyıl)	-0,58	-1,87	-0,94	-0,13	-1,66	-1,41
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$-4{,}81\times10^{-8}$	$-2{,}76\times10^{-8}$	$-3{,}3\times10^{-7}$	$-1{,}2\times10^{-8}$	$-9{,}2\times10^{-8}$	$-1{,}7\times10^{-7}$



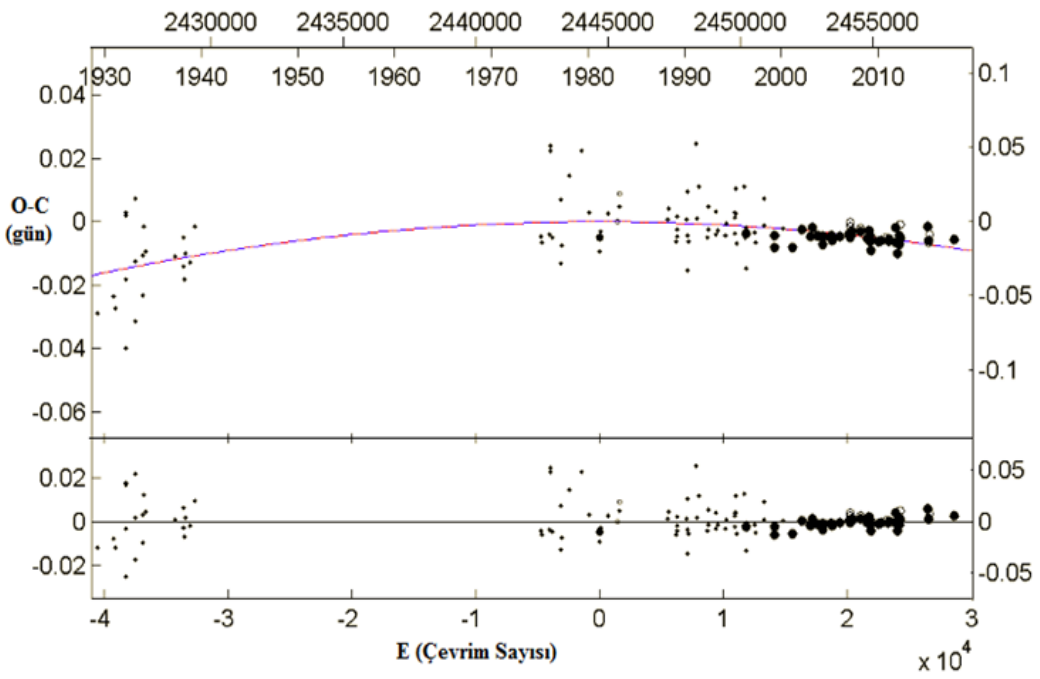
Şekil 4.46. RT Scl sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



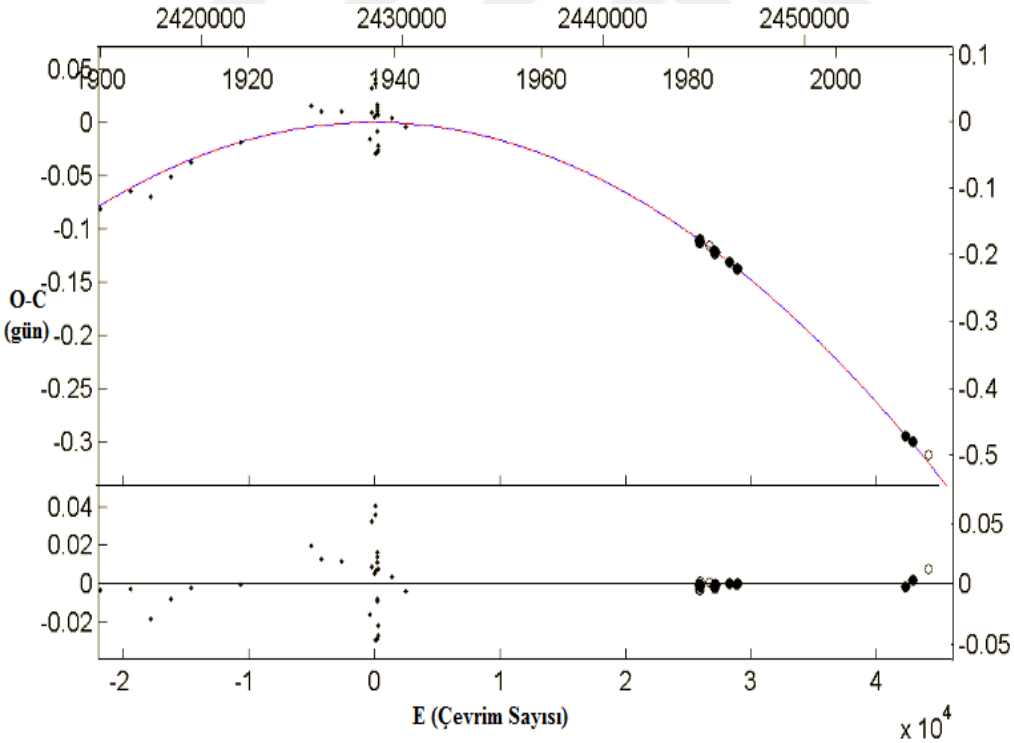
Şekil 4.47. FO Vir sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



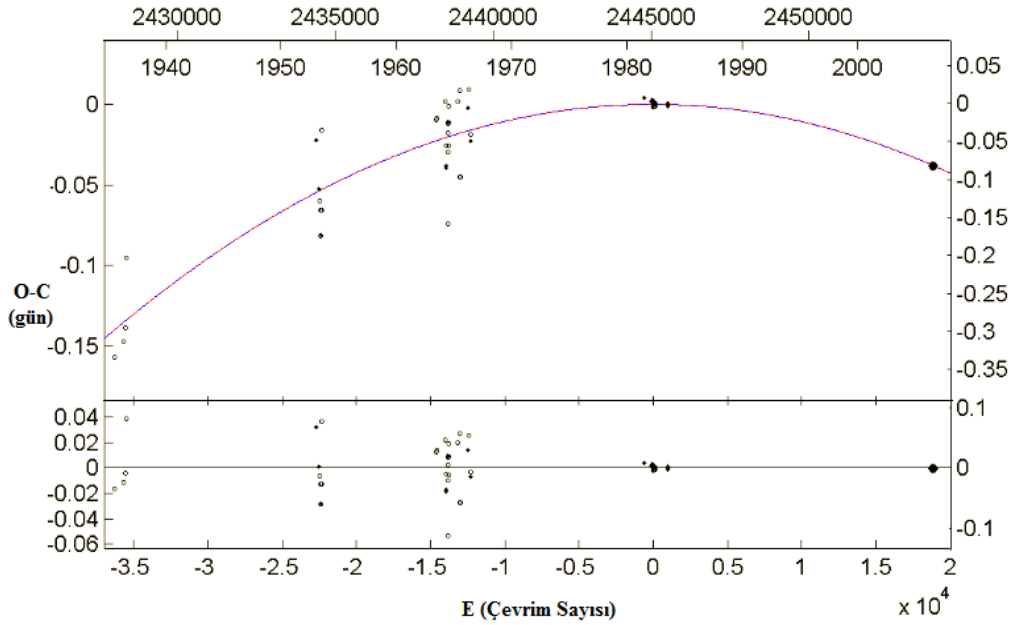
Şekil 4.48. V361 Lyr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



Şekil 4.49. UU Lyn sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



Şekil 4.50. RS Ind sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır



Şekil 4.51. FT Lup sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır

4.3.2.2. Dönemi Artan NCB Türü Sistemler

NCB türü örten çift sistemlerin $O-C$ analizleri sonucunda beş sistemin (CX Aqr, EG Cep, RV Crv, DD Mon ve KR Cyg) dönemlerinin arttığı ve artan parabolik değişimle birlikte sinüs benzeri bir değişim de görülmüştür. SW Lyn sisteminin dönem analizinde artan parabolik değişimle birlikte çevrimsel iki değişim olduğu da görülmüştür. Parabol, parabol + LITE ve Applegate parametreleri için ilgili bağıntılar (3.1, 3.5 ve 3.6) kullanılmış olup kütle aktarımı için ise bağıntı (3.3) kullanılmış ve elde edilen parametreler listelenmiştir (Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20). Sistemlerin kütle aktarımı ve dönem değişim oranlarını hesaplamak için Çizelge 2.3'teki parametreler kullanılmıştır. Yörünge dönem artmasının nedeni olarak bileşenler arası kütle aktarımı önerilmiştir (küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru). Çizelge 4.20 incelendiğinde, CX Aqr ve RV Crv sistemlerinin Applegate (1992), tarafından öngörülen parametre aralıklarına yakın değerler de olduğu görülmektedir. Ek olarak, CX Aqr ve RV Crv sistemleri için yapılan son ışık eğrisi analizlerinde (McFarlane ve ark., 1986) üçüncü bir bileşenin ışık katkısına rastlanılmamış. CX Aqr sistemi için Çizelge 4.19 incelendiğinde, önerilen üçüncü cisim kütlesi oldukça küçük değerdedir (0,088 $M_{\odot}$). Eğer böyle bir bileşen varsa (kahverengi bir cüce olabilir) belirlemek zor olacaktır. EG Cep, DD Mon ve KR Cyg için Çizelge 4.20 incelendiğinde, Applegate (1992), tarafından öngörülen parametre aralıklarına yakın değerler olduğu

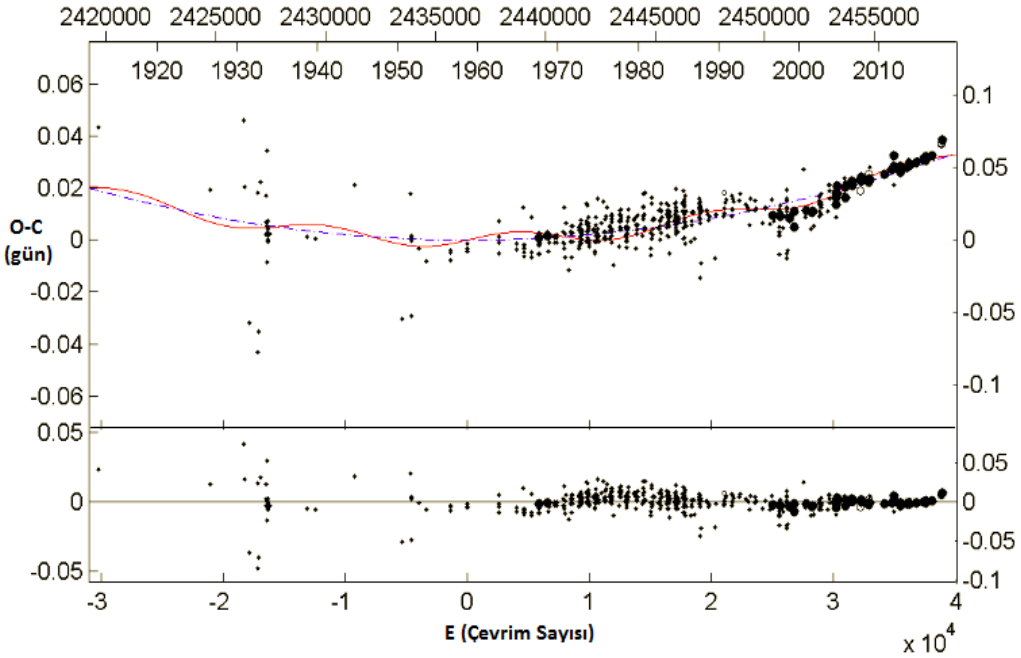
görülmektedir. Ancak EG Cep ve KR Cyg sistemlerinin modulasyon dönemleri sırasıyla 86 ve 78 yıl olarak belirlenmiş olup literatürde bu kadar büyük bir döneme sahip herhangi bir çalışma bulunmamaktadır (literatürde modulasyon dönemi için 40-50 yılı geçen çalışma pek yok). DD Mon örten çift sistemi için, Gazeas ve ark. (2010) tarafından sistemin ışık eğrisi analizi yapılmış olup analizde üçüncü bileşenin ışık katkısı %6 olarak hesaplanmıştır. DD Mon sisteminde, üçüncü bileşen ile beraber üçlü sistemin kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin dönemi yaklaşık 47 yıl olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.19). DD Mon için, olası üçüncü bileşenin minimum kütlesi de 0,3 $M_{\odot}$ olarak belirlenmiş olup bileşen bir anakol yıldız olması halinde, M tayf türünde bir cücedir. SW Ly'nin tayf türü F5+K5 olup ikinci bileşen konvektif zarfa sahip ve Applegate (1992) tarafından önerilen değerlere, yakın değerler bulunmuştur (Çizelge 4.16). Ancak bileşenlerin kuadrupol momentlerinin yaklaşık değerleri 10^{48} g cm^2 olarak belirlendi (kuadrupol momenti açıklaması için bakınız PY Vir sistemi) ve bu değer Lanza ve Rondo (2002) tarafından önerilen (10^{51}-10^{52}g cm^2) aralıktan uzaktır. SW Lyn sistemi için üçüncü ve dördüncü cisimler ile ilgili bazı yörünge parametreleri ve olası üçüncü, dördüncü cisimlerin minimum kütleleri Çizelge 4.17'de listelenmiştir.

Çizelge 4.19. Dönemi artan NCB türü sistemlerin $O-C$ analizi sonucunda elde edilen parametreleri ve hataları

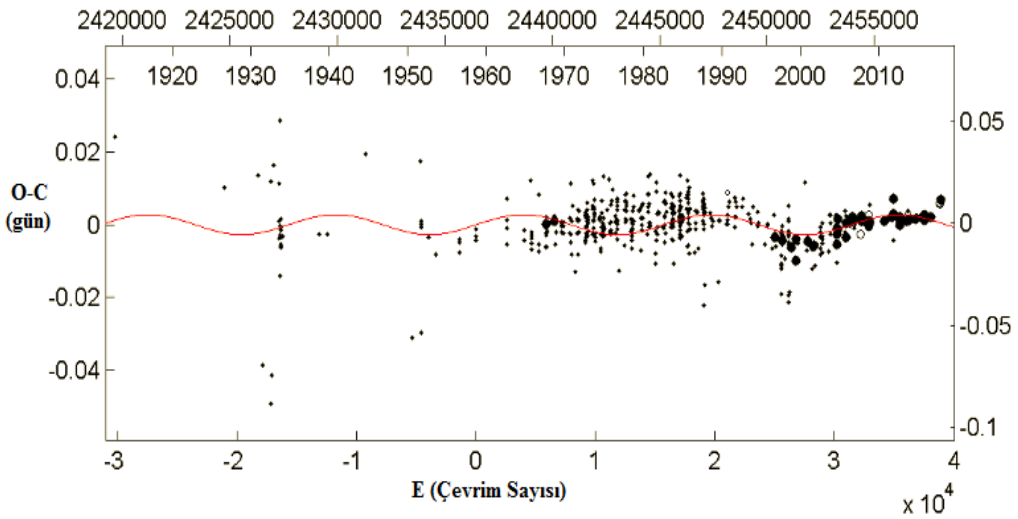
Parametreler	CX Aqr	EG Cep	RV Crv	DD Mon	KR Cyg
T_o (HJD+2400000)	36453,5583(2)	45580,5517(9)	41029,4447(9)	30321,4503(6)	25700,4320(9)
P_{orb} (gün)	0,55598565(7)	0,544621488(3)	0,7472401(5)	0,568010888(3)	0,8451521(3)
Q (gün)	$2,1(2)\times10^{-11}$	$1,4(2)\times10^{-12}$	$2,6(2)\times10^{-10}$	$1,12(3)\times10^{-10}$	$2,2(2)\times10^{-11}$
dP/dt (s/yüzyıl)	0,24	0,02	2,2	1,24	0,16
dM/dt ($M_{\odot}$/yıl)	$2,29\times10^{-8}$	$1,7\times10^{-9}$	$6,8\times10^{-8}$	$2,37\times10^{-7}$	$1,7\times10^{-8}$
$a_{12}\sin i$ (AB)	0,47(5)	2,06(23)	3,4(2)	1,74(36)	1,5(4)
e	0,0	0,1(1)	0,0	0,28(5)	0,0
ω (deg)	90	165(24)	90	90	90
A_3	0,003(1)	0,012(5)	0,02(1)	0,010(5)	0,008(2)
T'(HJD+2400000)	53981(217)	42447(343)	47007(406)	46793(887)	53907(502)
P_{12} (yıl)	24(1)	86(15)	45(3)	47(5)	78(9)
$f(m_3)(M_{\odot})$	0,00018(5)	0,0011(1)	0,018(4)	0,0024(4)	0,0006(1)
$m_3\,(M_{\odot})$(i=90 için)	0,088	0,19	0,49	0,3	0,22

Çizelge 4.20. Dönemi artan NCB türü sistemler için Applegate modeline ilişkin bazı parametreler

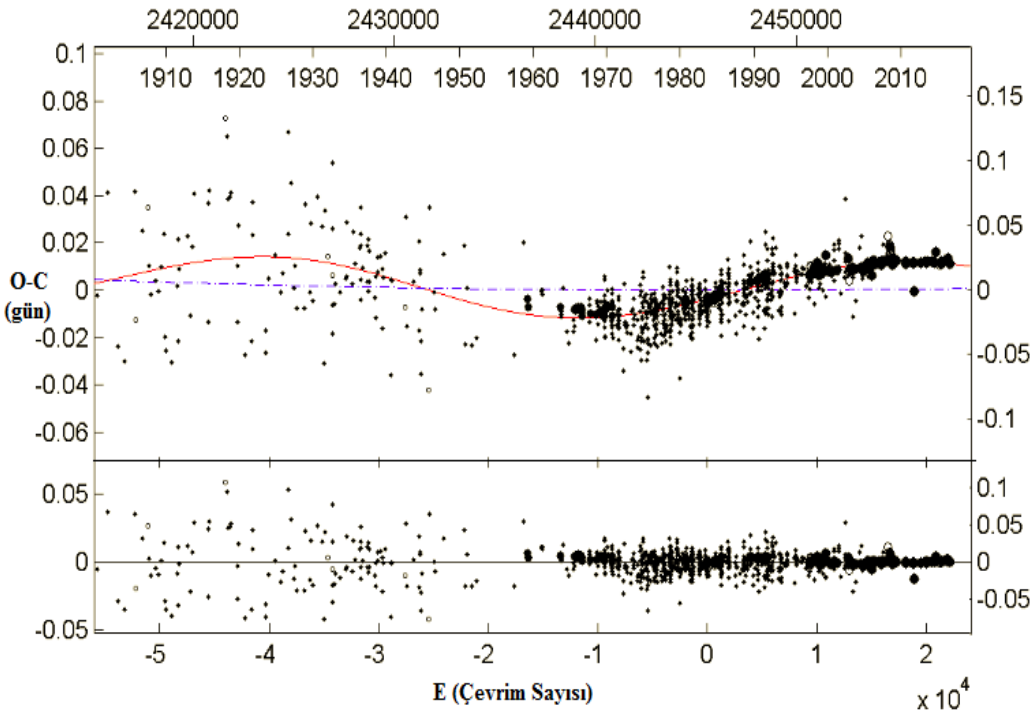
Parametreler	CX Aqr	EG Cep	RV Crv	DD Mon	KR Cyg
P_{mod}	24	86	45	47	78
$\Delta P/P$	$4{,}3\times10^{-6}$	$4{,}8\times10^{-6}$	$1{,}5\times10^{-5}$	$7{,}3\times10^{-6}$	$3{,}5\times10^{-6}$
ΔJ (erg s^{-1})	$-2{,}98\times10^{47}$	$-4{,}1\times10^{47}$	$-8{,}2\times10^{47}$	$-1{,}45\times10^{47}$	$-6{,}7\times10^{47}$
$\Delta\Omega/\Omega$	0,002	0,002	0,003	0,0086	0,002
ΔE (erg)	$7{,}87\times10^{40}$	$9{,}4\times10^{40}$	$2{,}2\times10^{41}$	$1{,}6\times10^{42}$	1×10^{41}
I_s (g cm^2)	$1{,}13\times10^{54}$	$1{,}76\times10^{54}$	3×10^{54}	$1{,}32\times10^{54}$	$4{,}3\times10^{54}$
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,08	0,03	0,13	0,86	0,03
B (kG)	10	4	6	14	3



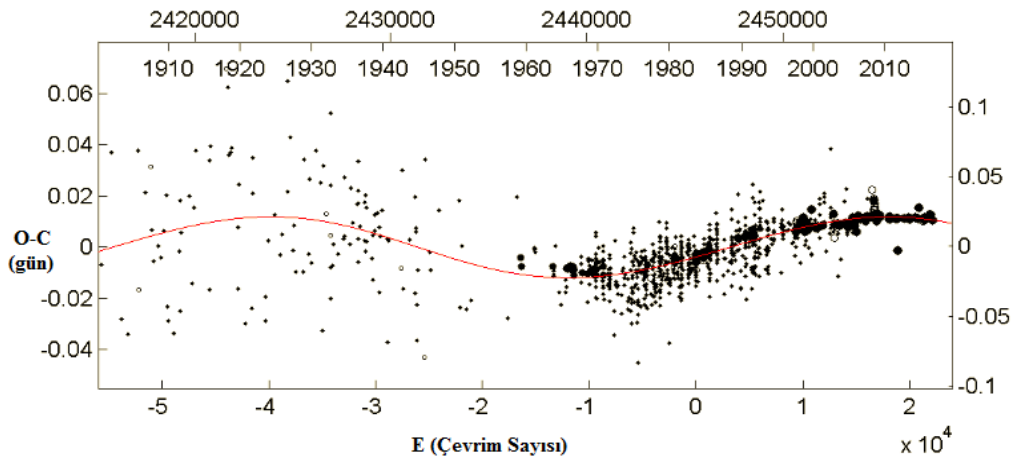
Şekil 4.52. CX Aqr sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



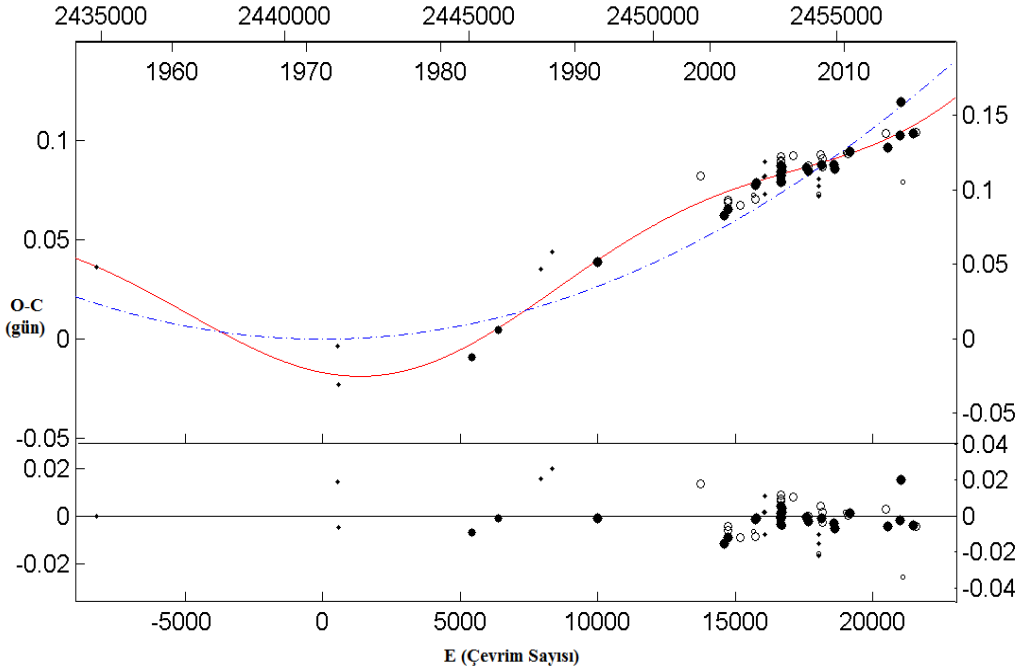
Şekil 4.53. CX Aqr sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



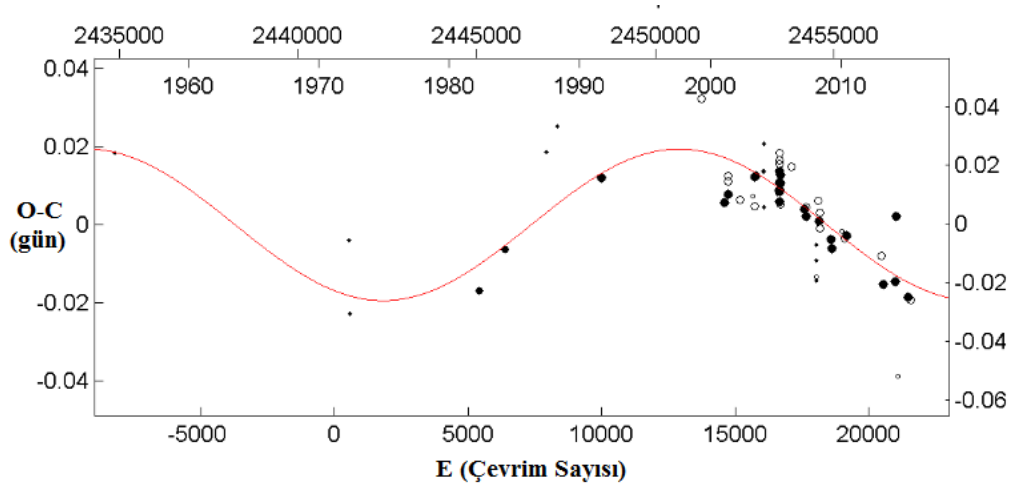
Şekil 4.54. EG Cep sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



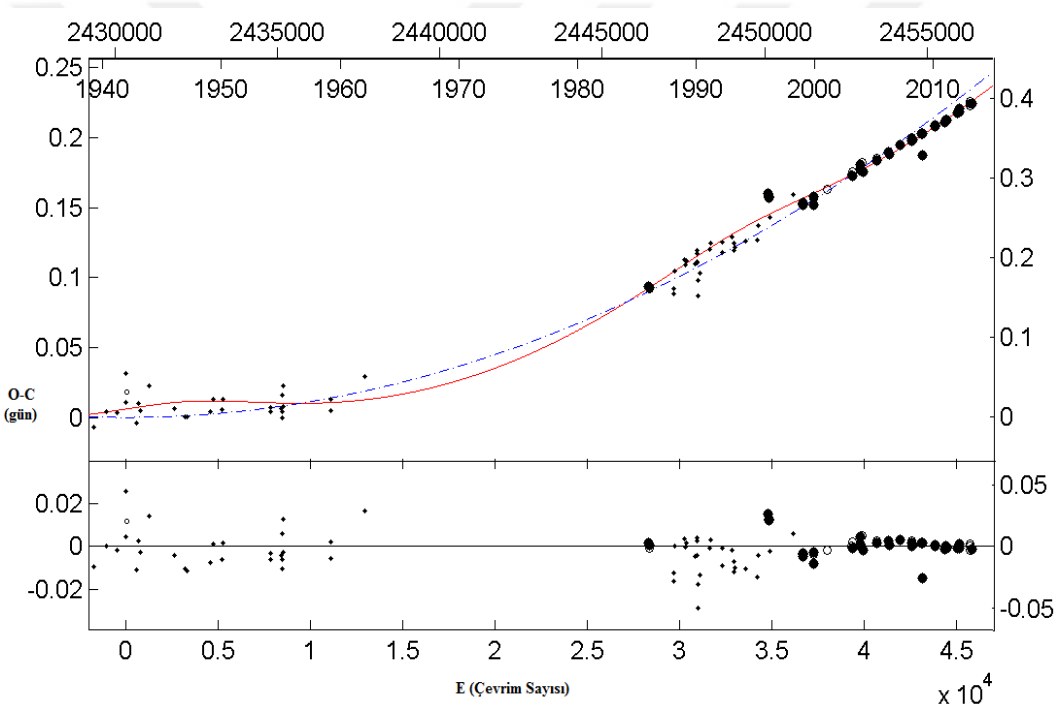
Şekil 4.55. EG Cep sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



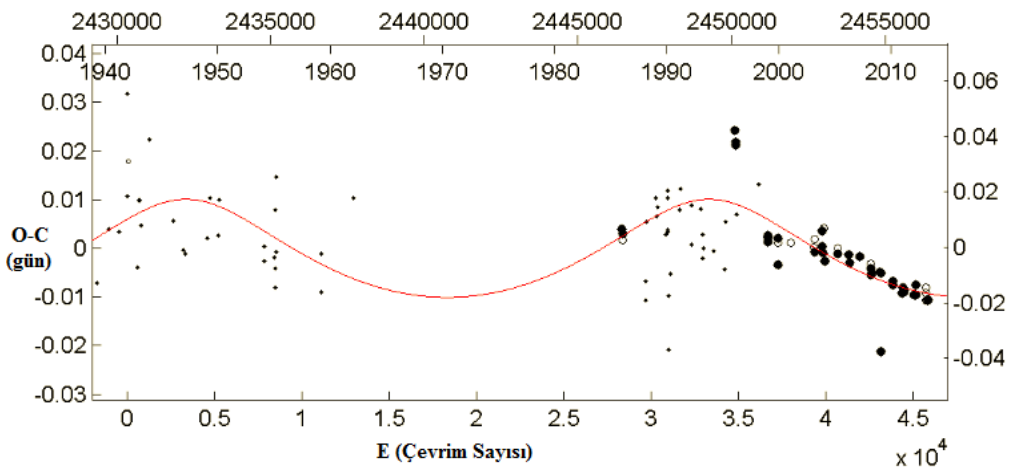
Şekil 4.56. RV Crv sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



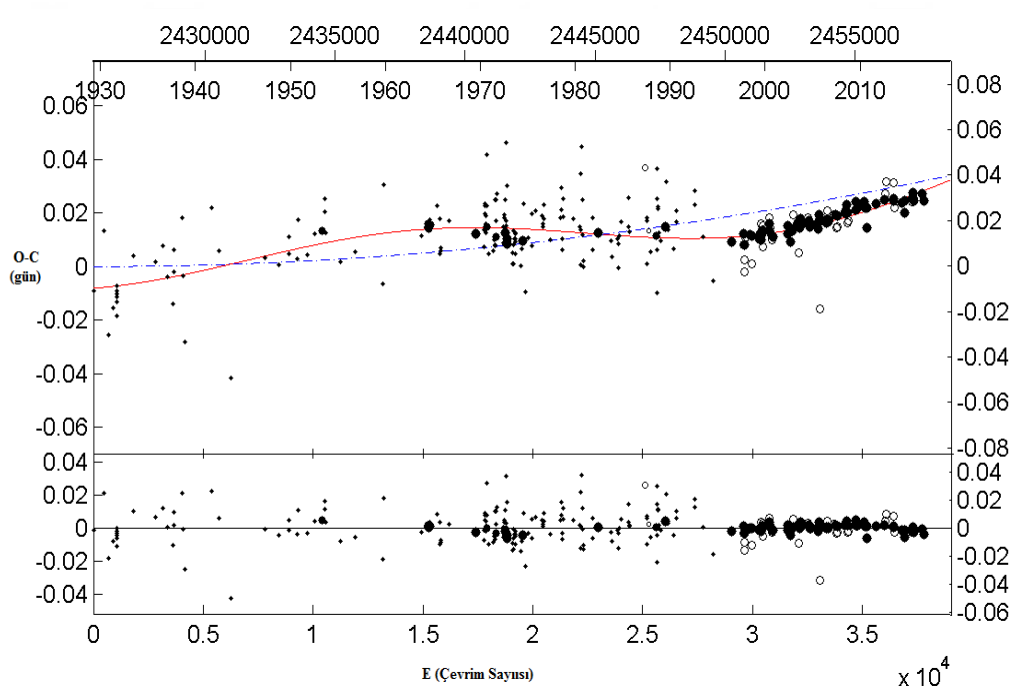
Şekil 4.57. RV Crv sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



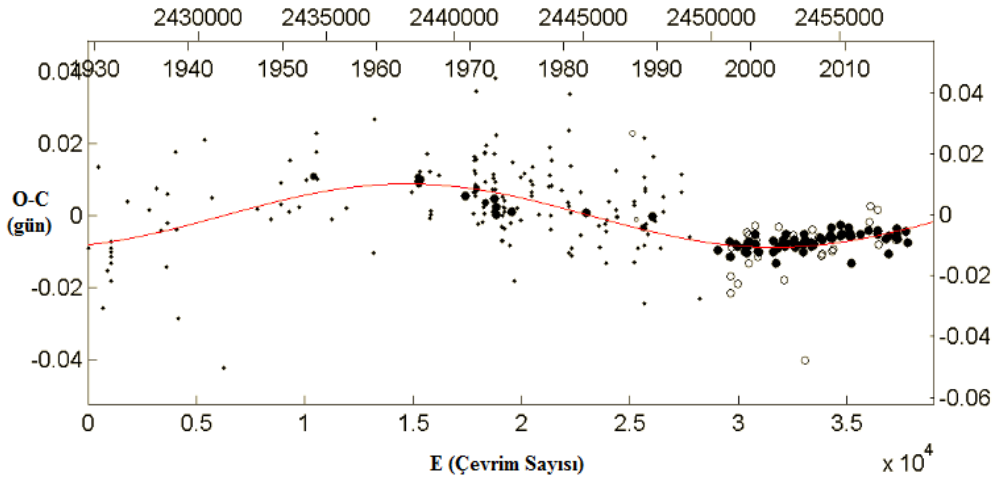
Şekil 4.58. DD Mon sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



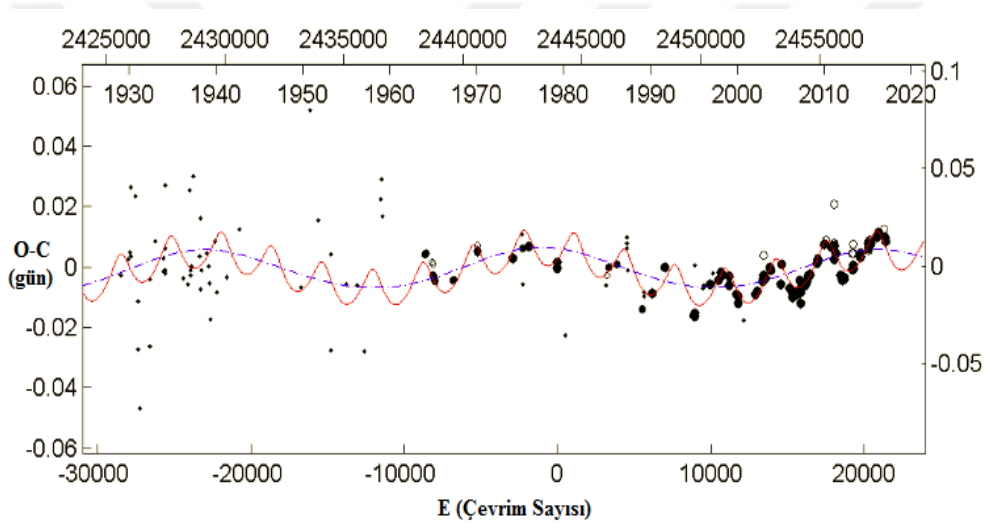
Şekil 4.59. DD Mon sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



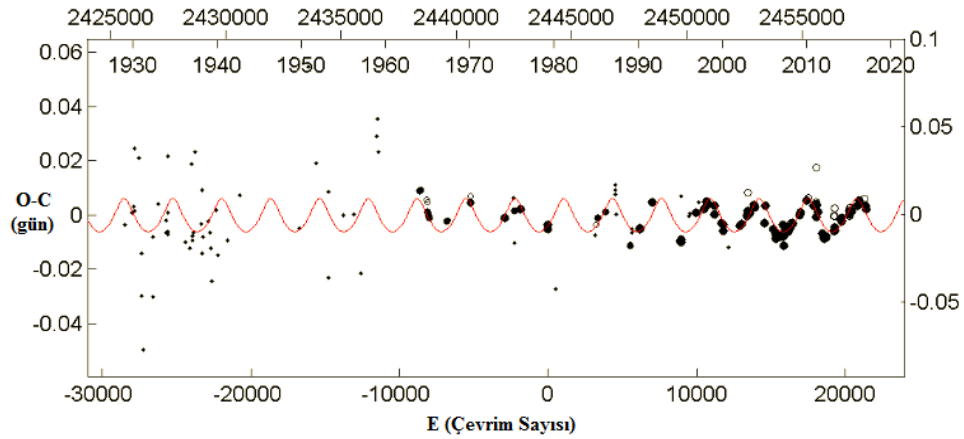
Şekil 4.60. KR Cyg sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama 4.11 ile aynıdır



Şekil 4.61. KR Cyg sisteminin çevrimsel değişimi. Açıklama 4.12 ile aynıdır



Şekil 4.62. SW Lyn sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.44 ile aynıdır

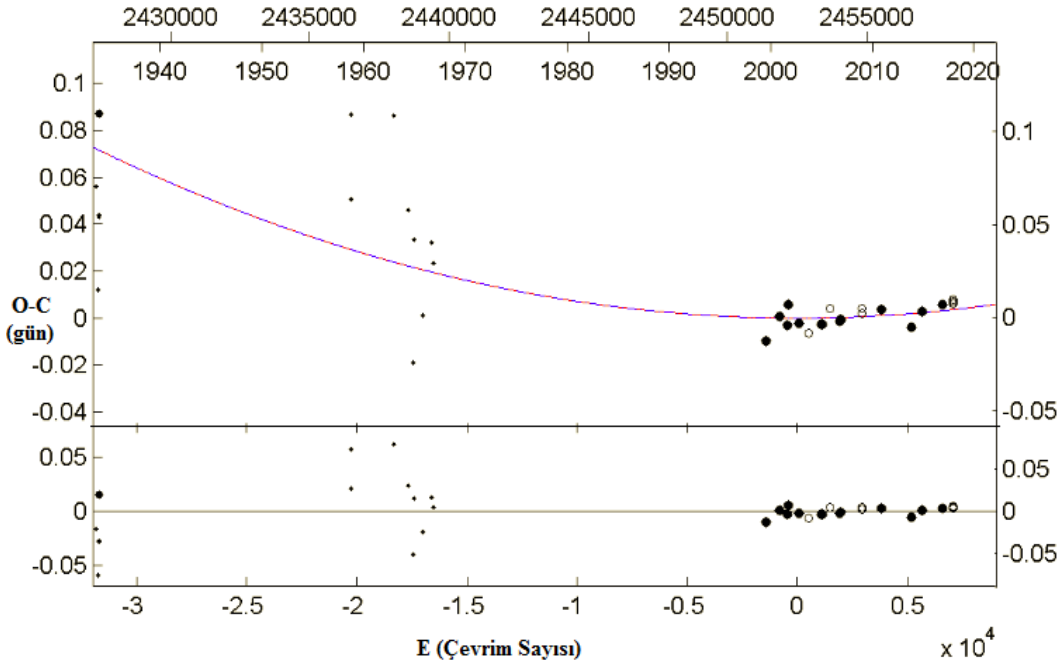


Şekil 4.63. SW Lyn sistemi için dördüncü cisim kuramsal fiti

Örten çift sistem YY Cet'in $O-C$ dağılımında sadece artan parabolik değişim olduğu görülmektedir (Şekil 4.64). YY Cet sistemi için parabolik değişim bileşenler arası kütle aktarımı önerilebilir. Yörünge dönemindeki artma oranıyla bu artmayı açıklamak için kullanılan kütle aktarım (küçük kütleli bileşenden büyük kütleli olana doğru) oranı dP/dt=0,56 s/yüzyıl ve dM/dt=5,2×10^{-8} $M_{\odot}$/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.21. Yörünge döneminde sadece artan parabolik değişim gösteren YY Cet sisteminin $O-C$ analizi sonucu elde edilen parametreleri ve hataları

T_o (HJD+2400000)	P_{orb} (gün)	Q (gün)	dP/dt (s/yüzyıl)	dM/dt ($M_{\odot}$/yıl)
52500,1671(5)	0,79046073(4)	0,71(8) ×10^{-10}	0,56	5,2×10^{-8}

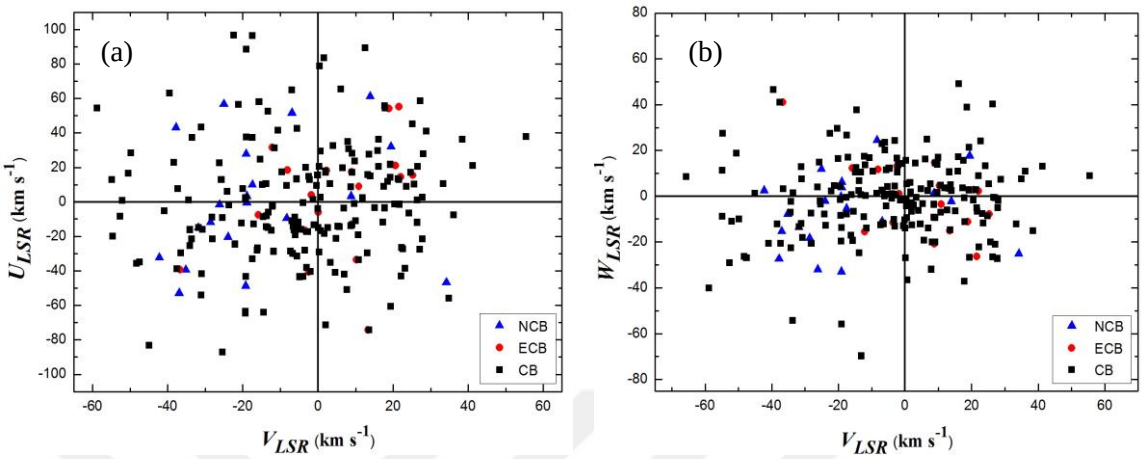


Şekil 4.64. YY Cet sisteminin $O-C$ grafiği ve kuramsal eğriler ile temsili. Açıklama Şekil 4.23 ile aynıdır

4.4. Kinematik ve Dinamik Analizler

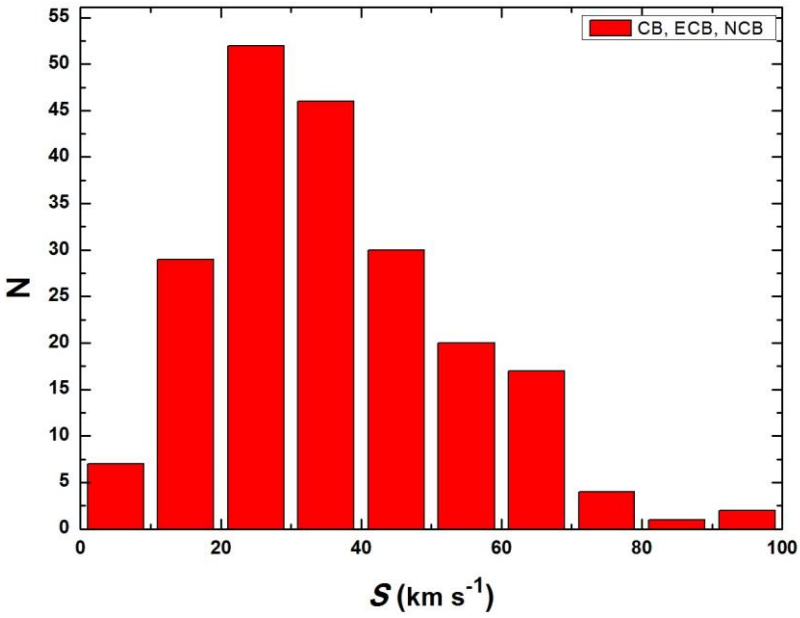
Tez çalışmasında incelenen sistemlerin Güneş civarındaki uzay hızlarını hesaplayabilmek için Güneş'e göre uzay hız bileşenlerinden Güneş'in LSR'ye göre uzay hızlarının bileşenlerini çıkartmak gerekir. Yapılan bu tez çalışmasında U=8,83, V=14,19 ve W=6,57 km s^{-1} (Coşkunoğlu ve ark., 2011) değerleri uzay hızlarının LSR düzeltmesi için kullanıldı. Bu düzeltme yapılırken Galaksinin simetrik bir yapı olduğu kabul edildi ve Galaksi merkezinden, spiral kollardan ve uydu galaksilerinden kaynaklanabilecek tedirginlikler ihmal edilir. Aşağıdaki grafiklerde uzay hız bileşenlerine diferansiyel dönme

ve LSR hız düzeltmeleri yapılmış olan 20 NCB ve 20 ECB ve 168 CB yıldızı farklı semboller ile gösterilmiş olup; $V-U$ (Şekil 4.65(a)), $V-W$ (Şekil 4.65(b)) hız−hız diyagramları gösterilmiştir.



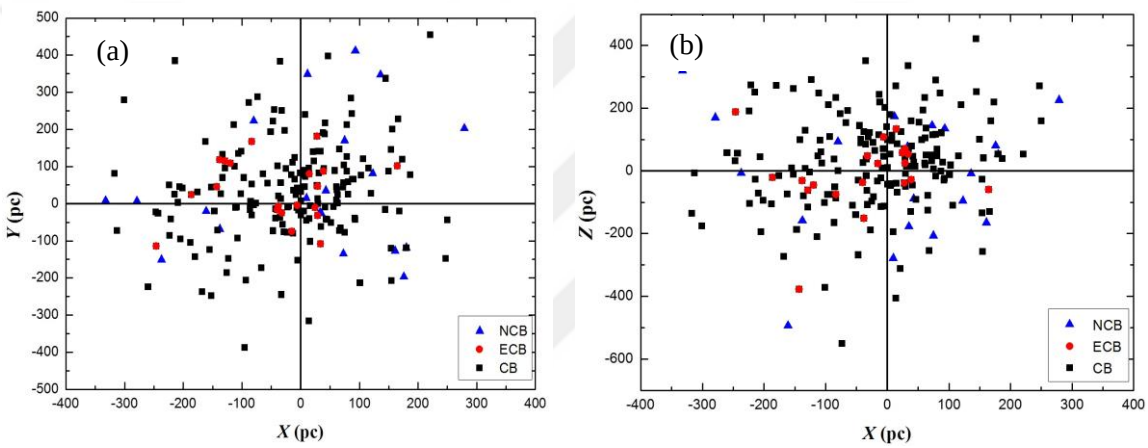
Şekil 4.65. Diferansiyel düzeltme ve LSR düzeltmesi yapılmış 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB yıldızının $V-U$ (a) ve $V-W$ (b) hız−hız grafikleri

Bu tez çalışmasında kinematik hesaplamalar yapılmış 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB türü sistemin toplam uzay hızlarına ait frekans dağılımı Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Sistemlerin toplam uzay hız dağılımı 100 km s^{-1}'den küçük olup ve genellikle 10-60 km s^{-1} aralığında yer almaktadır.



Şekil 4.66. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin toplam uzay hızlarının frekans dağılımı

Sistemlerin Güneş merkezli Galaktik konumlarıda önem teşkil ettiği için bu yüzden sistemlerin Galaktik konumları belirlenmiştir. NCB ve ECB için X, Y ve Z düzlemleri üzerinde sistemlerin medyan uzaklıkları sırasıyla 14 pc, 12 pc ve -8 pc'tir. Bu değerleri NCB ve ECB yıldızlarının Güneş civarında yansız bir dağılım gösterdiğini ifade etmektedir. CB için medyan uzaklıkları sırasıyla -7 pc, 27 pc ve 28 pc'tir. Bu medyan uzaklık değerleri de CB sistemlerinin Güneş civarında bir yanlılık göstermediğini belirtmektedir. Tez çalışmasında incelenen sistemlerinin $X-Y$ ve $X-Z$ uzaklık düzlemlerindeki konumları Şekil 4.67'de gösterilmiştir. Bu sistemlerin farklı uzaklık düzlemlerindeki göstermiş oldukları dağılımlar Güneş civarında simetrik olduğu ifade etmektedir. Özellikle Galaktik düzleme dik doğrultudaki dağılımları onların ince disk popülasyonuna ait olduklarını göstermektedir.



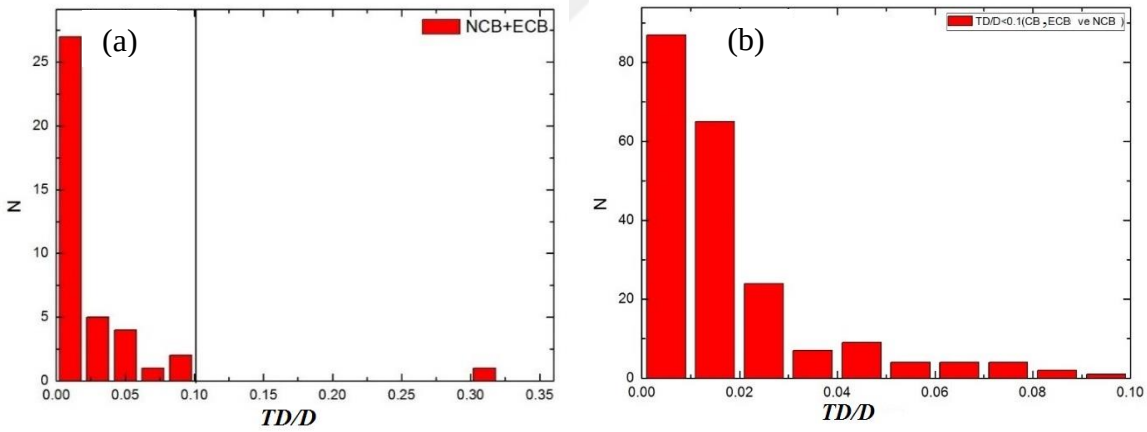
Şekil 4.67. Tez çalışmasında incelenen sistemlerin Güneş merkezli Galaktik uzay dağılımları: $X-Y$ (a) ve $X-Z$ (b) grafikleri

Bensby ve ark. (2003, 2005)'nın yaptığı kinematik çalışmada belirledikleri kriterlere göre; 192 CB, 20 ECB ve 20 NCB sisteminin, yüksek olasılıklı ($TD/D \leq 0{,}1$) ve düşük olasılıklı ($0{,}1 < TD/D \leq 1$) ince disk ile yüksek olasılıklı ($TD/D > 1$) kalın disk ve halo yıldızlarının kinematik bulguları Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. CB, ECB ve NCB türü sistemlerin yüksek olasılıklı ince disk ($TD/D \leq 0{,}1$) ve düşük olasılıklı ince disk ($0{,}1 < TD/D \leq 1$) ile yüksek olasılıklı ($TD/D > 1$) kalın disk ve halo yıldızlarının hız dağılımları. Hızlar km s^{-1} birimindedir

		Yıldızların Galaktik popülasyonlara üyelik olasılıkları		
		$TD/D \leq 0{,}1$	$0{,}1 \leq TD/D < 1$	$TD/D > 1$
Hız Aralıkları	CB	$-87{,}02 \leq U_{LSR} \leq 89{,}3$	$-112{,}8 \leq U_{LSR} \leq 96{,}62$	$-99{,}21 \leq U_{LSR} \leq 88{,}55$
		$-54{,}89 \leq V_{LSR} \leq 41{,}22$	$-54{,}89 \leq V_{LSR} \leq 55{,}45$	$-118{,}92 \leq V_{LSR} \leq -13{,}16$
		$-37{,}16 \leq W_{LSR} \leq 38{,}8$	$-29{,}09 \leq W_{LSR} \leq 49{,}07$	$-69{,}67 \leq W_{LSR} \leq 106{,}62$
	ECB	$-74{,}14 \leq U_{LSR} \leq 55{,}15$	$U_{LSR} = -39{,}45$	---
		$-15{,}85 \leq V_{LSR} \leq 25{,}31$	$V_{LSR} = -36{,}70$	---
		$-26{,}23 \leq W_{LSR} \leq 14{,}56$	$W_{LSR} = 41{,}01$	---
	NCB	$-52{,}89 \leq U_{LSR} \leq 61{,}24$	---	---
		$-42{,}57 \leq V_{LSR} \leq 34{,}19$	---	---
		$-32{,}89 \leq W_{LSR} \leq 24{,}52$	---	---

Kalın ve ince disk popülasyonuna üye yıldızları için *TD/D* oranını; 168 CB, 20 ECB ve 20 NCB türü sistemler için hesapladı ve *TD/D* oranının frekans dağılımını Şekil 4.68'de gösterilmiştir.



Şekil 4.68. CB, ECB ve NCB sistemlerinin *TD/D* değerlerinin frekans dağılımları

Şekil 4.68(a) 20 NCB ve 20 ECB türü sistemler için frekans dağılımı gösterilmektedir. Sistemlerden 39'u yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna üyeyken, bir ECB türü olarak sınıflanan RW Com yıldızı düşük olasılıklı ince disk popülasyonuna aittir. RW Com sisteminin W_{LSR} hız bileşenin değeri göreceli olarak yüksek olduğundan düşük olasılıklı ince disk popülasyonuna üye olmaktadır. Ayrıca yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna üye 20 NCB, 19 ECB ve 168 CB sistemleri için Şekil 4.68(b) frekans dağılımı gösterilmiştir.

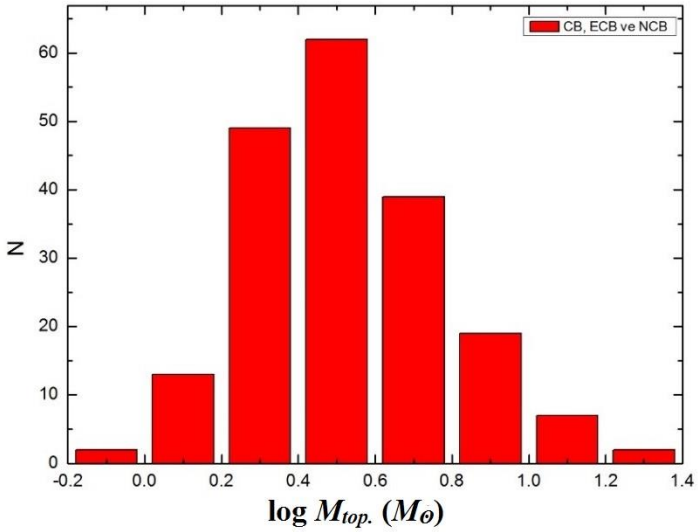
Kinematik özellikler açısından farklılık gösteren alt grupları belirlemek ve kinematik olarak oluşturulan homojen gruplarda $U-V$, $U-W$ hız−hız diyagramları üzerinde anlamak zor olacaktır. Bu yüzden farklı alt gruplar oluşturuldu ve grupların homojenliği tartışılarak kinematik özellileri belirlenmeye çalışıldı. CB, ECB ve NCB'ler için dinamik evrimleri incelenirken belli kriterlere göre oluşturulan ve aynı zamanda homojen olan alt grupların kinematik özellikleri ve kinematik yaşları dikkate alınarak yapılmıştır. Sistemler toplam kütle, yörünge dönemi, yörünge açısal momentum, yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve değme/taşma parametresine göre farklı altı alt grupta toplandı. Her grup homojen olacak şekilde bazı kriterler göz önünde bulundurularak grupların kinematik yaşları belirlendi. Aynı zamanda toplam kütle, yörünge dönemi, açısal momentum, yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve değme/taşma parametrelerinin her birisinin ortalama değerleri de göz önünde bulunduruldu.

4.4.1. Toplam Kütleye Göre Sınıflama

Sistemlerin kütleye göre yapılan alt grupların ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar ve hataları Çizelge 4.23'te verilmiştir. Homojen olarak yapılan sınıflamada 154 CB, 19 ECB ve 20 NCB türü sistem kullanılmıştır. Çizelgeye göre küçük kütleli yıldızların (özellikle değen çift sistemler için farklı alt grupları ayırdığımızda) kinematik yaşları daha büyükken, büyük kütleli yıldızların kinematik yaşları daha küçük hesaplanmıştır. Büyük kütleli yıldızların küçük kütleli yıldızlara göre daha kısa sürede anakoldan ayrıldıkları gerçeği dikkate alındığında yapılan hesapların yıldız evrimine uygun olduğu görülmektedir. Aynı şekilde erken değme evresindeki (ECB) sistemlerin ortalama kütlesine karşılık gelen kinematik yaşları, CB ile paralellik göstermektedir. Fakat değmeye yakın sistemlerin (NCB) ortalama kütlesine göre elde ettiğimiz kinematik yaşları, ECB ve CB sistemleriyle parelellik içindedir. NCB türler baş bileşen daha büyük kütleli ve ileri tayf türünden (genellikle A-F arasında) bir bileşene sahipken yoldaş bileşen genellikle geri tayf türünden (genellikle K tayf türünden) ve küçük kütleli bileşenlidir. Yıldız evrimine göre küçük kütleli yıldızlar anakoldan ayrılma süreli daha uzun süreceği için ve dolayısıyla NCB türlerin ikinci bileşeninin küçük kütleli olması yaşlarının daha büyük hesaplanmasının nedeni bu olabilir. CB, ECB ve NCB sistemlerinin toplam kütle (log M_{top}) frekans dağılımları Şekil 4.69'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. Çalışılan sistemlerin toplam kütleye göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB				ECB	NCB
M_{top}. Aralığı	$-0,06 \leq \log M_{top} < 0,19$	$0,19 \leq \log M_{top} \leq 0,26$	$0,26 < \log M_{top} \leq 0,35$	$0,36 < \log M_{top} < 0,61$	$0 < \log M_{top} < 0,51$	$0,20 < \log M_{top} < 0,62$
$<\log M_{top}> (M_{\odot})$	0,13	0,23	0,31	0,44	0,32	0,31
N	38	39	38	39	19	20
$<U_{LSR}>$ (km s^{-1})	-0,53	-0,60	2,16	-1,33	1,92	0,56
$<V_{LSR}>$ (km s^{-1})	-1,30	-0,30	-2,19	-2,33	5,94	-16,03
$<W_{LSR}>$ (km s^{-1})	-3,47	1,31	-0,26	-0,41	-3,43	-6,35
σ *(U)* (km s^{-1})	35,24	31,48	30,59	27,92	31,29	34,77
σ *(V)* (km s^{-1})	21,06	20,42	19,19	18,94	13,53	25,74
σ *(W)* (km s^{-1})	14,70	13,96	11,19	14,79	12,23	16,65
σ (top) (km s^{-1})	43,61	40,04	37,81	36,84	36,22	46,35
τ (Gyıl)	3,47(57)	2,86(53)	2,50(58)	2,35(45)	2,25(47)	3,95(63)



Şekil 4.69. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik toplam kütlelerinin frekans dağılımı

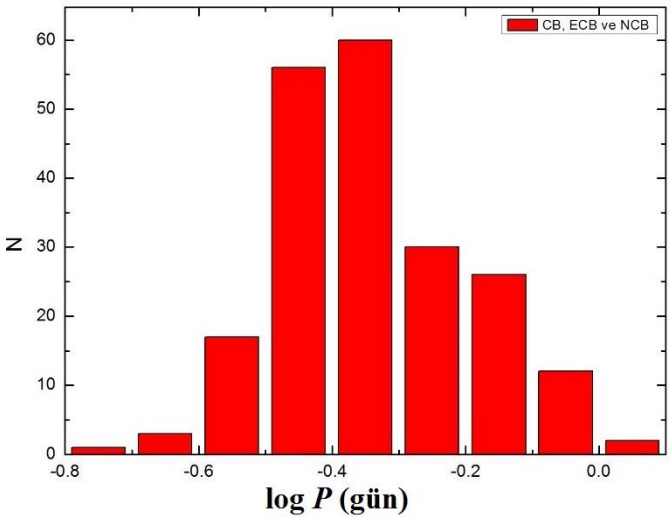
4.4.2. Yörünge Dönemlerine Göre Sınıflama

Ayrıca bu çalışmada CB, ECB ve NCB yıldızlarının yörünge dönemleriyle kinematik yaşları arasındaki durum araştırılmıştır. Yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait (*TD/D* < 0,1) 168 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin farklı aralıklardaki yörünge dönemlerine göre kinematik yaşları tayin edilmiştir. Özellikle CB sistemleri için farklı aralıklarda yörünge dönemlerine göre oluşturulan alt gruplar için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.24'te listelenmiştir. Çizelgede ortalama yörünge dönemi değeri artıkça kinematik yaşın küçüldüğü açık bir şekilde görülmektedir. Aynı ilişki yörünge açısal momentum ve toplam kütle için yapılan

sınıflamalarda da görülmektedir.

Çizelge 4.24. Çalışılan sistemlerin yörünge dönemlerine göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB				ECB	NCB
P Aralığı	-0,72< log *P* ≤-0,441	-0,439 ≤ log *P* ≤ -0,378	-0,377 ≤ log *P* ≤ -0,240	-0,238 ≤ log *P* ≤ 0,054	-0,551 < log *P* < -0,097	-0,510 < log *P* <0
N	42	42	42	42	19	20
<log *P*> (gün)	-0,50	-0,41	-0,34	-0,16	-0,33	-0,19
$<U_{LSR}>$ (km s^{-1})	-0,93	-3,88	8,49	-5,73	1,92	0,56
$<V_{LSR}>$ (km s^{-1})	0,30	-2,60	-1,33	-2,69	5,94	-16,03
$<W_{LSR}>$ (km s^{-1})	-3,14	-1,21	-2,17	2,50	-3,43	-6,35
σ *(U)* (km s^{-1})	34,09	31,37	29,82	28,77	31,29	34,77
σ *(V)* (km s^{-1})	21,10	17,77	22,73	17,28	13,53	25,74
σ *(W)* (km s^{-1})	13,56	15,50	14,57	11,01	12,23	16,65
σ (top) (km s^{-1})	42,32	39,24	40,23	35,32	36,22	46,35
τ (Gyıl)	3,25(61)	2,73(42)	2,89(58)	2,11(45)	2,25(47)	3,95(63)



Şekil 4.70. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik yörünge dönemlerinin frekans dağılımı

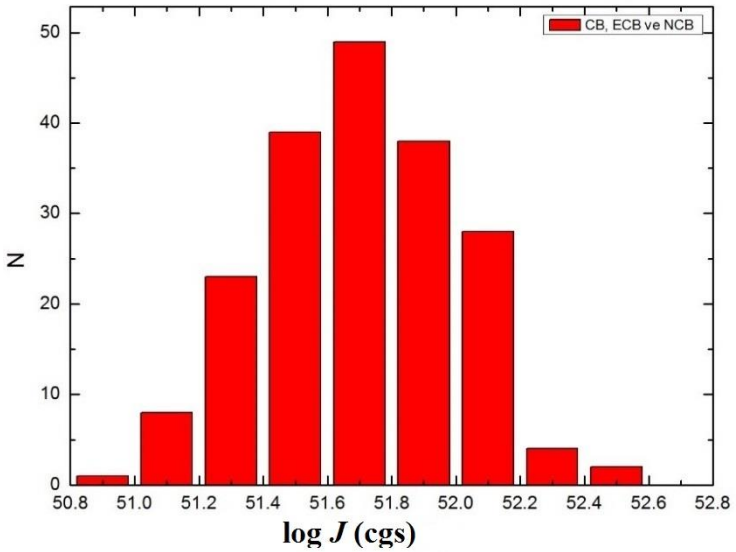
4.4.3. Yörünge Açısal Momentuma Göre Sınıflama

Bu çalışmada, temel fiziksel parametreleri (*M*, *R*, *a*, *P* vb.) iyi bilinen ve yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait (*TD/D* < 0,1) 153 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin farklı aralıklardaki yörünge açısal momentumlarına göre kinematik yaşları tayin edilmiştir. Özellikle CB sistemleri için farklı aralıklarda yörünge açısal momentuma göre oluşturulan alt gruplar için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen

kinematik yaşlar hesaplanmış ve Çizelge 4.25'te listelenmiştir. Çizelgede ortalama yörünge açısal momentum değeri artıkça kinematik yaşın küçüldüğü açık bir şekilde görülmektedir. 153 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin yörünge açısal momentum frekans dağılımı Şekil 4.71'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.25. Çalışılan sistemlerin yörünge açısal momentumlarına göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB				ECB	NCB
log J Aralığı	50,905 ≤ log J ≤ 51,482	51,485 ≤ log J ≤ 51,652	51,653 ≤ log J ≤ 51,867	51,875 ≤ log J ≤ 52,419	51,1 < log J < 52,22	51,5 < log J < 52,43
<log J> (cgs)	51,287	51,576	51,741	52,025	51,773	51,949
N	38	38	38	39	19	20
$<U_{LSR}>$ (km s^{-1})	-2,28	3,14	2,70	-4,38	1,92	0,56
$<V_{LSR}>$ (km s^{-1})	-0,05	-2,23	-1,11	-3,23	5,94	-16,03
$<W_{LSR}>$ (km s^{-1})	-3,06	0,87	-0,26	-0,43	-3,43	-6,35
σ (U) (km s^{-1})	37,93	31,23	29,25	26,35	31,29	34,77
σ (V) (km s^{-1})	20,94	21,41	18,59	18,61	13,53	25,74
σ (W) (km s^{-1})	14,34	14,41	12,63	13,71	12,23	16,65
σ (top) (km s^{-1})	45,64	40,51	36,89	35,05	36,22	46,35
τ (Gyıl)	3,82(66)	2,94(52)	2,35(48)	2,07(45)	2,25(47)	3,95(63)



Şekil 4.71. CB, ECB ve NCB sistemlerinin logaritmik yörünge açısal momentumlarının frekans dağılımı

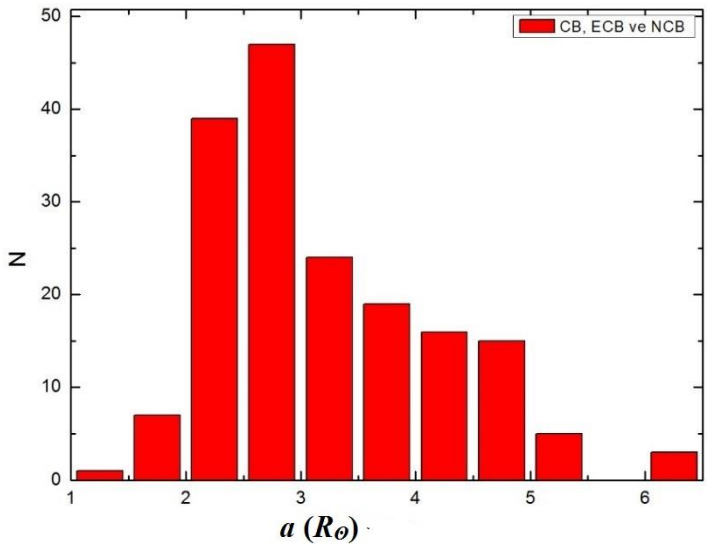
4.4.4. Yarı Büyük Eksen Uzunluğuna Göre Sınıflama

CB, ECB ve NCB sistemlerinin yarı büyük eksen uzunluğuyla (a) kinematik yaşları arasındaki durum incelenmiştir. Yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait (TD/D < 0,1)

152 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin farklı aralıklardaki yarı büyük eksen uzunluğuna (a) göre kinematik yaşları tayin edilmiş ve Çizelge 4.26'da listelenmiştir. Çizelgede özellikle CB sistemleri için farklı aralıklarda yarı büyük eksen uzunluğuna göre oluşturulan alt gruplar için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmıştır. Çizelgede sistemlerin yarı büyük eksen uzunlukları artıkça kinematik yaşın genellikle büyüdüğü görülmektedir. 152 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin yarı büyük eksen uzunluğu frekans dağılımı Şekil 4.72'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.26. Çalışılan sistemlerin yarı büyük eksen uzunluğuna göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB				ECB	NCB
a Aralığı	$1{,}37 \leq a <$ 2,45	$2{,}45 \leq a < 2{,}81$	$2{,}84 \leq a < 3{,}66$	$3{,}66 \leq a < 6{,}36$	$1{,}93 \leq a <$ 5,35	$2{,}47 \leq a <$ 6,25
N	38	38	38	38	19	20
$< a >$ ($R_\odot$)	2,18	2,64	3,13	4,36	3,22	4,17
$<U_{LSR}>$ (km s^{-1})	3,21	2,42	-8,45	-0,75	1,92	0,56
$<V_{LSR}>$ (km s^{-1})	-1,30	-3,76	-1,77	-4,31	5,94	-16,03
$<W_{LSR}>$ (km s^{-1})	-3,38	0,70	-1,74	-0,56	-3,43	-6,35
σ (U) (km s^{-1})	24,09	32,02	32,86	33,92	31,29	34,77
σ (V) (km s^{-1})	21,76	17,95	19,80	19,11	13,53	25,74
σ (W) (km s^{-1})	13,38	15,45	13,54	12,83	12,23	16,65
σ (top) (km s^{-1})	35,11	39,85	40,68	40,99	36,22	46,35
τ (Gyıl)	2,08(54)	2,83(66)	2,97(68)	3,02(65)	2,25(47)	3,95(63)



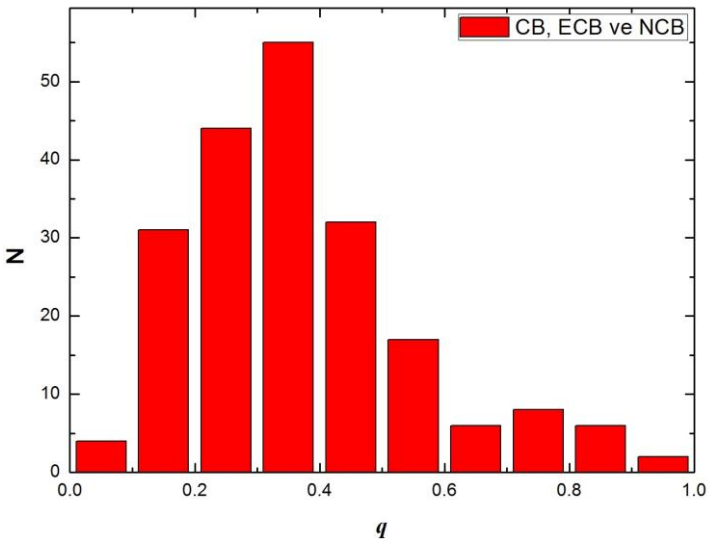
Şekil 4.72. CB, ECB ve NCB sistemlerinin yarı büyük eksen uzunluklarının frekans dağılımı

4.4.5. Kütle Oranına Göre Sınıflama

Bu çalışmada aday sistemlerin kütle oranıyla kinematik yaşları arasındaki durum araştırılmıştır. Yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait (TD/D < 0,1) 166 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin farklı aralıklardaki kütle oranlarına göre kinematik yaşları tayin edilmiştir. CB sistemleri için farklı aralıklarda kütle oranlarına göre oluşturulan alt gruplar için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.27'de listelenmiştir. Çizelge 4.27'de, kütle oranı artıkça kinematik yaşın genellikle küçüldüğü görülmektedir. 166 CB, 19 ECB ve 20 NCB sistemlerinin kütle oranlarının frekans dağılımı Şekil 4.73'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.27. Çalışılan sistemlerin kütle oranlarına göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB				ECB	NCB
q Aralığı	$0,066 \leq q \leq 0,226$	$0,228 \leq q \leq 0,311$	$0,313 \leq q \leq 0,421$	$0,428 \leq q \leq 0,984$	$0,167 \leq q < 0,813$	$0,125 < q < 0,694$
N	41	41	42	42	19	20
$< q >$	0,157	0,277	0,368	0,604	0,436	0,431
$<U_{LSR}>$ (km s^{-1})	2,18	-3,20	-3,77	2,53	1,92	0,56
$<V_{LSR}>$ (km s^{-1})	-0,33	-0,90	-1,44	-4,35	5,94	-16,03
$<W_{LSR}>$ (km s^{-1})	1,70	-1,17	-2,36	-2,02	-3,43	-6,35
σ (U) (km s^{-1})	37,67	35,57	23,22	26,22	31,29	34,77
σ (V) (km s^{-1})	23,63	15,93	17,75	21,38	13,53	25,74
σ (W) (km s^{-1})	15,42	12,98	12,80	13,95	12,23	16,65
σ (top) (km s^{-1})	47,07	41,08	31,91	36,60	36,22	46,35
τ (Gyıl)	4,08(64)	3,03(46)	1,63(34)	2,31(45)	2,25(47)	3,95(63)



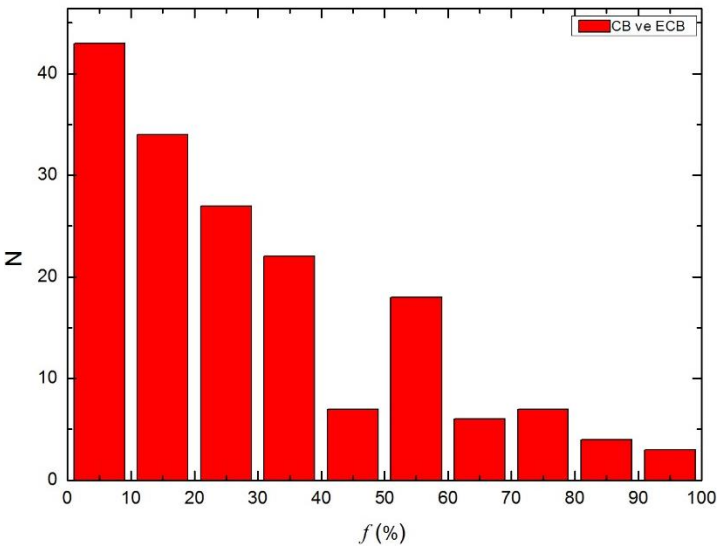
Şekil 4.73. CB, ECB ve NCB sistemlerinin kütle oranlarına ait frekans dağılımı

4.4.6. Taşma Parametresine Göre Sınıflama

Aynı zamanda CB ve ECB yıldızlarının taşma parametresiyle f (%) kinematik yaşları arasındaki durum incelenmiştir. Bu çalışmada yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait (TD/D < 0,1) 152 CB ve 19 ECB sistemlerinin farklı aralıklardaki f parametresine göre kinematik yaşları tayin edilmiştir. Sistemler için farklı aralıklarda taşma parametresine göre oluşturulan alt gruplar için ortalama uzay hız bileşenleri, uzay hız bileşenlerinin dispersiyonları, toplam uzay hız dispersiyonları ve bu dispersiyonlara karşılık gelen kinematik yaşlar hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.28'de listelenmiştir. Çizelgede taşma parametresi %36'ya kadar olan sistemlerin kinematik yaşlarının birbirine yakın değerde oldukları görülmekte ve bu değerden daha büyüklerde ise kinematik yaşın büyüdüğü görülmektedir. 152 CB ve 19 ECB sistemlerinin taşma parametresi frekans dağılımı Şekil 4.74'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.28. Çalışılan sistemlerin taşma parametresine (f) göre yapılan kinematik hesaplamaları

	CB			ECB
f (%) Aralığı	$0 \leq f$ (%) < 18	$18 \leq f$ (%) <36	$36 \leq f$ (%) < 97	$0 \leq f$ (%) < 10
<f (%)>	9,69	26,11	60,12	5,10
N	51	51	50	19
<U_{LSR}> (km s^{-1})	1,91	2,91	-4,36	1,92
<V_{LSR}> (km s^{-1})	-3,33	-1,45	-0,61	5,94
<W_{LSR} > (km s^{-1})	-3,05	-2,68	3,60	-3,43
σ (U) (km s^{-1})	28,51	30,37	36,21	31,29
σ (V) (km s^{-1})	22,09	18,32	20,86	13,53
σ (W) (km s^{-1})	12,54	13,96	15,11	12,23
σ (top) (km s^{-1})	38,18	38,12	44,44	36,22
τ (Gyıl)	2,56(48)	2,55(45)	3,61(65)	2,25(47)



Şekil 4.74. CB ve ECB sistemlerinin taşma parametresine göre frekans dağılımı

Yıldız evrimi için toplam kütle, yörünge dönemi ve açısal momentum en önemli parametrelerdendir. Açısal momentum içerisinde yıldızların toplam kütleleri ve yörünge dönemleri vardır. Bundan dolayı bu çalışmada açısal momentumun kinematik yaş değişimi yörünge dönemi ve toplam kütleyle ilişkisi araştırılmıştır. Ayrıca kinematik yaş ile yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve değen çift sistemler için taşma parametresi (f) ilişkisi incelenmiştir.

4.4.7. Kütle, Yörünge Dönemi ve Yörünge Açısal Momentum Temelinde Bulgular

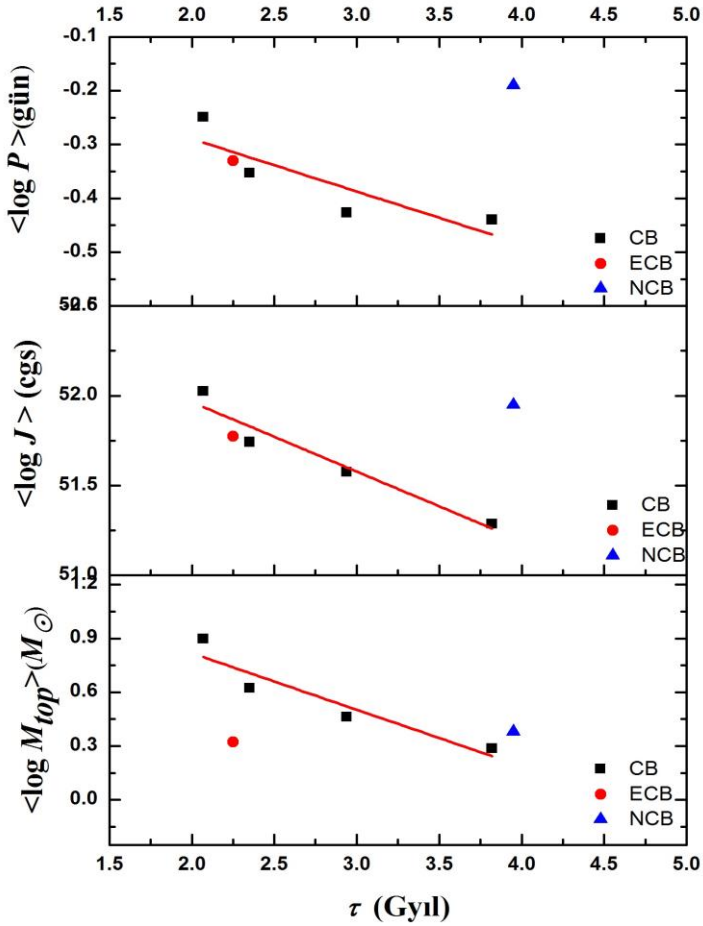
Bu çalışmada literatürde toplanan ECB, NCB ve CB'lere ait kinematik veriler hazırlandı ve öz hareket, uzaklık ve sistemin kütle merkezine ait dikine hızları ve bu parametrelere ait hataları dikkate alınarak 20 ECB, 20 NCB ve 168 CB türü sistem için uzay hızları hesaplandı. Açısal momentum yıldız evrimi için önemli bir temel parametredir. Bağıntı 2.26'da açısal momentumun toplam kütleye ve yörünge dönemine bağlı olduğu görülmekte olup dolayısıyla birlikte ele alınmıştır. Kütle, yarıçap ve yörünge dönemi gibi temel parametreler örten bir çift sistem için duyarlı ve iyi bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu bağlamda örten çift sistemlerin yörünge açısal momentumlarının, yörünge dönemlerinin ve toplam kütlenin yaş ile değişimlerini incelemek yörünge dinamiğinin evriminin anlaşılmasına katkı yapacaktır. Eğer bir çift sistemde yörünge dönemi (P) ve yarı büyük eksen uzunluğu (a) zamanla değişmiyorsa (dP=0, da=0), yörünge kararlı demektir. Yörüngenin kararlığı ise açısal momentumun ve toplam kütlenin zamanla değişmemesi

(dJ=0, dM=0) anlamına gelir. NCB, ECB ve CB türü sistemler için yörünge dönemleri ve dolayısıyla yörünge açısal momentum ve kütlenin kararlılığına bakılmıştır.

Sistemlerin yörünge dönemlerinin azalması, yörünge açısal momentum kayıplarından dolayı olabileceğine dair kanıtlar Karataş ve ark. (2004), Eker ve ark. (2006), Demircan ve ark. (2006) tarafından rapor edilmiştir. Yakın çift yıldızlarda bileşenler arası kütle aktarımı olabilmektedir. Bu durumda yörünge açısal momentum korunur ve burada kütlenin kararlılığı önemlidir. Çift sistemlerin log J, log M ve log P değerlerine karşılık kinematik yaşları hesaplanmıştır. Burada yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait ve yörünge açısal momentumu iyi belirlenmiş 153 CB, 20 NCB ve 19 ECB türü sistemlerin kinematik yaşları belirlenmiş olup CB türü sistemler homojen dört eşit parçaya ayrılmıştır. Aynı zamanda toplam kütle, yörünge dönemi, yörünge açısal momentumun ortalama değerleri de hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.29'da verilmekte ve toplam kütle, yörünge dönemi, yörünge açısal momentumun kinematik yaş ile değişim grafiği Şekil 4.75'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.29. Yörünge açısal momentuma göre yapılan gruplamalar için ortalama yörünge açısal momentum, ortalama yörünge dönemi, ortalama kütle, toplam hız dispersiyonlarıyla kinematik yaşları

Tür	log J Aralığı	N	<log M_{top}> ($M_\odot$)	<log J> (cgs)	<log P> (gün)	σ (top) (km s^{-1})	τ (Gyıl)
CB	$50{,}905 \leq \log J \leq 51{,}482$	38	0,287	51,287	-0,440	45,64	3,82(66)
	$51{,}485 \leq \log J \leq 51{,}652$	38	0,462	51,576	-0,427	40,51	2,94(52)
	$51{,}653 \leq \log J \leq 51{,}867$	38	0,623	51,741	-0,353	36,89	2,35(48)
	$51{,}875 \leq \log J \leq 52{,}419$	39	0,896	52,025	-0,249	35,05	2,07(45)
ECB	$51{,}1 < \log J < 52{,}22$	19	0,32	51,773	-0,33	36,22	2,25(47)
NCB	$51{,}5 < \log J < 52{,}43$	20	0,38	51,949	-0,19	46,35	3,95(63)



Şekil 4.75. CB, ECB ve NCB'lerin toplam kütle, yörünge açısal momentum ve yörünge dönemi parametrelerinin kinematik yaş ile değişimleri

Çizelge 4.29'da toplam kütle, yörünge açısal momentum ve yörünge dönemi parametrelerinin ortalama değerleriyle kinematik yaş arasında bir bağıntı olduğu görülmektedir. Şekil 4.75'te ortalama kütle, açısal momentum ve yörünge dönemiyle kinematik yaşın değişimi gösterilmiş olup bu değişime yapılan doğrusal fit (CB ve ECB yıldızları için fit yapılmış olup grafikte NCB yıldızları sadece gösterilmiştir) sonucunda sistemler için;

$$\log M_{top.} = -3{,}2(8)\times 10^{-10}\times\tau + 1{,}4(2) \tag{4.10}$$

$$\log J = -3{,}9(1)\times 10^{-10}\times\tau + 52{,}7(2) \tag{4.11}$$

$$\log P = -0{,}9(4)\times 10^{-10}\times\tau - 0{,}09(9) \tag{4.12}$$

yukarıdaki verilen ifadeler ile temsil edilmiştir. Bu ifadelerin zamana göre türevleri alındığında;

$$\frac{dM_{top.}}{d\tau} = -3{,}5 \times 10^{-10} \tag{4.13}$$

$$\frac{dJ}{d\tau} = -4{,}3 \times 10^{-10} \tag{4.14}$$

$$\frac{dP}{d\tau} = -1{,}1 \times 10^{-10} \tag{4.15}$$

Sonuçları elde edilmiştir. Burada; τ: yıl, *M:* $M_{\odot}$, *J*: cgs ve *P*: gün birimlerindedir.

4.4.8. Yarı Büyük Eksen Uzunluğu, Kütle Oranı ve Taşma Parametresi Temelinde Bulgular

Yarı büyük eksen uzunluğu (*a*), kütle oranı (*q*) ve taşma parametresiyle (*f*) ilgili çizelgeler ve bilgiler verilmektedir. Yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait farklı alt gruplara sınıflandırılarak, yıldızların yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametresiyle kinematik yaş arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Çizelge 4.30'da yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin ortalama değerleriyle kinematik yaş arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Şekil 4.76'da ortalama yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin kinematik yaşın değişimi gösterilmiş olup bu değişime yapılan doğrusal fit (CB ve ECB yıldızları için fit yapılmış olup grafikte NCB yıldızları sadece gösterilmiştir) sonucunda sistemler için;

$$a = 1{,}6(2) \times 10^{-9} \times \tau - 1{,}3(9) \tag{4.16}$$

$$q = -0{,}12(9) \times 10^{-9} \times \tau + 0{,}7(3) \tag{4.17}$$

$$f = 39{,}9(6) \times 10^{-9} \times \tau - 84{,}1(5) \tag{4.18}$$

yukarıdaki verilen ifadeler ile temsil edilmiştir. Bu ifadelerin zamana göre türevleri alındığında;

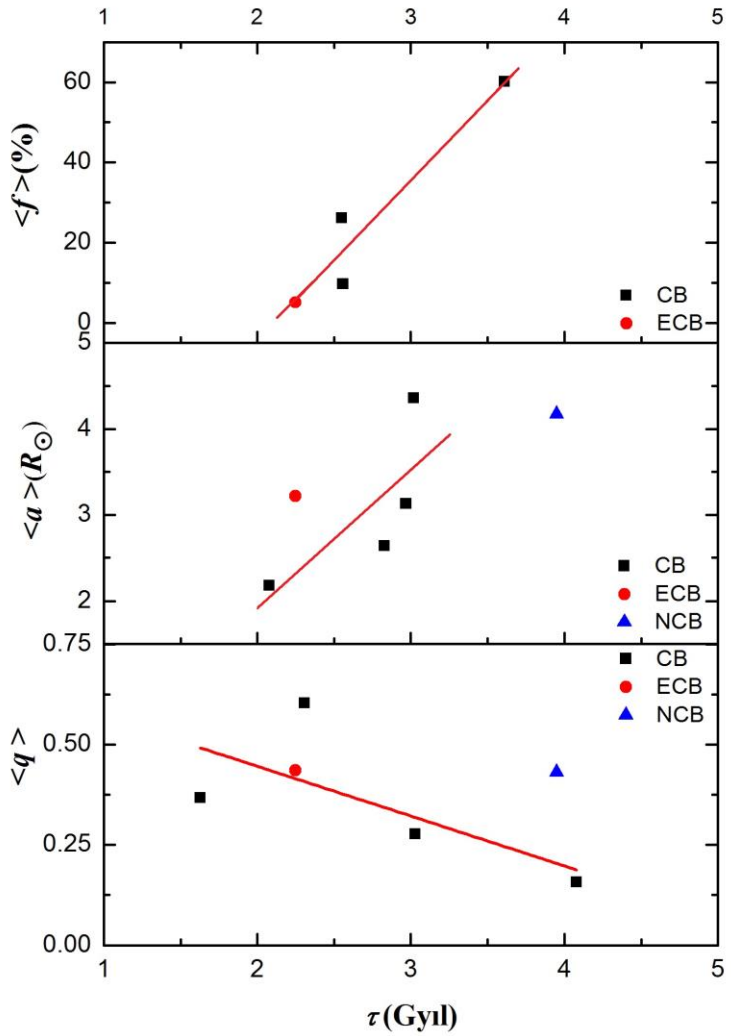
$$\frac{da}{d\tau} = 2{,}32 \times 10^{-9} \tag{4.19}$$

$$\frac{dq}{d\tau} = -2{,}5 \times 10^{-10} \tag{4.20}$$

değerleri elde edilmiştir. Burada; τ: yıl, a: $R_\odot$ ve q ise birimsiz olarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.30. Yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin ortalama değerlerine göre yapılan farklı alt gruplar ve toplam hız dispersiyonlarıyla kinematik yaşlar

	CB				ECB	NCB
a Aralığı	$1{,}37 \le a < 2{,}45$	$2{,}45 \le a < 2{,}81$	$2{,}84 \le a < 3{,}66$	$3{,}66 \le a < 6{,}36$	$1{,}93 \le a < 5{,}35$	$2{,}47 \le a < 6{,}25$
N	38	38	38	38	19	20
$< a > (R_\odot)$	2,18	2,64	3,13	4,36	3,22	4,17
σ (top) (km s^{-1})	35,11	39,85	40,68	40,99	36,22	46,35
τ (Gyıl)	2,08(54)	2,83(66)	2,97(68)	3,02(65)	2,25(47)	3,95(63)
q Aralığı	$0{,}066 \le q \le 0{,}226$	$0{,}228 \le q < 0{,}311$	$0{,}313 \le q \le 0{,}421$	$0{,}428 \le q \le 0{,}984$	$0{,}167 \le q < 0{,}82$	$0{,}12 < q < 0{,}7$
N	41	41	42	42	19	20
$< q >$	0,157	0,277	0,368	0,604	0,436	0,431
σ (top) (km s^{-1})	47,07	41,08	31,91	36,60	36,22	46,35
τ (Gyıl)	4,08(64)	3,03(46)	1,63(34)	2,31(45)	2,25(47)	3,95(63)
f Aralığı	$0 \le f$ (%) < 18	$18 \le f$ (%) < 36	$36 \le f$ (%) < 97		$0 \le f$ (%) < 10	--
N	51	51	50		19	--
$<f$ (%)>	9,69	26,11	60,12		5,10	--
σ (top) (km s^{-1})	38,18	38,12	44,44		36,22	--
τ (Gyıl)	2,56(48)	2,55(45)	3,61(65)		2,25(47)	--



Şekil 4.76. CB, ECB ve NCB'lerin yarı büyük eksen uzunluğu, kütle oranı ve taşma parametrelerinin kinematik yaş ile değişimleri

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Astofizik açısından yakın çift yıldızlar, kütle, açısal momentum ve yörünge dönemi gibi farklı fiziksel parametrelerin/süreçlerin etkilerini görmek ve bunlara bağlı olarak evrim farklılıklarını analiz etmek için oldukça önemli kaynaklardır. Her bir yıldızın kütle çekiminden dolayı oluşturduğu tedirginlikler başta olmak üzere yakınlık etkilerinden ne kadar etkilenip kendi yaşam durumlarını ve dolayısıyla sistemin evrimini nasıl etkiledikleri sorusunun cevabı oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında; değmeye yakın ve değen (özellikle erken değme evresinde olan) etkileşen çift yıldızların temel parametreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, dönem değişim karekterlerinin araştırılması ve son olarak gruplar bazında kinematik ve dinamik davranışların incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmada yapılacak analizlerde, öncelikle çalışılacak NCB, ECB ve CB türü sistemlerin temel verilerine ihtiyaç duyulduğundan bu üç tür sistemin veri tabanları oluşturulmuştur. Mutlak parametreler literatürden toplanırken, öz hareketler için *Gaia* DR2 kataloğundan yararlanılmıştır. Bunun yanında, tez çalışmasında yapılan gözlemlerin analizlerinden bazı sistemlerin parametreleri belirlenmiş veya güncellenmiştir. Yapılan yeni gözlemler kapsamında, üç ECB türü (CN And, GZ And ve LS Del) sistemin ışık eğrileri (CN And ÇOMÜG ve GZ And, LS Del ise TUG'taki gözlemlerden) elde edilmiş olup ışık eğrisi analizleri yapılarak temel parametreleri belirlenmiştir. Bu sayede, istenen amaca ulaşmak için gereçler hazırlanırken, NCB, ECB ve CB türü sistemlerin veri tabanları oluşturulmuştur.

MLR bağıntısı gözlemsel verilerden elde edilen önemli astrofiziksel bağıntılardan biridir. Tezin dördüncü bölümünde CB, ECB türü yıldızlar için *MR* ve *ML* ilişkileri incelendi. CB ve ECB yıldızlarının birinci bileşenleri için 1,35 $M_\odot$ kütlesinden küçük sistemler için $R_1 \alpha M_1^{0,53}$ ve 1,35 $M_\odot$ kütlesinden büyük sistemler için ise $R_1 \alpha M_1^{0,74}$ bağıntıları hesaplanmıştır. Aynı kütle aralıkları için M_1-L_1 ilişkisi için $L_1 \alpha M_1^{1,08}$ ve $L_1 \alpha M_1^{3,39}$ bağıntıları bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada ikinci bileşenler için iki aralıktan ziyade, bütün ikinci bileşenler (0,09 $M_\odot$−2 $M_\odot$) için $R_2 \alpha M_2^{0,43}$ ve $L_2 \alpha M_2^{0,73}$ bağıntıları elde edilmiştir. DB türü 509 anakol yıldızı için, *MLR* bağıntısı Eker ve ark. (2018) tarafından yapılmıştır. Çalışmada dört farklı kütle aralık değeri için (0,179 $M_\odot$−0,45 $M_\odot$, 0,45 $M_\odot$−0,72 $M_\odot$, 0,72 $M_\odot$−1,05 $M_\odot$ ve 1,05 $M_\odot$−2,40 $M_\odot$) sırasıyla $L \alpha M^{2,028}$, $L \alpha M^{4,572}$, $L \alpha M^{4,743}$ ve $L \alpha M^{4,329}$ değerleri elde edilmiştir. DB'ler için bulunan bu ilişkilerin CB'lerden oldukça farklı olduğu açıktır ki bu da CB türü sistemlerin karmaşıklığının açık göstergesidir.

Bölüm 4'te CB ve ECB sistemleri için; log M_1−log P grafiğini incelemiş ve birinci bileşenin kütlesi yörünge dönemi arasındaki ilşkiyi doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiştir. Yörünge dönemleri 0,45 gün ve kütleleri 1 $M_\odot$'ten büyük sistemlerin dağılımının daha kararlı olduğu görülmektedir (bakınız Şekil 4.6). log M_1−log P dağılımı; log M_1= α×log P + β gibi doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiş olup Çizelge 5.1'deki katsayılar belirlenmiştir.

Çizelge 5.1. Bu çalışma ve Gazeas ve Stepien (2008) ile Deb ve Singh (2011) çalışmaları için kütle dönem bağıntıları

log M_1−log P	Gazeas ve Stepien (2008)	Deb ve Singh (2011)	Bu Çalışma
α	0,755(59)	0,755(59)	0,85(16)
β	0,416(24)	0,416(24)	0,39(6)
Sistem sayısı	112	62	164

Bu çalışmada kullanılan sistem sayısının diğer iki çalışmada kullanılan sistem sayısından fazla olması göze çarpmaktadır (Çizelge 5.1). Çizelge 5.1'de değen sistemler için birinci bileşenin kütlesi ile yörünge dönemi arasındaki ilişki bir fonksiyon ile temsil edilmiş ve hataları ile birlikte verilmiştir. Bu temsillerde; Gazeas ve Stepien (2008) ve Deb ve Singh (2011) hataları çok küçük değerlerde elde edilmiş olup bunun nedeni çalışmalarda kullanılan küçük kütleli sistem sayısının az olmasıdır. Bu tez çalışmasında 164 sistem dikkate alınmış olup bu sistemler arasında küçük kütlelilerin sayısı fazla olup 1 $M_\odot$ kütlesinden küçük sistemlerde dağılım çok iyi olmadığı açık bir şekilde görülmektedir (Şekil 4.6).

Örten çift sistemlerde yörünge dönemi en hassas belirlenen parametrelerdendir. Yakın çift yıldız sistemleri için; ışık eğrileri analizlerinde kütle oranı yanında baş bileşenin sıcaklığını da belirlemek oldukça önemlidir. Bu yüzden tez çalışmasında CB ve ECB türü sistemler için Şekil 4.7'de birinci bileşenin sıcaklığıyla yörünge dönemi arasındaki ilişkisi doğrusal bir fonksiyon ile temsil edildi ve bu ilişki $T_1 \alpha P^{0,32}$ bağıntısıyla verildi. Bu bağıntı, renk indeksi bulunmayan bir CB türü sistemin ışık eğrisi analizinde birinci bileşenin sıcaklığının ilk tayini için önemli olabilir.

Son yıllarda artan teknolojik gelişmeler ile birlikte, özellikle son 20 yılda artan CCD verileriyle, daha hassas tutulma zamanları belirlenebilmektedir. Yakın çift yıldızlar için sistemden kütle veya açısal momentum kaybı, bileşenler arası kütle ve enerji taransferi gibi fiziksel süreçler yıldız evrimi için önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada ECB ve NCB türü

sistemlerin dönem değişim analizleri yapıldı. Yörünge dönem değişimi için; 15 ECB ve 18 NCB türü sistemin $O-C$ analizi yapılmıştır. Yakın çift yıldız sistemlerinin yörünge dönemlerinin azalması beklenir. Fakat $O-C$ analizlerinde, yaklaşık 100 yıllık bir veri aralığına bakılmaktadır. Bu aralık bir yıldızın yaşamı gözönünde tutulduğunda çok küçük bir zaman aralığıdır. Bu yüzden yıldızın tüm yaşamı için dönemin arttığı ya da azaldığını söylemek kolay değildir. Ayrıca sistemlerin bileşenler arası kütle aktarımı, üçüncü bir cisim ve manyetik çevirim gibi genellikle büyük genlikte değişim oluşturan veya gözlenen etkiler de vardır (Demircan, 2000). Bu nedenle $O-C$ analizlerinde sistemlerin dönemlerinin sürekli azalması görülmeyebilir veya bazı sistemler, içerdikleri fiziksel süreçler ve evrim durumları nedeniyle sürekli azalma göstermezler. Bazı çift sistemlerde, dönem değişimlerinin sürekli artma ya da azalma göstermesi TRO veya AML ile açıklanabilmektedir (Qian, 2002).

ECB türü sistemlerden TW Cet ve TT Cet'in dönem analizleri, ilk kez bu çalışmada yapılmıştır. CN And ve V752 Cen sistemlerinin $O-C$ analizlerinde, ilk kez çevrimsel değişim bu çalışmada ortaya konulmuştur. GZ And ve PY Vir sistemlerinin $O-C$ analizlerinde ise literatürde yapılan son dönem analiz çalışmalarının aksine dönemlerinin azaldığı belirlendi. ECB türü sistemlerden; GZ And, XY Leo ve RW Com sistemlerinin yaklaşık onbeş yıllık daha duyarlı bir CCD verisiyle dönem değişim güncellemesi yapılmıştır. ECB türü sistemlerden; CN And'ın on bir, GZ And'ın iki, XY Leo'nun üç, LS Del'in iki ve PY Vir'in dört minimum zamanı yapılan gözlemlerden, TW Cet'in on beş, V752 Cen'in kırk iki ve GZ And'ın yedi minimum zamanı SuperWASP veri arşivinden yararlanılarak elde edildi. Ayrıca ECB türü altı sistemin $O-C$ analizleri yapılarak yörünge dönem değişim analizleri güncellenmiştir.

ECB türü sistemlerden; BX And, HT Vir, PY Vir, V752 Cen, V1073 Cyg XY Leo ve TW Cet için sistemlerde LITE kaynaklı olan dönemsel değişim kaynağı olarak olası bir üçüncü cismin olabileceği önerilmiştir. ECB'lerde CN And, RW Com ve YY Eri sistemleri için çevrimsel dönem değişim sebebi olarak Applegate (1992) modeli uygulandı. Applegate tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumda, manyetik çevrime ilişkin kanıtlar araştırılabilir; çünkü önerilen üçüncü cisimlerin kütleleri sistemlerin toplam kütlelerinin yanında küçük olup eğer varsa hem ışık ölçüm hem de tayfsal yöntemler ile belirlenmesi zordur. Bu üç sistemin bileşenlerin yüzey altı manyetik alanları yaklaşık 5-22 kG değerleri arasındadır (Çizelge 5.3). Ayrıca sistemlerde bugüne kadar herhangi bir ışık eğrisi analiz çalışmasında da üçüncü cismin yaptığı ışık katkısına rastlanmamıştır.

Yörünge dönem analiz çalışması yapılan ECB türü sistemler için bazı dönem değişim parametreleri Çizelge 5.2'de verilmektedir. Çizelge 5.2 incelendiğinde, yıllık dönem azalma ya da artma miktarı 10^{-7}-10^{-8} yıl^{-1} mertebesindedir ki bu değerin, eğer değen sistemlerin önemli bir bölümü TRO evresinde ise, bu değerlerde dönem değişimi göstermesi beklenir (Stepien, 2006). Ayrıca Qian (2002) tarafından yapılan çalışmada da bazı değen çiftlerin bu mertebede dönem değişimi gösterdiği rapor edilmiş ve dönem değişim nedeni olarak da genellikle bileşenler arası kütle aktarımı önerilmiştir. Kütle aktarımının yanı sıra TRO modeli de bazı araştırmacılar tarafından önerilmiştir (Lucy, 1976; Flannery, 1976). Çizelge 5.2'de yörünge döneminin yüzyılda artama/azalma olarak en fazla üç saniye/yüzyıl oranında değiştiği ve korunumlu kütle aktarımı 10^{-7}-10^{-8} $M_{\odot}$/yıl mertebesinde iken korunumsuz kütle aktarımı 10^{-8}-10^{-9} $M_{\odot}$/yıl aralığında olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.2. $O-C$ analizi yapılan ECB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri

Sistem	P (gün)	dP/dt (yıl^{-1})	dP/dt (s/yüzyıl)	dM/dt ($M_{\odot}$/yıl) (korunumlu)	dM/dt ($M_{\odot}$/yıl) (korunumsuz)
CN And	0,46278940	$-3{,}27\times10^{-7}$	-1,30	$-9{,}90\times10^{-8}$	$-4{,}80\times10^{-8}$
GZ And	0,30501608	$-3{,}02\times10^{-7}$	-0,79	$1{,}27\times10^{-7}$	$-2{,}09\times10^{-8}$
LS Del	0,36383728	$4{,}98\times10^{-7}$	1,56	$-1{,}40\times10^{-7}$	$2{,}70\times10^{-8}$
BX And	0,61011230	$-1{,}33\times10^{-7}$	-0,70	$-7{,}90\times10^{-8}$	$-2{,}99\times10^{-8}$
HT Vir	0,40767133	$3{,}74\times10^{-7}$	1,31	$-7{,}03\times10^{-7}$	$4{,}52\times10^{-8}$
PY Vir	0,31124790	$-2{,}11\times10^{-7}$	-0,56	$-2{,}36\times10^{-7}$	$-2{,}62\times10^{-8}$
RW Com	0,23734690	$-5{,}06\times10^{-8}$	-0,11	$1{,}22\times10^{-8}$	$-2{,}13\times10^{-9}$
V752 Cen	0,37022520	$1{,}65\times10^{-7}$	0,53	$-3{,}18\times10^{-8}$	$6{,}91\times10^{-9}$
V1073 Cyg	0,78585553	$-6{,}40\times10^{-8}$	-0,43	$-1{,}82\times10^{-8}$	$-1{,}20\times10^{-8}$
XY Leo	0,28410296	$7{,}33\times10^{-8}$	0,18	$5{,}35\times10^{-8}$	$6{,}83\times10^{-9}$
YY Eri	0,32149638	$1{,}34\times10^{-7}$	0,37	$4{,}65\times10^{-8}$	$2{,}18\times10^{-8}$
TW Cet	0,31685160	$-4{,}10\times10^{-8}$	-0,11	$3{,}94\times10^{-8}$	$-3{,}38\times10^{-9}$
GW Cnc	0,28141222	$-10{,}2\times10^{-7}$	-2,9	$1{,}39\times10^{-7}$	$-3{,}30\times10^{-8}$
S Ant	0,64835140	$4{,}21\times10^{-7}$	2,35	$1{,}75\times10^{-7}$	$7{,}98\times10^{-8}$
TT Cet	0,48595380	$-1{,}08\times10^{-7}$	-0,45	$-4{,}87\times10^{-8}$	$-2{,}22\times10^{-8}$

Çevrimsel değişim gösteren ECB türü sistemler için, dönem değişimi Applegate (1992) mekanizması ve olası üçüncü cisimin neden olduğu LITE etkisi gözönünde bulundurularak analiz edildi ve her iki mekanizma için elde edilen bazı parametreler Çizelge 5.3'te listelendi. Çizelge 5.3'te çevrimsel değişim dönemleri BX And, V1073 Cyg ve TW Cet için sırasıyla 104, 95 ve 107 yıl olarak belirlenmiş olup bu modulasyon dönemi çok uzun (modülasyon dönemi için literatürde 40-50 yılı geçen çalışmaya çok rastlanılmadığından)

olduğundan çevrimsel dönem değişimi için olası üçüncü bir cismin varlığı önerilmiştir. Eğer TW Cet üçüncü bir cisme sahipse bu cisim kahverengi bir cüce olabilir. XY Leo için Rucinski ve ark. (2007) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında sistemin dörtlü bir sistem olduğu rapor edilmiş ve üçüncü cismin yörünge parametreleri verilmiş olup bu çalışmada dönem analizi sonucunda üçüncü cismin minmum kütlesi 1.1 $M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. YY Eri sistemi için Yang ve Liu (1999) tarafından yapılan ışık eğrisi analizinde üçüncü ışık katkısına rastlanıldığı için üçüncü cisim olasılığı üzerinde durulabilir.

Çizelge 5.3. Dönem analizi gerçekleştirilen çevrimsel değişim gösteren ECB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri

Sistem	P (gün)	P_3 (yıl)	M_3 (i=90°) ($M_{\odot}$)	$\Delta P/P$	$\Delta L/L$	B (kG)
CN And	0,46278940	38	0,100	$3{,}89\times10^{-6}$	0,006	5
BX And	0,61011230	104	0,870	$1{,}30\times10^{-5}$	0,050	5
HT Vir	0,40767133	41	0,400	$1{,}10\times10^{-5}$	0,070	13
PY Vir	0,31124790	5	0,560	$4{,}10\times10^{-5}$	4,800	78
RW Com	0,23734690	36	0,400	$1{,}70\times10^{-5}$	0,020	22
V752 Cen	0,37022520	41	0,590	$1{,}60\times10^{-5}$	0,040	17
V1073 Cyg	0,78585553	95	0,500	$1{,}20\times10^{-5}$	0,050	3
XY Leo	0,28410296	19	1,100	$4{,}50\times10^{-5}$	0,950	41
YY Eri	0,32149638	47	0,280	$8{,}00\times10^{-6}$	0,070	9
TW Cet	0,31685160	107	0,088	$2{,}90\times10^{-6}$	0,003	5

ECB türü sistemlerden HT Vir ve PY Vir için Çizelge 5.3 incelendiğinde parametreler, Applegate (1992), tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerdedir. Ancak, bileşenlerin kuadrupol momenti (yıldızın kuadrupol momentinde değişimler dönme-dolanma kilitlenmesi nedeniyle yörünge dönemine aktarılır) yaklaşık her iki sistem için 10^{49}-10^{50} g cm^2 olarak hesaplanmıştır. Yakın örten sistemler için bu değerin yaklaşık 10^{51}-10^{52} g cm^2 olması gerektiği Lanza ve Rondo (1999) tarafından söylenmiştir. Ayrıca geri tayf türünden soğuk olan bileşenlerin yörünge dönem modülasyonlarını Applegate (1992) modeli ile açıklamanın yeterli olamayacağı Lanza (2006) tarafından belirtilmiştir. HT Vir için, Lu ve ark. (2001) tarafından yapılan tayf çalışmasında dörtlü bir sistem olduğu ifade edilmiştir. PY Vir için, Rucinski ve ark. (2008) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında üçüncü bileşeninin yörünge parametreleri belirlendi. Bu yüzden HT Vir ve PY Vir sistemleri için üçüncü bir bileşenin (olasılıkla K-M cücesi) varlığının testi için, tayf verisini de içeren, farklı çalışmalar planlanabilir.

NCB türü sistemlerden RV Crv ve FO Vir sistemlerinin $O-C$ analizleri, ilk kez bu tez çalışmasında yapılmıştır. RU Eri ve AG Phe sistemlerinin $O-C$ analizlerinde, ilk kez sinüs benzeri değişim bu çalışmada elde edilmiştir. NCB türü sistemlerden FT Lup ve EE Aqr'nin yaklaşık otuz yıllık daha duyarlı bir veriyle $O-C$ güncellemeleri yapıldı. NCB türü sistemlerden AG Phe için on bir, FT Lup için otuz iki ve V747 Cen için SuperWASP veri tabanından yirmi bir minimum zaman elde edildi. Ayrıca geri kalan on iki NCB türü sistemin $O-C$ analizleri güncellenmiştir.

NCB türü sistemlerden; DD Mon, EG Cep ve KR Cyg ve TT Her sistemlerinin dönemsel değişim sebebi olarak LITE kaynaklı olası üçüncü bir cismin olasılığı önerilmiştir. RZ Dra ve SW Lyn sistemleri için ise iki sinüs benzeri değişim olduğu görülmüş ve olası üçüncü ve dördüncü bir cismin olabileceği önerilmiştir. NCB'lerden AG Phe, CX Aqr, EE Aqr, RU Eri ve RV Crv sistemleri için çevrimsel değişim sebebi olarak manyetik aktivite kaynaklı olacağından Applegate parametreleri hesaplanmıştır. Hızlı dönen soğuk bileşenlerin, NCB'lerde güçlü X-ışını yaydığı Shaw ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi manyetik çevrim olasılıkları değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.4 incelendiğinde sistemlerin çoğunluğunun yıllık dönem değişim oranları ECB türü sistemlere bezer bir şekilde 10^{-7}-10^{-8} yıl^{-1} mertebesinde iken, EG Cep ve SW Lyn sistelerinin daha küçük bir mertebede olduğu görülmektedir (10^{-9} yıl^{-1}). Ek olarak, NCB türü sistemlerin yörünge dönem değişimleri $\pm$ 3s/yüzyıl aralığında olduğu söylenebilir. NCB türü sistemler için, korunumlu model varsayımıyla, kütle aktarım oranı genellikle 10^{-8}-10^{-9} $M_{\odot}$/yıl aralığında değişim göstermekte olup kütle kaybı da dikkate alınırsa aktarım oranlarında önemli değişim olmadığı gözlenmiştir. DD Mon ve V361 Lyr sistemlerinin korunumlu kütle aktarım değerleri diğer NCB'lere oran ile daha büyük bir değerde hesaplanmıştır (10^{-7} $M_{\odot}$/yıl).

Çizelge 5.4. $O-C$ analizi yapılan NCB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri

Sistem	P (gün)	dP/dt (yıl^{-1})	dP/dt (s/yüzyıl)	dM/dt ($M_\odot$/yıl) (korunumlu)	dM/dt ($M_\odot$/yıl) (korunumsuz)
AG Phe	0,75534090	$-4{,}48\times10^{-8}$	-0,29	$-3{,}88\times10^{-9}$	$-5{,}58\times10^{-9}$
CX Aqr	0,55598565	$4{,}96\times10^{-8}$	0,24	$2{,}30\times10^{-8}$	$6{,}20\times10^{-9}$
DD Mon	0,56801088	$2{,}54\times10^{-7}$	1,24	$2{,}37\times10^{-7}$	$4{,}13\times10^{-8}$
EE Aqr	0,50899610	$-2{,}00\times10^{-8}$	-0,09	$-7{,}08\times10^{-9}$	$-4{,}46\times10^{-9}$
EG Cep	0,54462148	$3{,}45\times10^{-9}$	0,02	$1{,}70\times10^{-9}$	$6{,}20\times10^{-10}$
KR Cyg	0,84515210	$2{,}25\times10^{-8}$	0,16	$1{,}70\times10^{-8}$	$7{,}40\times10^{-9}$
RU Eri	0,63219870	$-5{,}12\times10^{-8}$	-0,28	$-2{,}70\times10^{-8}$	$-7{,}90\times10^{-9}$
RV Crv	0,74724010	$3{,}40\times10^{-7}$	2,2	$6{,}80\times10^{-8}$	$5{,}40\times10^{-8}$
TT Her	0,91207810	$-9{,}60\times10^{-8}$	-0,76	$-5{,}60\times10^{-8}$	$-2{,}80\times10^{-8}$
RZ Dra	0,55087600	$-1{,}20\times10^{-8}$	-0,06	$-4{,}90\times10^{-9}$	$-2{,}10\times10^{-9}$
SW Lyn	0,64406659	$-2{,}60\times10^{-9}$	-0,015	$-1{,}66\times10^{-9}$	$-6{,}50\times10^{-10}$
FO Vir	0,77556360	$-2{,}80\times10^{-7}$	-1,87	$-2{,}76\times10^{-8}$	$-3{,}83\times10^{-8}$
FT Lup	0,47008450	$-3{,}47\times10^{-7}$	-1,41	$-1{,}70\times10^{-7}$	$-6{,}50\times10^{-8}$
RS Ind	0,62406084	$-3{,}10\times10^{-7}$	-1,66	$-9{,}20\times10^{-8}$	$-6{,}30\times10^{-8}$
RT Scl	0,51156000	$-1{,}31\times10^{-7}$	-0,58	$-4{,}81\times10^{-8}$	$-2{,}24\times10^{-8}$
UU Lyn	0,46845988	$-3{,}30\times10^{-8}$	-0,13	$-1{,}20\times10^{-8}$	$-5{,}90\times10^{-9}$
V361 Lyr	0,30961395	$-3{,}50\times10^{-7}$	-0,94	$-3{,}30\times10^{-7}$	$-7{,}10\times10^{-8}$
YY Cet	0,79046073	$8{,}30\times10^{-8}$	0,56	$5{,}20\times10^{-8}$	$1{,}60\times10^{-8}$

Çizelge 5.5. Yörünge dönem değişim analizi yapılan çevrimsel değişimler içeren NCB-türü sistemlerin bazı dönem değişim parametreleri

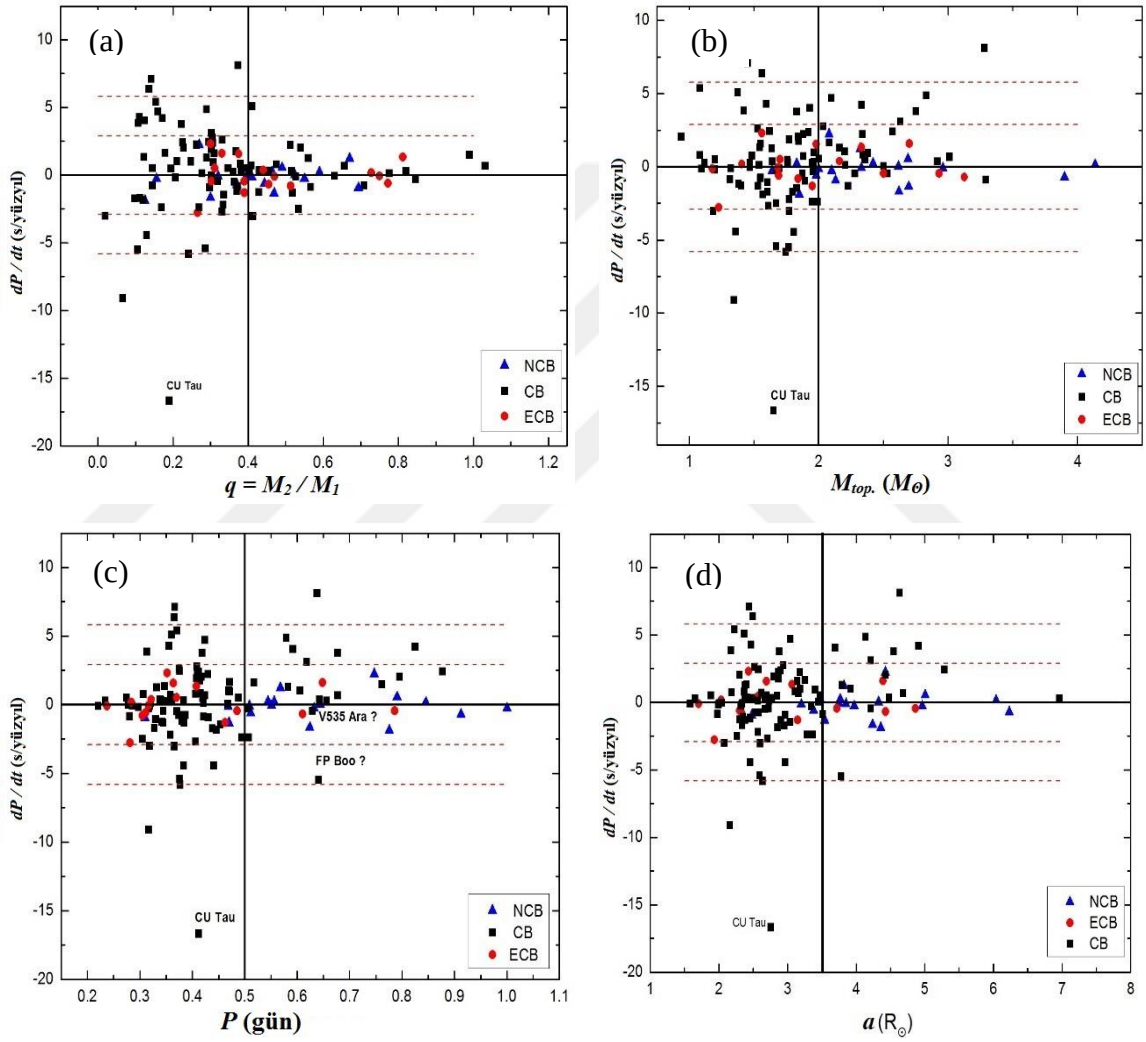
Sistem	P (gün)	P_3 (yıl)	M_3 (i=90º)	$\Delta P/P$	$\Delta L/L$	B (kG)
AG Phe	0,75534090	28	0,170	$7{,}37\times10^{-6}$	0,10	11
CX Aqr	0,55598565	24	0,088	$4{,}30\times10^{-6}$	0,08	10
DD Mon	0,56801088	47	0,300	$7{,}30\times10^{-6}$	0,86	14
EE Aqr	0,50899610	35	0,360	$1{,}10\times10^{-5}$	0,12	10
EG Cep	0,54462148	86	0,190	$4{,}80\times10^{-6}$	0,03	4
KR Cyg	0,84515210	78	0,220	$3{,}50\times10^{-6}$	0,03	3
RU Eri	0,63219870	16	0,140	$6{,}40\times10^{-6}$	0,14	9
RV Crv	0,74724010	45	0,490	$1{,}50\times10^{-5}$	0,13	6
TT Her	0,91207810	76	0,280	$5{,}00\times10^{-6}$	0,04	3
RZ Dra	0,55087600	72/32	0,150 / 0,100	$3{,}40\times10^{-6}$	0,05	6
SW Lyn	0,64406659	39/6	0,200 / 0,780	$3{,}40\times10^{-5}$	0,01	40

NCB türü sistemler için hazırlanan Çizelge 5.5 incelendiğinde, EG Cep, KR Cyg, TT Her ve RZ Dra sistemlerinin çevrimsel değişimin dönemleri sırasıyla, 86, 78, 76 ve 72 yıl olarak belirlenmiştir. Literatürde, yakın çift yıldızlar için Applegate modeliyle açıklanan

sistemlerin sinüs benzeri değişimin dönemleri 40-50 yılı geçen çalışma olmadığı için çevrimsel dönem değişim nedenleri olarak üçüncü bir cismin olabileceği önerilebilir. Bu olası üçüncü cisimlerin minimum kütleleri belirlenmiştir (Çizelge 5.6). AG Phe, CX Aqr, EE Aqr, RU Eri ve RV Crv sistemlerinin tümü için bileşen ya da bileşenlerin aktivite sergiledikleri varsayımıyla, dönem değişimlerini açıklamak üzere Applegate (1992) modeli uygulanmıştır. Bu durumda, bu beş sistemin bileşenlerinin yüzey altı manyetik alanları yaklaşık 10 kG civarındadır. Ek olarak bu beş sistemin bugüne kadar herhangi bir ışık eğrisi analiz çalışmasında da üçüncü cismin yaptığı ışık katkısına rastlanılmamıştır. DD Mon sisteminin ışık eğrisi analizi Gazeas ve ark. (2010) tarafından yapılmış olup, analizde üçüncü bileşenin ışık katkısı %6 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda üçüncü bir cismin varlığı için kanıt araştırılması önerilebilir. Çizelge 5.5'te DD Mon için, olası üçüncü bileşenin minimum kütlesi de 0,3 $M_{\odot}$ olarak belirlenmiş ve eğer böyle bir bileşen varsa M tayf türünde bir cüce olabilir. Çizelge 5.5 incelendiğinde RZ Dra ve SW Lyn sistemleri için Applegate (1992) önerdiği parametrelere yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Buna karşın, PY Vir sistemine uygulanan kuadrupol momentleri bu sistemler için de hesaplandığında her iki sistem için yaklaşık 10^{48} g cm^2 değeri elde edilmiştir. Bu değer, Lanza ve Rondo (1999)'nun önerdikleri aralıktan uzak olduğu için üçüncü cisim olasılığı üzerinde durulabilir. SW Lyn sistemi için, Lu ve ark. (2001) tarafından yapılan dikine hız çalışmasında üçlü bir sistem olduğu rapor edilmesi de bu sistem için üçüncü cisim olasılığını arttırmaktadır.

Değmeye yakın (NCB) ve erken değme evresindeki (ECB) sistemlerin, CB türü sistemlerin birbirine yaklaşarak bu tür sistemlerden oluştuğu kabulü altında, yörünge dönemlerinin azalması beklenir. Fakat $O-C$ analizlerinde maalesef ki biz sadece yaklaşık 100 yıllık (ki bu aralıktaki verilerin en fazla 50 yıllık olanları daha duyarlı veriler olduğunu biliyoruz) zamana yayılmış verileri kullanmaktayız ve bu aralık ta yıldız yaşamı için çok çok küçük bir zamana karşılık gelir. Bu yüzden yıldızın tüm yaşamı ve yaşamının bir dönemi için dönemin arttığı ya da azaldığını söylemek kolay değildir. Ayrıca bu tür etkileşen çift sistemlerde bileşenler arası kütle aktarımı, üçüncü bir cisim ve manyetik çevirim gibi büyük genlikte değişim oluşturan etkiler de vardır (Demircan, 2000). Bu nedenle $O-C$ analizlerinde sistemlerin dönemlerinde sürekli bir azalma görülmeyebilir. Değen çift sistemlerin geri tayf türünden bileşenler içeren ayrık sistemlerin zamanla açısal momentum kaybı (AML) ile oluşabileceği ve bu mekanizma nedeniyle bu evrim aşamasında yörünge dönemlerinin küçüleceği Rucinski (1986) tarafından önerilmiştir. Ayrıca manyetik frenleme ve çekimsel kilitlenme süreçleri, konvektif zarflı bileşene sahip ayrık çift yıldızların değen sistemler oluşturabileceği, Demircan (1999) ve Huang (1966) tarafından önerilmiştir. Bu

çalışmalar ışığında, NCB, ECB ve CB sistemlerinin dönem değişimlerinin farklı düzlemler altında incelenmesi önemli olabilir. Bu nedenle, üç tür sistemin dönem değişiminin kütle oranı, toplam kütle, dönem ve yarı büyük eksen uzunluğuna karşı dağılımları Şekil 5.1'de oluşturularak incelenmiştir. Şekil 5.1(a,b,c,d)'ye bakıldığında; ilk olararak ECB ve NCB'lerin yörünge dönemi azalan sistem sayısı dönemi artan sistem sayısından fazla oluşu dikkat çekmektedir (ECB' lerden dokuzunun dönemi azalmakta iken yedisinin artmakta, NCB' lerden ise on birinin dönemi azalmakta iken, yedisinin artmaktadır).



Şekil 5.1. CB, ECB ve NCB türü örten çiftler için kütle oranı, toplam kütle, dönem ve yarı büyük eksen uzunluğuna karşı dönem değişim oranlarını dağılımı

Şekil 5.1(a)' da kütle oranına karşılık yörünge dönem değişimi yakın çift sistemleri için grafiğe aktarıldığında kütle oranı (q) yaklaşık 0,4'ten sonra sistemlerim yörünge dönem değişim oranları (artmaya ya da azalmaya bakmaksızın) daha küçük bir aralıkta değişmekte

ve bu aralık yaklaşık yüzyılda -3 ile +3 saniye değeri arasında değiştiği açık bir şekilde görülmektedir. O zaman bileşenlerin kütleleri birbirine yaklaştığı zaman (genellikle ikinci bileşenin kütlesi birinci bileşenin kütlesinin yarısı civarında iken) sistemin dönem değişim oranı daha dar bir aralıkta ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.1(b)'de NCB, ECB ve CB'ler için *dP/dt–Mtop* dağılımı incelenirse, bileşenlerin toplam kütlesi yaklaşık 2 $M_{\odot}$'i geçtiği zaman CB türü sistemlerinin dönemleri genellikle artmakta olup dönemi azalan az sayıda sistemin de dönem değişim oranının küçük olduğu görülmektedir. Bu durumda, toplam kütlesi 2 $M_{\odot}$'in üzerinde olan CB sistemlerin önemli bölümünde küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarılmaktadır. Ayrıca NCB ve ECB türü sistemlerin dönem değişim aralıkları birbirine yakın bir ilişki göstermektedir.

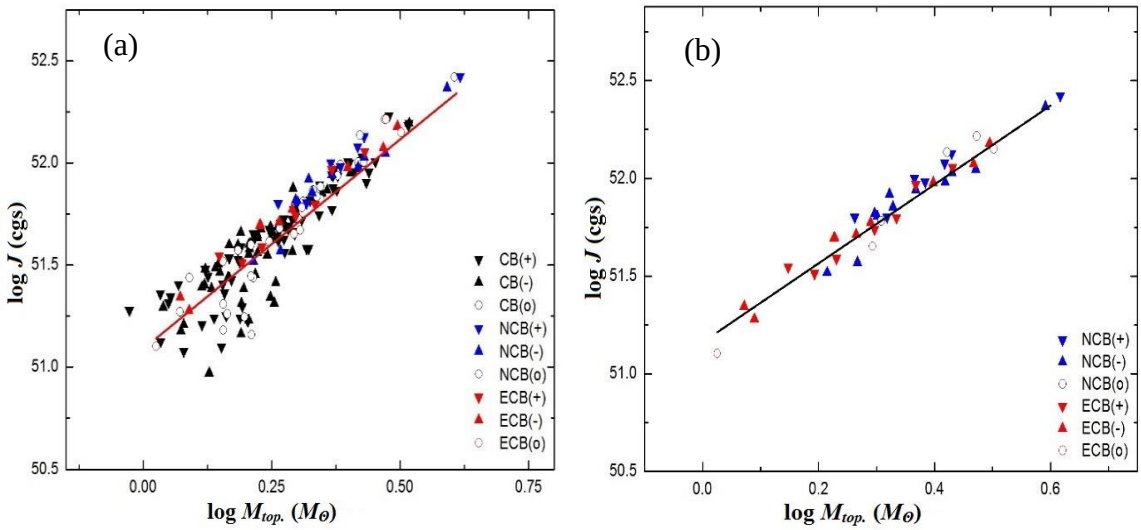
Şekil 5.1(c) incelendiğinde, yörünge dönem yaklaşık 0,5 gün civarı ve sonraki sistemlerin (özellikle CB'ler için) yörünge döneminin genellikle arttığı görülmektedir. Fakat FP Boo ve V535 Ara sistemleri aykırılık göstermektedir. FP Boo sisteminin dönemi yaklaşık -5,48 s/yüzyıl olarak elde edilmiştir (Çetinkaya ve ark., 2017) ancak veri aralığı 1990-2016 yılları arasında olması ve veri sayısının yetersizliğinden böyle bir değere ulaşılmış olabileceği gibi bu güne kadar ki değişim, uzun dönemli çevrimsel bir değişimin bir parçası da olabilir. Bu yüzden daha sonraki yıllarda FP Boo sisteminin minimum gözlemlerine devam edilmeli ve dönem değişim analizleri güncellenmelidir. V535 Ara sisteminin dönem değişim araştırması Schöffel (1979) tarafından yapılmış olup dönem azalma oranı -0,44 s/yüzyıl olarak belirlenmiştir. Yayınlanmış çalışma çok eski ve az veri içerdiğinden yaklaşık 40 yıllık daha duyarlı verilerin eklenmesiyle birlikte sistemin döneminin arttığı açık bir şekilde görülmektedir (bakınız Atlas $O-C$). (Minimum noktalara ulaşılamadığı için bu tez çalışmasında maalesef $O-C$ analizi yapılmamıştır). Şekil 5.1(c)'de yer alan *P-dP/dt* dağılımına detaylı bir şekilde bakıldığında NCB ve ECB türleri için dönemin artma veya azalma oranları -2,5 ile +2,5 s/yüzyıl aralığındadır. Ayrıca Şekil 5.1(d) dikkate alındığında yarı büyük eksen uzunluğu 3,5 $R_{\odot}$ değerini geçtikten sonra CB türü sistemlerin çoğunun dönemleri arttığı görülmektedir. Bu durum da, bileşenler yakın olduğundan kütle ve açısal momentum kayıp mekanizmalarının daha etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Kütle oranına karşılık yörünge dönem değişim incelemesi yapan Qian (2003), kütle oranı 0,4'ten büyük olan CB sistemlerinin yörünge dönemlerinin artacağı ve kütle oranı 0.4'ten küçük olan CB sistemlerinin dönemlerinin ise azalacağını rapor etmiştir. Ancak, Şekil 5.1(a) incelendiğinde, güncel dönem değişim verilerinin Qian (2003)'nın çalışmasını desteklemediği görülmektedir. 27 sıcak ve büyük kütleli ($M_1 \geq 1{,}35\ M_{\odot}$) bileşenlere sahip değen çiftlerin neredeyse tamamının yörünge dönemlerinin arttığı Qian (2001a) belirtilmiştir

(en küçük kütle oranı q=0,072 olan AW UMa sisteminin dönemi azalmaktadır). Fakat bu tez çalışmasında oluşturulan Şekil 5.1(b) incelendiğinde yine Qian (2001a) çalışmasıyla çelişen bilgiler/veriler görülebilir.

NCB, ECB ve CB türü sistemlerin kinematik ve dinamik özelliklerinin araştırılması amacıyla, Bölüm 4'te farklı homojen alt gruplara göre kinematik yaşlar tayin edildi. CB türü sistemler için homojen dört alt grupta kinematik yaşlar belirlenirken ECB ve NCB türü sistemlerin sayıları az olduğu için sadece birer alt grup için kinematik yaşları belirlenmiştir. Farklı alt gruplarda kinematik yaşlar belirlenirken Galaktik hız dispersiyonlarından yararlanılır ve buna bağlı olarak farklı Galaktik popülasyonlara ait birkaç sistemin hesaplamalarda yer alması beklenmedik grup yaşlarının elde edilmesine neden olur. Bu durumu çözmek için homojen alt gruplardaki sistemlerin popülasyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu yüzden bu çalışmada CB, ECB ve NCB türü sistemlerin popülasyon analizleri de yapılmıştır. Popülasyon analizlerinde; 192 CB türü sistemden 168'i, 20 ECB türü sistemden 19'u ve 20 NCB türü sistemlerinin tamamı yüksek olasılıklı ince disk popülasyonuna ait çıkmıştır. 24 CB türü ve 1 ECB türü sistem kalın disk veya halo yıldız popülasyonun üyesi olarak belirlenmiş olup dinamik incelemelerde dışarıda bırakılmıştır.

Örten çift sistemlerin dinamik evrimleri temelde; toplam kütle (M), yörünge dönemi (P) ve yörünge açısal momentumları (J) olmak üzere üç temel parametre üzerinden incelenir. CB, ECB ve NCB yıldızları için $J-M$, $M-P$ ve $J-P$ değişimlerini incelemek bu tür sistemlerin dinamik evrimlerinin anlaşılmasına yardımcı olabilir. Yörünge açısal momentumu ve toplam kütle sistemlerin yörünge boyutunu ve yörünge dönemini belirleyen temel iki fiziksel parametre olduklarından yörünge açısal momentum ve toplam kütle değişimleri doğrudan yörüngedeki fiziksel parametreleri etkileyeceğinden log J'ye karşılık log M grafiği yörüngenin dinamik evriminin anlaşılmasına yardımcı olur (Şekil 5.2). CB yıldızları için Eker ve ark. (2006, 2007) tarafından benzer çalışmalar yapılmış ve bu tez çalışmasında elde edilen bulgular Eker ve ark. (2006, 2007)'nin çalışmalarını destekler nitelikte bulunmuştur. Şekil 5.2(a) incelendiğinde ECB ve NCB türleri birbirine çok yakın bir ilişki gösterdiği görülmekte ve bundan dolayı bu türler ayrı grafik üzerinde incelenmiştir (Şekil 5.2b). Toplam kütle (M) ve yörünge açısal momentum (J) dağılımları logaritmik olarak incelendiğinde doğrusal bir yayılım gösterdikleri Şekil 5.2'den açıkça görülebilir. Bu nedenle log M-log J dağılımı doğrusal fonksiyonla verilebilir:



Şekil 5.2. (a): CB, ECB ve NCB türü sistemler için, (b): ECB ve NCB türü sistemler için log $M-\log J$ değişimi, sürekli çizgi yapılan doğrusal fiti temsil etmektedir (Türler dönem değişimlerine göre sembolize edilmiş olup; üçgen sembolü dönem azalmasını, ters üçgen dönem artmasını ve içi boş daire değişim yok ya da verisi bulunmayan sistemleri temsil etmektedir)

Toplam kütleye karşılık açısal momentum dağılımları;

$$\log J = 2{,}05(24) \log M + 51{,}09(6) \quad (5.1a)$$

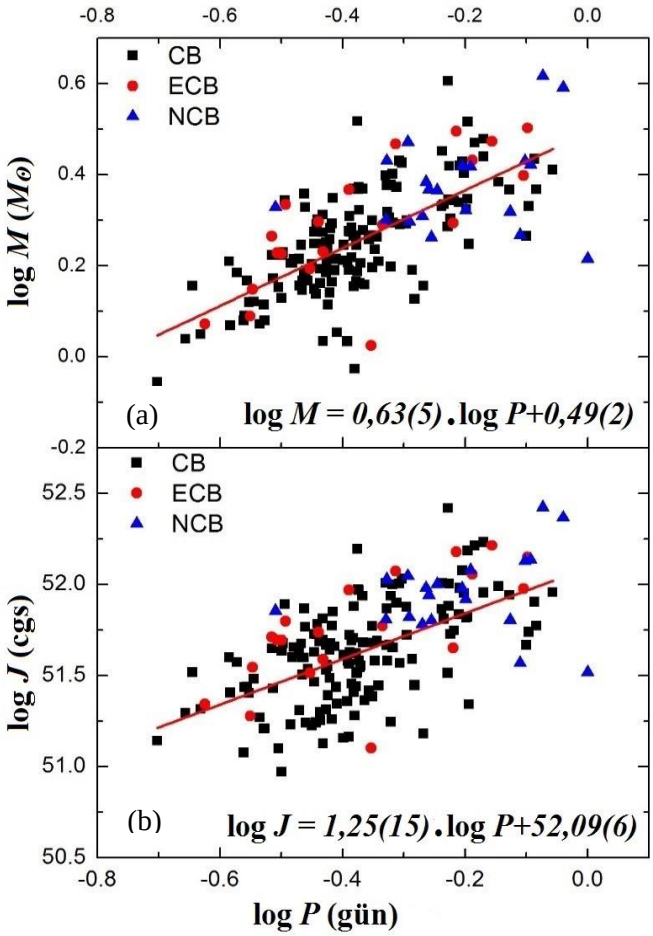
$$\log J = 2{,}02(23) \log M + 51{,}16(7) \quad (5.1b)$$

bağıntıları ile temsil edildi. Bu bağıntılar kullanılarak; toplam kütlesi belli olan bir sistemin sahip olacağı açısal momentum tahmin edilebilir. Şekil 5.2(a)'da CB türü sistemlerinin toplam kütleleri, 2 $M_\odot$ değerinden büyük olanlar için açısal momentum değişimi daha kararlı bir durum içindeyken, 2 $M_\odot$ değerinden küçük sistemler için kararlılık azalmaktadır. Küçük kütleli sistemlerde yıldızın dış katmanları konvektif bir zarfa sahip ve dolayısıyla manyetik aktivite kaynaklı açısal momentum kayıpları bunun olası sebebi olabilir. Ayrıca grafiklerde sistemlerin dönem değişimlerine göre farklı semboller kullanılmıl olup NCB ve ECB türleri için dönemi azalan sistemlerin saysısal olarak çoğunlukta olduğu görülmektedir.

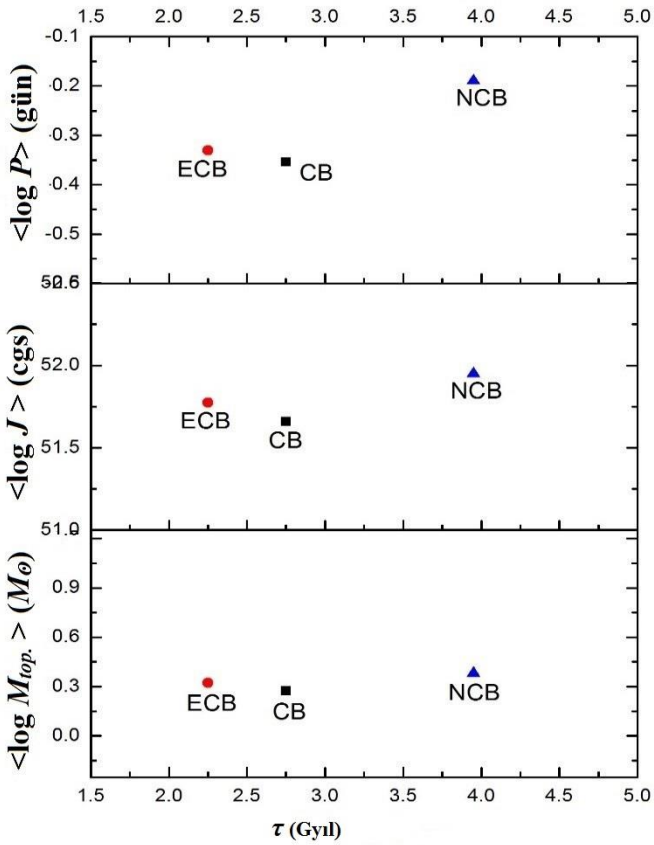
CB, ECB ve NCB türü yıldızların yörünge dönemlerinin kütle ve açısal momentum değerleriyle değişimi Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Şekil 5.3'te doğrusal fonksiyonlar CB ve ECB türü sistemler için yapılmış olup grafiklerde NCB türü sistemler sadece işaretlenmiş olup analizlerde, farklı evrim durumları ve fiziksel özellikleri nedeniyle, dikkate

alınmamıştır. Yörünge dönemi ile açısal momentum ve kütle arasındaki ilişki $J \alpha P^{1,25}$ ve $M \alpha P^{0,63}$ elde edilmiş olup Eker ve ark. (2006, 2007) tarafından yapılan yörünge dinamiği çalışmalarını desteklemektedir. Yörünge dinamiği üzerine Eker ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada farklı kütle oranlarına karşılık $\Delta \log J / \Delta \log M$ = 1,67 ve 1,5 değerlerini elde etmişlerdir. Bu tez çalışmasında ise tüm CB sistemleri için $\Delta \log J / \Delta \log M$ = 1,23 değeri elde edilmiştir.

Bu çalışmada sistemlerin popülasyon ve kinematik yaşlarının tayini, çift yıldız astrofiziğine katkı yapmaktadır. Her bir grubun (NCB, ECB ve CB) popülasyon analizleri yapılmış ve Güneş komşuluğundaki ince disk popülasyonuna ait üye sistemler belirlenmiştir. İnce disk popülasyonundaki sistemlerin yaşları, belirlenen kinematik kriterler gözönünde bulundurularak Wielen (1977) tarafından oluşturulan ve Cox (2000) tarafından güncellenen hız dispersiyonuyla ve kinematik yaş bağıntısıyla elde edilmiş olup Bölüm 4'teki çizelgelerde verilmiştir. Yapılan kinematik yaş hesabında NCB türü sistemlerin yaşı 3,95 Gyıl, ECB türü sistemlerin yaşı 2,25 Gyıl ve CB türü sistemlerin ise 2,75 Gyıl olarak hesaplanmıştır. NCB'ler kinematik yaş olarak ECB ve CB'lerden daha yaşlı hesaplanmıştır. İstatistik olarak daha anmalı bir sonuç elde etmek amacıyla, kinematik hesaplamalar için en az 20 sistem olma kriteri kullanılabilir ki bu çalışmadaki NCB ve ECB türü sistemler sayısal olarak kritik eşiktedir. NCB türü sistemlerin yaşı ECB ve CB'lerden görece daha büyük çıkmıştır. Bunun nedeni grubun homojen olmaması olabilir, çünkü NCB grubu 5 SD1, 7 SD2 ve 8 DB'den oluşmaktadır. Bilir ve ark. (2005) tarafından yapılan çalışmada ise CB türlerin yaşları yaklaşık 4,5 Gyıl olarak belirlenmiştir. Bu yaş farklı bir yöntem kullanılarak, Yıldız (2013) tarafından da desteklendi. İnce disk popülasyonuna ait CB, ECB ve NCB türlerinin toplam kütle, yörünge açısal momentum ve yörünge dönemi değerlerinin ortalama grup kinematik yaşlarıyla değişimleri Şekil 5.4'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3. CB, ECB ve NCB türü sistemler için log P−log J ve log P−log M değişimi, sürekli çizgiler yapılan doğrusal fitleri temsil etmektedir



Şekil 5.4. Yüksek olasılıklı ince disk üyesi olan CB, ECB ve NCB çift yıldızlarının toplam kütle, yörünge açısal momentumu ve yörünge dönemlerinin ortalama kinematik yaş ile değişimleri

Bu çalışmadaki sistemlerin toplam kütle, yörünge açısal momentumu ve yörünge dönemi olmak üzere üç temel parametre üzerinden dinamik evrimleri incelenmiştir. Ayrıca Bölüm 4'te kütle oranı, yarı büyük eksen uzunluğu ve taşma parametresine göre bulgular da elde edilmiştir (bakınız Çizelge 4.28 ve Şekil 4.76). Dinamik evrim için sistemlerin alt grupları açısal momentum üzerinden oluşturulmuştur ve toplam kütle, yörünge açısal momentumu ve yörünge döneminin yaş ile azaldığı görülmektedir (bakınız Şekil 4.75). Bölüm 4'te (4.10), (4.11) ve (4.12) bağıntılarının türevleri alınarak dinamik değerlendirme için yıllık değişim miktarları hesaplanmış ve Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. CB türü sistemler için bu çalışmada elde edilen toplam kütle, açısal momentum ve yörünge döneminin yıllık azalma miktarları

Tür	$\frac{dM_{top.}}{d\tau}$ ($\times 10^{-10}$ yıl^{-1})	$\frac{dJ}{d\tau}$ ($\times 10^{-10}$ yıl^{-1})	$\frac{dP}{d\tau}$ ($\times 10^{-10}$ yıl^{-1})
CB	-3,5	-4,3	-1,1

Bileşenler arası kütle ve enerji aktarımı, açısal momentum ve kütle kayıpları gibi birçok farklı fiziksel süreçler içeren CB türleri için toplam kütle, açısal momentum ve yörünge dönemlerinin yıllık olarak değişme miktarları belirlenmiş ve Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma yakın ve etkileşen çift yıldızlar üzerine yapılmış olup NCB ve ECB türü sistemlerin kinematik ve dinamik incelemelerinin yapılabilmesi için gerekli parametreleri içerecek şekilde güncel kataloglar ve yayınlar kullanılarak veri tabanları oluşturulmuştur. Temel parametre dağılımları CB ve ECB yıldız sistemleri için yapılmış olup *ML*, *MP* ve *TP* bağıntıları oluşturulmuş olup literatüre katkı sunulmuştur. Çalışmada değmeye yakın dizgeler ile erken değme evresindeki dizgelerin temel parametre ilişkileriyle evrimsel bağlantıları araştırılmıştır. Dinamik evrim göstergesi olabilecek düzlemlerde (log *J*–log *M* ve log *J*–log *P* gibi), bu grupların dağılımları oluşturularak yorumlanmıştır. NCB, ECB ve CB türlerinin grup yaşlarıyla temel parametre ilişkileri incelenerek dinamik evrimleri araştırıldı. Bu tür sistemlerin anlaşılmasında ışık eğrileri analizleri yanında yörünge dönem değişimlerinin de anahtar olabileceği düşünüldüğünden, sistemlerin dönem değişimlerinin analizleri de yapılmış olup dönem değişimleriyle parametre ilişkileri incelenmiştir. Ayrıca daha genel bir bakış açısıyla NCB ve ECB'ler ile CB'lerin aynı diyagramlar üzerinde birlikte yorumlanmıştır. İleriki yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte daha hassas tayf ve fotometrik gözlem verilerinin analizleri sonucunda temel parametreleri iyi bilinen NCB ve ECB sistemlerinin sayıları da artacaktır. Bu durumda farklı kriterlere göre oluşturulacak alt gruplarda daha duyarlı kinematik yaş ile farklı yollardan yapılacak yaş hesaplamalarıyla temel parametrelerin zaman ile değişimleri ayrıntılı incelenerek çift yıldızların farklı türleri arasındaki olası evrim geçişleri yorumlanabilecektir.

KAYNAKLAR

Ahnert P., Hoffmeister C., Rohlfs E., van de Voorde A., 1947. Die Veraenderlichen Sterne der Nordlichen Milchstrasse. Teil IV. Veroeff. Sternwarte Sonneberg, 1: 43-156.

Aitken R. G., 1932. New General Catalogue of Double Stars within 120° of the North Pole. New General Catalogue of Double Stars within 120° of the North Pole, Publication, 417 (Washington: CarnegieInstitution of Washington).

Angione R. J., Sievers J. R., 2013. The Near Contact System EG Cephei. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 125 (923): 41-47.

Applegate J. H., 1992. A Mechanism for Orbital Period Modulation in Close Binaries. The Astrophysical Journal, 385: 621-629.

Baker N., Temesvary S., 1966. Tables of Convective Stellar envelopes (2nd edition). Goddard Institute for Space Studies, New York.

Banks T., Sullivan D. J., Budding E., 1990. RT-Sculptoris - An Important Star for Low Mass Close Binary Research. Astrophysics and Space Science, 173 (1): 77-92.

Baran A., Zola S., Rucinski S. M., Kreiner J. M., Siwak M., Drozdz M., 2004. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: II. Acta Astronomica, 54: 195-206.

Barone F., di Fiore L., Milano L., Russo G., 1993. Analysis of contact binary systems-AA Ursae Majoris, V752 Centauri, AO Camelopardalis and V677 Centauri. Astrophysical Journal, 407: 237-251.

Bell S. A., Rainger P. P., Hill G., Hilditch R. W., 1990. A Photometric and Spectroscopic Study of BX Andromedae. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 244: 328-340.

Benacquista M. J., Downing J. M. B., 2013. Relativistic Binaries in Globular Clusters, Living Reviews in Relativity, 16 (1): 4.

Bensby T., Feltzing S., Lundström I., 2003. Elemental Abundance Trends in The Galactic Thin and Thick Disks as Traced by Nearby F And G Dwarf Stars. Astronomy and Astrophysics, 410: 527-551.

Bensby T., Feltzing S., Lundström I., Ilyin I., 2005. α, r, and s Process Element Trends in the Galactic Thin and Thick Disks. Astronomy and Astrophysics, 433 (1): 185-203.

Bilir S., Karataş Y., Demircan O., Eker Z., 2005. Kinematics of W Ursae Majoris Type Binaries and Evidence of the Two Types of Formation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 357: 497-517.

Binnendijk L., 1970. The Orbital Elements of W Ursae Majoris Systems. Vistas in Astronomy, 12 (1): 217-256.

Blaauw A., Gum C. S., Pawsey J. L., Westerhout G., 1960. The new I. A. U. System of Galactic Coordinates (1958 revision). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 121: 123-131.

Bond H. E., 1976. Eclipsing Binaries Found Spectroscopically III. HD 199497. Information Bulletin on Variable Stars, 1214: 1-2.

Bookmyer B. B., 1966. Orbital Solutions of V499 Scorpii and RT Sculptoris. Astronomical Journal, 71: 1012-1016.

Bozkurt S., Ibanoglu C., Gulmen O., Gudur N., 1976. Photoelectric Light-Curves of CN And. Information Bulletin on Variable Stars, 1087: 1-2.

Brancewicz H. K., Dworak T. Z., 1980. A Catalogue of Parameters for Eclipsing Binaries. Acta Astronomica, 30: 501-524.

Bressan A., Marigo P., Girardi L., Salasnich B., Dal Cero C., Rubele S.; Nanni A., 2012. PARSEC: Stellar Tracks and İsochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 427 (1): 127-145.

Buser R., Rong J., Karaali S., 1999. The New Basel High-Latitude Field Star Survey of The Galaxy. II. The Thick Disk Component: Density Structure, Luminosity Function, and Metallicity Distribution. Astronomy and Astrophysics, 348: 98-112.

Buttery I. G., 1942. Twenty-two New Variable Stars in MWF 10. Annals of Harvard College Observatory, 109: 25-26.

Ceraski W., 1907. Trois Variables Nouvelles. Astronomische Nachrichten, 174: 285.

Cerruti M. A., 1996. Differential Corrections Analysis of the UBVRI Observations of AG Phoenicis. Acta Astronomica, 46: 429-446.

Chiosi C., Maeder A., 1986. The Evolution of Massive Stars with Mass Loss. Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 24: 329-375.

Cillie G. G., 1951. The Photoelectric Light Curve of YY Eridani. Harvard College Observatory Bulletin, 920: 41-45.

Cillie G. G., Bok B. J., 1951. The Photoelectric Light Curve of TW Ceti. Harvard College Observatory Bulletin. 920: 29-31.

Cillie G. G., Lindsay E. M., 1958. The Photo-Electric Light Curve of RT Sculptoris. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 118: 585.

Clausen J. V., Grønbech B., 1977. Four-colour Light Curves of the Eclipsing Binary RT Scl. Astronomy and Astrophysics, 28: 389 – 401.

Coşkunoğlu B., Ak S., Bilir S., Karaali S., Yaz E., Gilmore G., Seabroke G. M., Bienaymé O., Bland-Hawthorn J., Campbell R., Freeman K. C., Gibson B., Grebel E. K., Munari U., Navarro J. F., Parker Q. A., Siebert A., Siviero A., Steinmetz M., Watson F. G., Wyse R. F. G., Zwitter T., 2011. Local Stellar Kinematics from RAVE Data–I. Local Standard of Rest. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 412 (2): 1237-1245.

Covino E., Barone F., Milano L., Russo G., Starna M. J., 1990. EE Aquarii: A Marginal Contact System. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 246: 472.

Çetinkaya H., Soydugan F., 2017. Long-term Orbital Period Behaviour of Low Mass Ratio Contact Binaries GR Vir and FP Boo. American İnstitute of Physics Conference Proceedings, 1815.

Çiçek C., 2011. CCD Photometric Analysis of the W UMa-Type Binary V376 Andromeda. New Astronomy, 16 (1): 12-16.

Çiçek C., Erdem A., Soydugan F., 2005. A Near-Contact Binary: CN Andromedae. Astronomische Nachrichten, 326 (2): 127-133.

Dal H. A., Sipahi E. 2013. The Nature of V1464 Aql: A New Ellipsoidal Variable with a δ Scuti Component. Publications of the Astronomical Society of Australia, 30: 016.

Deb S., Singh H. P., 2011. Physical Parameters of 62 Eclipsing Binary Stars Using The All Sky Automated Survey-3 Data - I. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 412 (3): 1787-1803.

Demircan O., 1999. Dynamical Evolution of the RS CVn-type Binaries. Turk. Journal Physics, 23(2): 425 - 432.

Demircan O., 2000. Period Changes as a Tool to Study Unseen Components Around Eclipsing Binaries. Variable Stars as Essential Astrophysical Tools / edited by Cafer Ibanoglu. Dordrecht; Boston: Kluwer Academic Publishers, published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division, 544: 615.

Demircan O., Eker Z., Karataş Y., Bilir S., 2006. Mass Loss And Orbital Period Decrease in Detached Chromospherically Active Binaries. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 366 (4): 1511-1519.

Derman E., Demircan O., Selam S., 1991. Light Curve and Period Variations of a W Ursae Majoris System LS Delphini. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 90: 301-309.

Djurasevic G., Baştürk Ö., Latkovic O., Yılmaz M., Çalışkan Ş., Tanrıverdi T., Şenavcı H. V., Kılıçoğlu T., Ekmekçi F., 2013. Photometric Analysis of HS Aqr, EG Cep, VW Lmi and DU Boo. Astronomical Journal, 145 (3): 80.

Djurašević G., Yılmaz M., Baştürk Ö., Kılıçoğlu T., Latković O., Çalışkan Ş., 2011. Physical Parameters of Close Binaries QX Andromedae, RW Comae Berenices, MR Delphini, and BD +079° 3142. Astronomy and Astrophysics, 525: A66.

Dryomova G. N., Svechnikov M. A., 2006. Variation in the Orbital Period of W UMa-type Contact Systems. Astrophysics, 49: 358-369.

Duerbeck H. W., Rucinski S. M., 2007. Radial Velocity Studies of Southern Close Binary Stars. II. Spring/Summer Systems. Astronomical Journal, 133 (1), 169-176.

Eggleton P. P., 1996. Evolution of Contact Binaries. The Origins, Evolution, and Destinies of Binary Stars in Clusters, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 90: 257.

Eker Z., Bakış V., Bilir S., Soydugan F., Steer I., Soydugan E., Bakış H., Aliçavuş F.,

Aslan G., Alpsoy M., 2018. Interrelated Main-Sequence Mass-Luminosity, Mass-Radius, and Mass-Effective Temperature Relations. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479 (4): 5491-5511.

Eker Z., Demircan O., Bilir S., Karataş Y., 2006. Dynamical Evolution of Active Detached Binaries on the log *Jo*-log *M* Diagram and Contact Binary Formation. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 373 (4): 1483-1494.

Eker Z., Demircan O., Bilir S., Karatas Y., 2007. Evidences on Secular Dynamical Evolution of Detached Active Binary Orbits and Contact Binary Formation. Solar and Stellar Physics Through Eclipses Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 370: 151.

Erdem A., Aliçavuş F., Soydugan F., Doğru S. S., Soydugan E., Çiçek C., Demircan O., 2011. The Detached Eclipsing Binary TX Her Revisited. New Astronomy, 16 (8): 498-502.

Erdem A., Budding E., Demircan O., Lütfi Değirmenci Ö., Gülmen Ö., Sezer C., 2005. The Close Binary System EG Cephei. Astronomische Nachrichten, 326 (5): 332-337.

Erdem A., Zola S., Winiarski M., 2011. The Near-Contact Binary Star RZ Dra Revisited. New Astronomy, 16 (1): 6-11.

Espin T. E., 1908. Notes on Double Stars. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 2: 248.

Etzel P. B., Olson E. C., 1993. New Rotational Velocities for Eclipsing Binaries, and a Comparison of Spectroscopic and Photometric Rotations. Astronomical Journal, 106: 1200-1205.

Evren S., Ibanoglu C., Tunca Z., Akan M. C., Keskin V., 1987. The 1986 Observations and the Period Study of CN Andromedae. Information Bulletin on Variable Stars, 3109: 1-4.

Flannery B. P., 1976. Structure and Evolution of Close Binary Systems; Proceedings of the Symposium, Cambridge, England, July 28-August 1, 1975, p.331.

Gaia Collaboration; Prusti T ve ark., 2016. The Gaia Mission. Astronomy ve Astrophysics, 595: 36.

Galkina M. P., Shugarov S. Y., 1985. Study of 11 Stars in Lyra. Perem. Zvezdy, Byull., Tom, 22: 225 – 235.

Gazeas K., Liakos A., Niarchos P., 2010. DD Mon and XY UMa: CCD Photometry and Modeling of Two Close Binary Systems with Solar-Type Components. San Francisco Astronomical Society of the Pacific, 2010: 351.

Gazeas K., Stępien K., 2008. Angular Momentum and Mass Evolution of Contact Binaries. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 390: 1577-1586.

Geyer E., Kippenhahn R., Strohmeier W., 1955. Kleine Veraff. Remeis- Sternw. Bamberg, 11.

Ghoreyshi S. M. R., Ghanbari J., Salehi F., 2008. Reanalysis of two Eclipsing Binaries: EE Aqr and Z Vul. Astrophysics and Space Science, 314: 331-340.

Gray J. D., Samec R. G., Carrigan B. J., 1995. Complete CCD *UBVRI* Light Curves of the Short Period Eclipsing Binary: V361 Lyrae. Information Bulletin on Variable Stars, 4177: 1.

Guinan E. F., Bradstreet D. H., 1988. Kinematic Clues to the Origin and Evolution of Low Mass Contact Binaries. Advanced Science Institutes (ASI) Series C, 241: 345.

Gürol B., Gökay G., Saral G., Gürsoytrak S. H., Cerit S., Terzioğlu Z., 2016. Absolute and Geometric Parameters of Contact Binary GW Cnc. New Astronomy, 46: 31-39.

Hilditch R. W., 2001. Book Review: An İntroduction to Close Binary Stars/Cambridge University Press, 2001. The Observatory,121: 389.

Hilditch R. W., Collier Cameron A., Hill G., Bell S. A., Harries T. J., 1997. Spectroscopy and Eclipse-Mapping of the Mass-Exchanging Binary Star V361 Lyr. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 291 (4): 749-762.

Hilditch R. W., King D. J., 1986. Contact and Near-Contact Binary Systems-IV. RT Scl and AQ Tuc. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 223: 581-593.

Hilditch R. W., King D. J., Hill G., Poeckert R., 1984. Contact and Near-Contact Binary Systems-I. FT Lupi. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 208: 135-146.

Hilditch R. W., King D. J., McFarlane T. M., 1988. The Evolutionary State of Contact and Near-Contact Binary Stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 231: 341-352.

Hinse T. C., Horner J., Lee J. W., Wittenmyer R. A., Lee C. U., Park J. H., Marshall J. P., 2014. On the RZ Draconis Substellar Circumbinary Companions. Stability study of the Proposed Substellar Circumbinary System. Astronomy and Astrophysics, 565: A104.

Hinse T. C., Horner J., Wittenmyer R. A., 2014. An Orbital Stability Study of the Proposed Companions of SW Lyncis. Journal of Astronomy and Space Science, 31: 187-197.

Hoffmeister C., 1933. 115 neue Veränderliche. Astronomische Nachrichten, 247: 281.

Hoffmeister C., 1934. 132 neue Veräderliche. Astronomische Nachrichten, 253: 195.

Hoffmeister C., 1943. 213 neue Veränderliche. Astronomische Nachrichten, 274: 36.

Hoffmeister C., 1949. Astr. Abh. Astronomische Nachrichten, 12: 1.

Hoffmeister C., 1949. Die RW Aurigae-Sterne und ihre Nebenformen. Astronomische Nachrichten, 278 (1): 24-40.

Hoffmeister C., 1949. Erg. Astronomische Nachrichten, 12: 1.

Hoffmeister C., 1965. Veröff. Sternw. Sonnenberg 6, 3: 132.

Hogg A. R., Bowe P. W. A., 1950. Photoelectric Observations of S. Antliae, S. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 110: 373.

Hogg A. R., Kron G. E., 1955. Photoelectric Light-Curves of The Eclipsing Star TT Herculis. Astronomical Journal, 60: 100.

Huang S. S., 1966. A theory of the Origin and Evolution of Contact Binaries. Annales d'Astrophysique, 29: 331.

Huang S. S., 1966. Problems of Close Binary Systems that Involve Transfer of Angular Momentum. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, 4: 35-56.

Ibanoğlu C., Çakırlı Ö., Dervişoğlu A., 2010. Is NP Aqr a New Near-Contact Binary?. New Astronomy, 15 (4): 373-379.

Irwin J. B., 1959. Standard Light-Time Curves. Astronomical Journal, 64: 149-155.

Jackisch G., 1972. Über die Veränderlichkeit der Sterne des Spektraltyps A. Astronomische Nachrichten, 294: 1.

Jensch A., 1934. Ergebnisse Photographischer und Visueller Beobachtungen an 7 Veräderlichen. Astronomische Nachrichten, 252: 393.

Johnson D. R. H., Soderblom D. R., 1987. Calculating Galactic Space Velocities and Their Uncertainties, with an Application to the Ursa Major Group. Astronomical Journal, 93: 864-867.

Jordan F. C., 1923. An Eclipsing Variable with an Unusually Short Period. Astronomical Journal, 35: 44.

Joy A. H., 1926. Provisional Elements and Dimensions of S Antliae Considered as an Eclipsing Binary. Astrophysical Journal, 64: 287-294.

Kaluzny J., 1983. CN And: W UMa-type System in the Phase of Poor Thermal Contact?. Acta Astronomica, 33: 345-355.

Kaluzny J., 1986. Contact Binaries with Components in Poor Thermal Contact. III. AU Serpentis and FT Lupi. Acta Astronomica, 36: 113-120.

Karataş Y., Bilir S., Eker Z., Demircan O., 2004. Kinematics of Chromospherically Active Binaries and Evidence of an Orbital Period Decrease in Binary Evolution. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 349 (3): 1069-1092.

Khruslov A. V., 2005. Observations of Variables. Information Bulletin on Variable Stars, 5599.

Kim C. H.; Jeong J. H., Lee Y. S., 2005. Light-Time Effects in Two Eclipsing Binaries V343 AQL and CX AQR. Journal of Astronomy and Space Sciences, 22 (2): 113-124.

Koch R. H., 1960. Photoeletric light curves of XY Leonis. Astronomical Journal, 65: 374-380.

Koju V., Beaky M. M., 2015. Null Correlation Between the O'Connell Effect and Orbital Period Change for SW Lac, CN And, and V502 Oph. Information Bulletin on

Variable Stars, 6127: 1.

Kreiner J. M., 2004. Up-to-Date Linear Elements of Eclipsing Binaries. Acta Astronomica, 54: 207-210.

Kreiner J. M., Kim C. H., Nha, I. S. 2001. An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars. Cracow, Poland: Wydawnictwo Naukowe Akademii Pedagogicznej.

Kreiner J. M., Pribulla T., Tremko J., Stachowski G. S., Zakrzewski B., 2008. Period Analysis of Three Close Binary Systems: TW And, TT Her and W UMi. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 383 (4): 1506-1512.

Kreiner J. M., Rucinski S. M., Zola S., Niarchos P., Ogloza W., Stachowski G., Baran A., Gazeas K., Drozdz M., Zakrzewski B., Pokrzywka B., Kjurkchieva D., Marchev D., 2003. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems. I. Astronomy and Astrophysics, 412: 465-471.

Kwee K. K. ve van Worden H., 1956. A Method for Computing Accurately the Epoch of Minimum of an Eclipsing Variable. Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, 12: 327-330.

Kwee K. K., 1958. Investigation of Variations in The Period of Sixteen Bright Short-Period Eclipsing Binary Stars. Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, 14: 131.

Kwee K. K., van Genderen A. M., 1983. Photometric Observations and Elements of The Eclipsing Binary TT Herculis. Astronomy and Astrophysics 126: 94-101.

Lanza A. F., 2006. Internal Stellar Rotation and orbital Period Modulation in Close Binary Systems. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 369 (4): 1773-1779.

Lanza A. F., Rodonò M., 1999. Orbital Period Modulation and Kuadrupol Moment Changes in Magnetically Active Close Binaries. Astronomy and Astrophysics, 349: 887-897.

Lanza A. F., Rodonò M., 2002. Gravitational Kuadrupol-Moment Variations in Active Binaries. Astronomische Nachrichten, 323: 424-431.

Leavitt H. S. 1918. in Geschichte und Literatur der Veränderlichen Sterne des Lichtwechsel, ed. G. Müller ve E. Hartwig, 100.

Lee C. U., Lee J. W., 2006. Photometric Study of the Near-Contact Binary CN Andromedae. Journal of the Korean Astronomical Society, 39 (1): 25-30.

Lee J. W., Kim S. L., Lee C. U., Kim H. I., Park J. H., Hinse T. C., 2011. WZ Cygni: a Marginal Contact Binary in a Triple System?. Astronomical Journal, 142 (1): 12.

Lee J. W., Kim S. L., Lee C. U., Kim H. I., Park J. H., Park S. R., Koch R. H., 2009. Photometric Properties of the Near-Contact Binary GW Geminorum. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 121 (876): 104-110.

Leung K. C., 1976. The contact binary HD 101799. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 88: 936-939.

Li Y., Qian S. B., 2005. GMG 2.4-m Telescope and Light-Time Effect Research for W UMa-type Binaries. The Light-Time Effect in Astrophysics, Proceedings of ASP Conference Series, 335: 245.

Liao W. P., Qian S. B., 2010. Detection of a Cyclic Period Change in the W UMa-type System HT Virginis. Publications of the Astronomical Society of. Japan, 62 (3): 521-524.

Liao W. P., Qian S. B., 2010. The Most Plausible Explanation of the Cyclic Period Changes in Close Binaries: the case of the RS CVn-Type Binary WW Dra. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 405 (3): 1930-1939.

Lipari S. L., Sistero R. F., 1986. FT LUPI - *UBV* Photometry and Synthetic Solution. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 220: 883-894.

Lister T. A., 2009. Long Term Evolution of Surface Features on the Unusual Close Binary V361 Lyr. American Institute of Physics Conference Proceedings, 1094: 688-691.

Liu X., Yang J., Tan H., 1987. New *UBV* Photoelectric Observations of GZ And. Information Bulletin on Variable Stars, 3080: 1-3.

Lu W., Rucinski S. M., 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. I. Astronomical Journal, 118 (1): 515-526.

Lu W., Rucinski S. M., Ogłoza W., 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. IV. The Astronomical Journal, 122: 402-412.

Lu W.; Rucinski S. M., 1999. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. I. Astronomical Journal, 118 (1): 515-526.

Lucy L. B., 1967. Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes. Zeitschrift für Astrophysik, 65: 89.

Lucy L. B., 1976. W Ursae Majoris Systems with Marginal Contact. Astrophysical Journal, 205: 208-216.

Lucy L. B., Wilson R. E., 1979. Observational Tests of Theories of Contact Binaries. Astrophysical Journal, 231: 502-513.

Luizet M., 1904. Observations et Nouveaux Elements de letoile Variable S Antliae. Astronomische Nachrichten, 165: 291.

Ma S., Li, K., Li, Q. C., Gao, H. Y., 2018. Photometric Study and Orbital Period Analysis of the W UMa type Contact Binary VZ Psc. New Astronomy, 59: 1-7.

Maceroni C., van't Veer F., 1996. The Properties of W Ursae Majoris Contact Binaries: New Results and old Problems. Astronomy and Astrophysics, 311: 523-531.

Mallama A., Pavlov H., 2015. Sudden Period Change and Dimming of the Eclipsing Binary V752 Centauri. The Journal of the American Association of Variable Star Observers, 43 (1): 38.

Marton S. F., Grieco A., Lapasset E., Sistero R. F., Claria J. J., 1990. RS Indi: A Photometric Analysis Using the Grid Technique. Astronomy and Astrophysics, 237: 73-78.

Massevich A. G., Tutukov A. V., 1988. Stellar Evolution: Theory and Observations. Izdatel'stvo Nauka, Moscow, In Russian,1988, 280.

McFarlane T. M., Bell S. A., Adamson A. J., Hilditch R. W., 1986. Contact and Near-Contact Binary Systems-VI. The Semi-Detached System CX Aquarii. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 223: 607-619.

McFarlane T. M., Hilditch R. W., King D. J., 1986. Contact and Near-Contact Binary Systems-V. RV Corvi. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 223: 595-606.

McFarlane T. M., King D. J., Hilditch R. W., 1986. Contact and Near-Contact Binary Systems-III. The Semi-Detached System YY Ceti. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 218: 159-169.

Milone E. F., Hrivnak B. J., Hill G., Fisher W. A., 1985. RW Comae Berenices. II– Spectroscopy. Astronomical Journal, 90: 109-114.

Mulherin O., Hintz E. G., 2015. Period Change in the Near-Contact Binary UU Lyncis. American Astronomical Society, 225: 345.

Naresh K. L., Sushma D., Vivekananda R. P., 2008. Photometric and spectroscopic Study of TW Ceti. Proceedings 25th meeting of The Astronomical Society of India, 65.

Nekrasova S., 1945. Zatmennaia peremennaia KR Cygni. Izvestiia Glavnoi Astronomicheskoi Observatorii v Pulkove, 16: 5.

Nelson R. H., 2010. AC Bootis-An Unevolved W-Type Overcontact Eclipsing Binary with a High Mass Transfer Rate. Information Bulletin on Variable Stars, 595:1.

Nesci R., Maceroni C., Milano L., Russo G., 1986. YY Eri Revisited. Astronomy and Astrophysics, 159: 142-146.

Odell A. P., Eaton J. A., López-Cruz O., 2009. V432 Per, A Close Binary Star in Poor Thermal Contact. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 400 (4): 2085-2089.

Ogloza W., Zola S., Tremko J., Kreiner J. M., 1998. The Analysis of Photometric Light Curves and the Third Body in the Eclipsing Binary System SW Lyn. Astronomy and Astrophysics, 340: 81-84.

Öztürk O., Soydugan F., Çiçek C., 2014. SX Aurigae: A Close Binary at the Early Stage of Contact Phase. New Astronomy, 30: 100-104.

Padalia T. D., 1979. Photoelectric Photometry of the Eclipsing Binary EE AQR. Astrophysics and Space Science, 62: 477-490.

Paschke A., Brat L. 2006. O-C Gateway, a Collection of Minima Timings. Open European Journal on Variable Stars, 23: 13-15.

Paul H. M., 1890. A New Variable of Short Period in Antlia. Astronomical Journal, 9: 180-

182.

Pickering E. C., 1907. 15 New Variable Stars in Harvard Maps, Nos. 15, 18 and 27. Astronomische Nachrichten, 176: 297.

Pickering E. C., 1907. Circ. Harvard College Observatory, 134:1.

Poretti E., Niarchos P. G., Mantegazza L., Antonello E., Conconi P., 1987. Photometry and Elements of the Pre-Contact System FO Vir. Astronomy and Astrophysics Supplement Series 69: 337-341.

Pribulla T., Rucinski S. M., Blake R. M., Lu, W., Thomson J. R., DeBond H., Karmo T., De Ridder A., Ogłoza W., Stachowski G., Siwak M., 2009. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XV. The Astronomical Journal, 137: 3655-3667.

Pribulla T., Rucinski S. M., Conidis G., DeBond H., Thomson J. R., Gazeas K., Ogłoza W., 2007. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XII. Astronomical Journal, 133 (5): 1977-1987.

Pribulla T., Rucinski S. M., DeBond H., De Ridder A., Karmo T., Thomson J. R., Croll B., Ogłoza W., Pilecki B., Siwak M., 2009. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XIV. Astronomical Journal, 137 (3): 3646-3654.

Pribulla T., Rucinski S. M., Lu W., Mochnacki S. W., Conidis G., Blake R. M., DeBond H., Thomson J. R., Pych W., Ogłoza W., Siwak M., 2006. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XI. Astronomical Journal, 132 (2): 769-780.

Qian S., 2001a. Orbital Period Changes of Contact Binary Systems: Direct Evidence for Thermal Relaxation Oscillation Theory. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328 (3): 914-924.

Qian S., 2001b. A Possible Relation Between the Period Change and the Mass Ratio for W-Type Contact Binaries. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 328 (2): 635-644.

Qian S., 2002. Short-Period Near-Contact Binary Systems at the Beginning of the Overcontact Phase. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 336 (4): 1247-1255.

Qian S., 2003. Are Overcontact Binaries Undergoing Thermal Relaxation Oscillation with

Variable Angular Momentum Loss. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 342 (4): 1260-1270.

Qian S., Liu Q., Yang Y., Gu S., Huang Z., 1997. VizieR Online Data Catalog: DD Mon *BV* Light Curves (Qian+ 1997). VizieR On-line Data Catalog, 125: 475Q.

Qian S. B., Zhu L. Y., Boonrucksar S., Xiang F. Y., He J. J., 2009. An Orbital Period İnvestigation of the Semi-Detached Near-Contact Binary DD Monocerotis. Publications of the Astronomical Society of. Japan, 61 (2): 333-337.

Rahunen T., 1981. Evolution of W UMa Systems and Angular Momentum Loss. Astronomy and Astrophysics, 102: 81-90.

Rahunen T., Vilhu O., 1982. Origin and Evolution of Contact Binaries of W UMa Type. In: Binary and Multiple Stars as Tracers of Stellar Evolution; Proceedings of the Sixty-ninth Colloquium, Bamberg, West Germany, 289-299.

Robertson J. A., Eggleton P. P., 1977. The Evolution of W Ursae Majoris System. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 179: 359-375.

Robin A. C., Haywood M., Creze M., Ojha D. K., Bienayme O., 1996. The Thick Disc of the Galaxy: Sequel of a Merging Event. Astronomy and Astrophysics, 305: 125-134.

Roeser S., Demleitner M., Schilbach E., 2010. The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS). Astronomical Journal, 139 (6): 2440-2447.

Rovithis L. H., Tsantilas S., Rovithis P., Chochol D., Skopal A., Pribulla T., 2005. The Eclipsing Binary bx Andromedae and its Orbital Period Behaviour. Astrophysics and Space Science, 296: 101-104.

Rucinski S. M., 1974. Binaries. II. A and W-type Systems. The W UMa-type Systems as Contact. Acta Astronomica, 24: 119-151.

Rucinski S. M., 1985. Contact Binaries: Theory. Cambridge Astrophysics Series, 113.

Rucinski S. M., 1986. Contact Binaries, Instrumentation and Research Programmes for Small Telescopes. Symposium of the International Astronomical Union,159-172.

Rucinski S. M., Duerbeck H. W., 1997. Absolute Magnitude Calibration for the W UMa-

Type Systems Based on HIPPARCOS data. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 109: 1340-1350.

Rucinski S. M., Duerbeck H. W., 2006. Radial Velocity Studies of Southern Close Binary Stars. I. Winter Systems. Astronomical Journal, 132 (4): 1539-1546.

Rucinski S. M., Lu W., Capobianco C. C., Mochnacki S. W., Blake R. M., Thomson J. R., Ogłoza W., Stachowski G., 2002. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. VI. Astronomical Journal, 124 (3): 1738-1745.

Rucinski S. M., Lu W., Mochnacki S. W., 2000. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. III. Astronomical Journal, 120 (2): 1133-1139.

Rucinski S. M., Lu W., Mochnacki S. W., 2000. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. III. Astronomical Journal, 120 (2): 1133-1139.

Rucinski S. M., Lu W., Mochnacki S. W., Ogłoza W., Stachowski G., 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. V. Astronomical Journal, 122 (4): 1974-1980.

Rucinski S. M., Pribulla T., Mochnacki S. W., Liokumovich E., Lu W., DeBond H., De Ridder A., Karmo T., Rock M., Thomson J. R., Ogłoza W., Kaminski K., Ligeza P., 2008. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. XIII. Astronomical Journal, 136 (2): 586-593.

Rucinski S. M., Pribulla T., van Kerkwijk M. H., 2007. Contact Binaries with Additional Components. III. A Search Using Adaptive Optics. Astronomical Journal, 134 (6): 2353-2365.

Russo G., Sollazzo C., Maceroni C., Milano L., 1982. Determination of Parameters of W-Ursae Systems-Part Two-Tw-Ceti S-Antiliae U-Pegasi ER-Orionis. Astronomy and Astrophysics Supplement, 47: 211.

Samec R. G., Laird H., Mutzke M., Faulkner D., 1997. 1997 *UBV* Light Curves of the Short Period, F-type, Near Contact Binary, CN And. Bulletin of the American Astronomical Society, 29: 1280.

Schneller H., 1931. Neuer Veränderlicher 377. 1931 Lyrae. Astronomische Nachrichten, 243: 99.

Schoeffel E., 1979. Absolute Characteristics of the W UMa System V535 Arae. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 36: 287-296.

Schumacher H., 2009. Analysis of the W UMa-type Eclipsing Binary V752 Centauri. Astrophysics Conference Series, 404: 199.

Schumacher H., 2009. Analysis of the W UMa-type Eclipsing Binary V752 Centauri. Astrophysics Conference Series, 404: 199.

Selam S. O., Esmer E. M., Şenavcı H. V., Bahar E., Yörükoğlu O., Yılmaz M., Baştürk Ö., 2018. A simultaneous Spectroscopic and Photometric Study of two Eclipsing Binaries: V566 Oph and V972 Her. Astrophysics and Space Science, 363 (2): 34.

Sezer C., Gulmen O., Gudur N., 1984. Photoelectric Light Curves and Period of HD 199497. Information Bulletin on Variable Stars, 2553: 1-2.

Shaw J. S., 1994. Near-Contact Binaries. Memorie della Societa Astronomia Italiana, 65: 95-103.

Shaw J. S., Caillault J. P., Schmitt J. H. M. M., 1996. Near-Contact Binary Systems in the ROSAT All-Sky Survey. Astrophysical Journal, 461: 951-955.

Shaw J. S., Guinan E. F., Ivester A. H., 1991. A Study of the Near-Contact Binary FO Virginis with the IUE. Bulletin of the American Astronomical Society, 23: 1415.

Shu F. H., Lubow S. H., Anderson L., 1976. On the Structure of Contact Binaries. I-The Contact Discontinuity. Astrophysical Journal, 209: 536-546.

Sipahi E., Çakırlı Ö., Ibanoglu C., 2013. Long-Term Photometric and Spectroscopic Observations of the Near-Contact Binary KR Cygni. Revista Mexicana de Astronomia y Astrofísica, 49: 25-35.

Siwak M., Zola S., Koziel-Wierzbowska D., 2010. A Study of Contact Binaries with Large Temperature Differences Between Components. Acta Astronomica, 60 (4): 305-336.

Smith R. C., 1984. The Theory of Contact Binaries. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society, 25 (4): 405.

Soydugan F., Bilir S., Soydugan E., Demircan O., 2015. "Çift Yıldızlarda Açısal Momentum ve Yörünge Evrimi", 111T224 nolu TÜBİTAK-ARDEB 1001 projesi.

Spitzer J. L., Schwarzschild M., 1953. The Possible Influence of Interstellar Clouds on Stellar Velocities. II. Astrophysical Journal, 118: 106.

Srivastava R. K., 1987. Period Variations of The Eclipsing System EE Aquarii. Astrophysics Space Science, 129 (2): 221-231.

Stepien K., 2006. Evolutionary Status of Late-Type Contact Binaries. Acta Astronomica, 56: 199-218.

Stępień K., Kiraga M., 2013. Evolution of Cool Close Binaries - Rapid Mass Aktarım and Near Contact Binaries. Acta Astronomica, 63 (2): 239-266.

Strohmeier W., Knigge R., Ott H., 1963. Veroff. Remeis-Sternw. Bamberg, 5: 16.

Strohmeier W., 1958. Neue Veranderliche Sterne. Bamberg, 1958.

Strohmeier W., 1960, Veroeffentlichungen der Remeis-Sternwarte zu Bamberg, Nr. 27. Veranderlichen-Colloquium Bamberg 1959. Bamberg, 1960, 1.

Strohmeier W., 1972. New Bright Southern Variable Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 610: 1.

Strohmeier W., Fischer H., Ott H., 1966. Bright Southern *BV*-Stars. Information Bulletin on Variable Stars, 140: 1.

Strohmeier W., Knigge R., Ott H., 1962. Veroffentlichungen der Remeis-Sternwarte Bamberg, 8.

StrohmeierW., Knigge R., 1960. Veroffentlichungen der Remeis-Sternwarte Bamberg, 2.

Struve O., 1947. Spectrographic Observations of Eight Eclipsing Binaries. Astrophysical Journal, 106: 92.

Struve O., 1950. Bright Lines of CA II in the Spectrum of RW Comae Berenices. Astrophysical Journal, 111: 658.

Struve O., Horak H. G., Canavaggia R., Kourganoff V., Colacevich A., 1950. Occasional Spectrographic Observations of Eclipsing Binaries. Astrophysical Journal, 111: 658.

Takamizawa K., 2000.VSOLJ. Variable Star Bulletin, 31.

Terrell D., Nelson R. H., 2014. The Double Contact Nature of TT Herculis. Astrophysical

Journal, 783 (1): 35.

Tian X. M., Zhu L. Y., Qian S. B., Li L. J., Jiang L. Q., 2018. Multi-Color Light Curves and Orbital Period Research of Eclipsing Binary V1073 Cyg. Research in Astronomy and Astrophysics, 18 (2): 20.

Tsesevich V. P., 1957. The Stars with Double Envelopes. International Astronomical Union Symposium, 3: 116.

Tvardovskyi D. E., Marsakova V. I., 2015. Cyclic Period Changes of β Lyrae-Type Eclipsing Variable Stars KR Cyg, V382 Cyg and BX And. Advances in Astronomy and Space Physics, 5 (2): 75-78.

Van Hamme W., Samec R. G., Gothard N. W., Wilson R. E., Faulkner D. R., Branly R. M., 2001. CN Andromedae: a Broken-Contact Binary. Astronomical Journal, 122 (6): 3436-3446.

Van Hamme W., Wilson R. E., 2003. Stellar Atmospheres in Eclipsing Binary Models. Astrophysics Conference Proceedings, 298: 323.

Vant Veer F., 1979. The Angular Momentum Controlled Evolution of Solar Type Contact Binaries. Astronomy and Astrophysics, 80: 287-295.

Van't Veer F., Maceroni C., 1989. The Angular Momentum Loss for Late-Type Stars. Astronomy and Astrophysics, 220: 128-134.

Vetesnik M., 1965. Photoelectric Photometry of KR Cygni. Bulletin of the Astronomical Institutes of Czechoslovakia, 16: 326-348.

Wachmann A. A., 1948. Observations of (1221) Amor Made at Bergedorf. Minor Planet Circular, 145: 2.

Walker R. L., 1973. A Newly Discovered W Ursae Majoris System: ADS 1693 A. Information Bulletin on Variable Stars, 855: 1.

Wang R., Lu W., Fan Q., 1987. New *BV* Light Curves of LS Delphini. Information Bulletin on Variable Stars, 2982: 1-2.

Wendell O. C., 1909. Photometric Observations Made with the Fifteen İnch East Equatorial during the years 1892 to 1902. Annals of Harvard College Observatory,

69: 1-97.

Wieck M., Wunder E., 1989. Revised Elements and Light Curve for LS Delphini. Information Bulletin on Variable Stars, 3406: 1-2.

Wielen R., 1977. The Diffusion of Stellar Orbits Derived from the Observed Age-Dependence of the Velocity Dispersion. Astronomy and Astrophysics, 60 (2): 263-275.

Williamon R. M., 1974. Photometric Study of EE Aquarii. Astronomical Journal, 79: 1093–1099.

Williamon R. M., Sowell J. R., 2012. Orbital Solutions and Absolute Elements of the Eclipsing Binary YY Ceti. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 124 (915): 411-417.

Williamon R.M., Sowell J.R., Van Hamme Walter V., 2013. The Eclipsing Binary RU Eridani. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 125: 17-24.

Wils P., Dvorak S. W., 2003. Eclipsing Binaries Discovered on Stardial Images. Information Bulletin on Variable Stars, 5425: 1.

Wilson R. E., 1978. On the A-type W Ursae Majoris Systems. Astrophysical Journal, 224: 885-891.

Wilson R. E., 1990. Accuracy and Efficiency in the Binary Star Reflection Effect. Astrophysical Journal,356: 613-622.

Wilson R. E., 1993. Computation Methods and Organization for Close Binary Observables. Astronomical Society of the Pacific, 38: 91.

Wilson R. E., Devinney E. J., 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. Astrophysical Journal, 166: 605-619.

Wronka M. D., Gold C., Sowell J. R., Williamon R. M., 2010. Orbital Solutions and Absolute Elements of The Eclipsing Binary EE Aquarii. Astronomical Journal, 139 (4): 1486-1490.

Yakut K., Eggleton P. P., 2005. Evolution of Close Binary Systems. Astrophysical Journal, 629, 1055-1074.

Yakut K., İbanoğlu C., Kalomeni B., Değirmenci Ö. L., 2003. New Light Curve Analysis and Period Changes of the Overcontact Binary XY Leonis. Astronomy and Astrophysics, 401: 1095-1100.

Yamasaki A., Okazaki A., Kitamura M., 1983. Short-Period Noncontact Close Binary Systems. I. UU Lyncis. Publications of the Astronomical Society of. Japan, 35: 131-142.

Yamasaki A., Okazaki A., Nakamura Y., Liu Q., Yang Y., Zhang Z., Zhang Y., 1990. Short-Period Noncontact Close Binary Systems. V. DD Monocerotis. Astronomical Journal, 99: 1218.

Yang Y., Liu Q., 2003. An Abnormal Radiant Luminosity of the Contact Binary GZ Andromedae and its Possible Explanation. Astronomy and Astrophysics, 401: 631-637.

Yang Y., Liu Q., 2003. Period Changes of two W UMa-Type Contact Binaries: RW Comae Berenices and CC Comae Berenices. Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 115 (808): 748-754.

Yang Y. G., Li H. L., Dai H. F., Zhang L. Y., 2010. The Near-Contact Binary RZ Draconis with two Possible Light-Time Orbits. Astronomical Journal, 140 (6): 1687-1693.

Yang Y. L., Liu Q. Y., 1985. A Flare on the Contact Binary CN And. Information Bulletin on Variable Stars, 2705: 1-3.

Yildirim M. F., Aliçavuş F., Soydugan F., 2019. CN Andromedae: A Shallow Contact Binary with a Possible Tertiary Component. Research in Astronomy and Astrophysics, 19 (1): 10.

Yu T., Hu K., Yu Y. X., Xiang F. Y., 2018. Orbital Period Changes of the W UMa Binary YY Eri. Research in Astronomy and Astrophysics, 18 (9): 106.

Zessewitsch V. P., 1944. Astrophysics Journal. 166: 606.

Zhu L. Y., Qian S. B., Liao W. P., Zejda M., Mikulasek Z., 2009. New period İnvestigation of Algol-Like Near-Contact Binary EG Cephei. Publications of the Astronomical Society of. Japan, 61 (3): 529-533.

Zhu L. Y., Qian S. B., Liu N. P., Liu L., Jiang L. Q., 2013. Photometric Study of the

Possible Cool Quadruple System PY Virginis. Astronomical Journal, 145 (2): 39.

Zola S., Gazeas K., Kreiner J. M., Ogloza W., Siwak M., Koziel-Wierzbowska D., Winiarski M., 2010. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems - VII. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 408 (1): 464-474.

Zola S., Kreiner J. M., Zakrzewski B., Kjurkchieva D. P., Marchev D. V., Baran A., Rucinski S. M., Ogloza W., Siwak M., Koziel D., Drozdz M., Pokrzywka B., 2005. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems V. Acta Astronomica, 55: 389-405.

Zola S., Rucinski S. M., Baran A., Ogloza W., Pych W., Kreiner J. M., Stachowski G., Gazeas K., Niarchos P., Siwak M., 2004. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: III. Acta Astronomica, 54: 299-312.

.

EKLERİ

EK 1. SuperWASP veri arşivinden elde edilen minmum zamanlar.

Ek Çizelge 1. ECB ve NCB türü sistemlerin SuperWASP veri arşivindeki ışık eğrilerinden elde edilen minimum zamanları ve hataları.

Sistem	Minimum Zaman	Hata	Türü (I/II)
GZ And	2454333,7305	0,0005	II
GZ And	2454337,6958	0,0007	II
GZ And	2454358,7422	0,0008	I
GZ And	2454360,5725	0,0007	II
GZ And	2454362,7066	0,0009	I
GZ And	2454374,6033	0,0005	II
GZ And	2454381,6188	0,0004	II
TW Cet	2454022,4154	0,0002	II
TW Cet	2454022,5733	0,0001	I
TW Cet	2454028,4350	0,0003	II
TW Cet	2454032,3953	0,0009	I
TW Cet	2454032,5203	0,0009	II
TW Cet	2454035,4057	0,0001	II
TW Cet	2454036,3564	0,0002	II
TW Cet	2454036,5144	0,0003	I
TW Cet	2454038,4154	0,0006	I
TW Cet	2454040,3167	0,0001	I
TW Cet	2454045,3858	0,0002	I
TW Cet	2454046,3365	0,0001	I
TW Cet	2454046,4998	0,0009	II
TW Cet	2454047,4458	0,0002	II
TW Cet	2454054,4165	0,0005	II
V752 Cen	2453860,4798	0,0005	II
V752 Cen	2453862,3320	0,0001	II
V752 Cen	2453863,2572	0,0001	I
V752 Cen	2453863,4424	0,0002	II
V752 Cen	2453864,3675	0,0001	I
V752 Cen	2453869,3663	0,0003	II
V752 Cen	2453870,2909	0,0001	I
V752 Cen	2453880,2875	0,0002	I
V752 Cen	2453881,3985	0,0002	I
V752 Cen	2453881,2144	0,0007	II
V752 Cen	2453886,3971	0,0001	II

Çizelge Ek 1'in devamı

V752 Cen	2453887,3221	0,0002	I
V752 Cen	2453888,2482	0,0003	II
V752 Cen	2453890,2833	0,0002	I
V752 Cen	2453892,3205	0,0001	II
V752 Cen	2453896,3926	0,0001	II
V752 Cen	2453897,3174	0,0001	I
V752 Cen	2453898,2437	0,0001	II
V752 Cen	2453902,3163	0,0001	II
V752 Cen	2453904,3519	0,0005	I
V752 Cen	2453917,3096	0,0005	I
V752 Cen	2454148,5204	0,0001	I
V752 Cen	2454151,4819	0,0001	II
V752 Cen	2454168,5138	0,0001	II
V752 Cen	2454168,3251	0,0004	I
V752 Cen	2454216,2724	0,0001	II
V752 Cen	2454215,3411	0,0003	I
V752 Cen	2454497,4624	0,0001	I
V752 Cen	2454525,4152	0,0001	II
V752 Cen	2454544,3003	0,0001	II
V752 Cen	2454536,3364	0,0001	I
V752 Cen	2454561,3273	0,0001	II
V752 Cen	2454564,2899	0,0002	II
V752 Cen	2454566,3251	0,0001	I
V752 Cen	2454569,2869	0,0001	I
V752 Cen	2454571,3235	0,0002	II
V752 Cen	2454579,2831	0,0001	I
V752 Cen	2454580,3935	0,0005	I
V752 Cen	2454581,5043	0,0003	I
V752 Cen	2454581,3196	0,0003	II
V752 Cen	2454584,2808	0,0007	II
V752 Cen	2454592,2416	0,0002	I
FT Lup	2453864,3512	0,0004	II
FT Lup	2453864,5835	0,0002	I
FT Lup	2453865,2914	0,0003	II
FT Lup	2453865,5235	0,0002	I
FT Lup	2453891,3785	0,0003	I
FT Lup	2453892,3182	0,0001	I

Ek Çizelge 1'in devamı

FT Lup	2453893,2588	0,0001	I
FT Lup	2453893,4954	0,0004	II
FT Lup	2453902,4268	0,0003	II
FT Lup	2453919,3511	0,0003	II
FT Lup	2453928,2818	0,0005	II
FT Lup	2454151,5698	0,0003	II
FT Lup	2454160,5004	0,0004	II
FT Lup	2454199,5186	0,0002	II
FT Lup	2454200,4609	0,0007	II
FT Lup	2454231,4861	0,0010	II
FT Lup	2454287,4215	0,0010	II
FT Lup	2454298,2342	0,0004	II
FT Lup	2454300,3482	0,0001	II
FT Lup	2454525,5167	0,0001	I
FT Lup	2454528,5735	0,0008	II
FT Lup	2454544,5564	0,0002	II
FT Lup	2454553,4884	0,0004	II
FT Lup	2454554,4299	0,0003	II
FT Lup	2454555,6016	0,0001	I
FT Lup	2454557,4818	0,0002	I
FT Lup	2454567,5896	0,0002	II
FT Lup	2454571,3509	0,0007	II
FT Lup	2454572,5245	0,0001	I
FT Lup	2454573,4659	0,0006	I
FT Lup	2454574,2454	0,0001	I
FT Lup	2454574,6399	0,0001	II
AG Phe	2453911,6640	0,0006	I
AG Phe	2453953,5839	0,0007	II
AG Phe	2453999,2877	0,0010	I
AG Phe	2454045,3620	0,0010	I
AG Phe	2454054,4199	0,0007	I
AG Phe	2454288,5811	0,0005	I
AG Phe	2454294,6233	0,0003	I
AG Phe	2454307,4630	0,0004	I
AG Phe	2454330,5058	0,0030	II
AG Phe	2454333,5230	0,0006	II
AG Phe	2454338,4323	0,0002	I

Ek Çizelge 1'in devamı

V747 Cen	2453862,3777	0,0001	I
V747 Cen	2453904,2798	0,0001	I
V747 Cen	2453911,2634	0,0001	I
V747 Cen	2454132,5883	0,0001	I
V747 Cen	2454152,4642	0,0003	I
V747 Cen	2454179,5975	0,0003	II
V747 Cen	2454181,4728	0,0001	I
V747 Cen	2454199,4737	0,0005	II
V747 Cen	2454225,2560	0,0005	II
V747 Cen	2454225,5223	0,0001	I
V747 Cen	2454246,4736	0,0001	I
V747 Cen	2454268,2333	0,0007	II
V747 Cen	2454295,3580	0,0020	I
V747 Cen	2454499,4910	0,0005	I
V747 Cen	2454525,5474	0,0005	II
V747 Cen	2454544,6155	0,0002	I
V747 Cen	2454564,4918	0,0002	I
V747 Cen	2454565,5660	0,0001	I
V747 Cen	2454584,3674	0,0003	I
V747 Cen	2454588,3981	0,0009	II
V747 Cen	2454592,4244	0,0010	I

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Muhammed Faruk YILDIRIM

Doğum Yeri: Tutak/AĞRI

Doğum Tarihi: 02.05.1982

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Doktora Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar -SCI -Diğer

1) Yıldırım M. F., Soydugan F., "Investigation of Orbital Period Changes of Contact Binaries BV Dra, RZ Com and XZ Leo", Balkan Physics Letters, 2016.
2) Yıldırım M. F., Soydugan F., "Investigation of Orbital Period Changes of Selected Contact Binaries", American Institute of Physics Conference Proceedings, 2016.
3) Yıldırım M. F., Soydugan F., "Long-Term Orbital Period Behaviour of Contact Binaries V343 Ori and FZ Ori", American Institute of Physics Conference Proceedings, 2017.
4) Yıldırım M. F., Soydugan F., "Photometric Study of a Marginal Contact Binary SY Hor", American Institute of Physics Conference Proceedings, 2017.
5) Yildirim M. F., Aliçavuş F. and Soydugan F., "CN Andromedae: A Shallow Contact Binary with A Possible Tertiary Component" Research in Astronomi and Astrophysics, 2019, 19(1): 10.

b) Bildiriler -Uluslararası -Ulusal

1) “Değen Çift Sistemler BV Dra, RZ Com ve XZ Leo’nun Dönem Değişimlerinin İncelenmesi”, M.F. Yıldırım, F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 30. Uluslararası Fizik Kongresi, 2-5 Eylül 2013, İstanbul, s. 296.
2) “Investıgatıon of Orbital Period Changes of Selected Contact Bınarıes”, M. F. Yıldırım and F. Soydugan, 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union–BPU9, 24-27 August 2015, Istanbul, s. 90.
3) “Long-Term Orbital Period Behaviour of Contact Binaries V343 Ori and FZ Ori”, M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 32. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-9 Eylül 2016, Bodrum, s. 252.
4) “Photometric Study of a Marginal Contact Binary SY Hor”, M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 32. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-9 Eylül 2016, Bodrum, s. 253.
5) “Variable Orbital Periods Of Early Contact Binaries S Ant and LS Del”, M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-10 Eylül 2017, Bodrum, s. 212.
6) “Near Contact Binaries RT Scl And FT Lup: A Case Study on Period Variations”, M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 33. Uluslararası Fizik Kongresi, 6-10 Eylül 2017, Bodrum, s. 202.
7) “Orbital Period Change of Early Contact Binaries Type HT Vir and V1073 Cyg” M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2018, Bodrum, s. 211.
8) “Analysis of Light Curve and Orbital Period of Contact Binaries NO Vul” M. F. Yıldırım and F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2018, Bodrum, s. 196.
9) “Orbital Period Behaviour of Semi-Detached Binaries with Large Mass Ratio: TV Cas and AT Peg” F. Aliçavuş, E. Soydugan, M. F. Yıldırım, F. Soydugan, Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2018, Bodrum, s. 211.
10) “Toward Understanding Orbital Period Changes and Evolutionary Natures of Selected Semi-Detached Systems wıth High Mass Ratio” F. Soydugan, E. Soydugan, F. Aliçavuş, M. F. Yıldırım, Türk Fizik Derneği 34. Uluslararası Fizik Kongresi, 5-9 Eylül 2018, Bodrum, s. 218.

c) Katıldığı Projeler

1) 111T224 Nolu TÜBİTAK “Çift Yıldızlarda Açısal Momentum ve Yörünge Evrimi” adlı projede (Bursiyer Öğrenci), 2013-2014.
2) 113F353 Nolu TÜBİTAK “Örten Çiftlerden Örten Ötegezegenlere” adlı projede (Bursiyer öğrenci), 2015-2017.
3) FDK-2018-2458 Nolu BAP “Değmeye Yakin ve Erken Değme Evresindeki Yakin Çift Yildizlarin Temel Parametre İlişkilerinin ve Evrim Durumlarinin İncelenmesi” adlı projede (Araştırmacı), 2018-2019.
4) FBA-2018-2549 Nolu BAP “Bazı Büyük Kütle Oranlı Yarı Ayrık Çift Yıldızların Dönem Değişimlerinin İncelenmesi” adlı projede (Araştırmacı), 2018-2019.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Çanakkale Özel Sınav Eğitim Kurumu, 2018-2019 (Fizik Öğretmeni)

İLETİŞİM

E-posta Adresi: mf.yildirim@hotmail.com ve mf.yildirim04@gmail.com