

T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜÇÜK VE BÜYÜK KÜTLE ORANLI DEĞEN ÇİFT YILDIZLARIN İNCELENMESİ

Halil ÇETİNKAYA

Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜÇÜK VE BÜYÜK KÜTLE ORANLI DEĞEN ÇİFT YILDIZLARIN İNCELENMESİ

Halil ÇETİNKAYA
Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **26/08/2019**

Tez Danışmanı:
Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

ÇANAKKALE

Halil ÇETİNKAYA tarafından Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN yönetiminde hazırlanan ve **26/08/2019** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan "**Küçük ve Büyük Kütle Oranlı Değen Çift Yıldızların İncelenmesi**" başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof. Dr. Selçuk BİLİR ……

Başkan

Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN ……

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Burcu ÖZKARDEŞ ……

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:……

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.

Halil ÇETİNKAYA

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN'a ve çalışma süresi boyunca destek ve yardımlarıyla her an yanımda olan kıymetli yol arkadaşlarım Muhammed Faruk YILDIRIM, Çağlayan NEHİR ve Erhan TİRYAKİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada emeği geçen, maddi-manevi desteklerini üzerimden eksik etmeyen değerli arkadaşlarım Süheyil TARIN, Büşra TAŞKIRAN, Erdem ÇAKIR, Bircan DÖNMEZ, Gülen DÖNMEZ, Soykan SOYDAN, Simge ÖZER, Esra KUŞ, Neslihan KÖRPE ve bütün çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan ve bir an olsun beni yalnız bırakmayan canımdan kıymetli annem Şükran ÇETİNKAYA, babam Ali ÇETİNKAYA ve ablam Sevil DALAR'a sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Halil ÇETİNKAYA

Çanakkale, Ağustos 2019

SİMGELER VE KISALTMALAR

$M_{1,2}$	Birinci ve ikinci bileşenin kütlesi
$M_{\odot}$	Güneş kütlesi
$R_{\odot}$	Güneş yarıçapı
$L_{\odot}$	Güneş ışıtması
AB	Astronomik birim
a	Yarı-büyük eksen uzunluğu
P	Yörünge dönemi
G	Kütle çekim sabiti
i	Yörünge eğikliği
$R_{1,2}$	Bileşenlerin yarıçapı
$L_{1,2,3,4,5}$	Lagrange noktaları
q	Kütle oranı
$r_{1,2}$	Bileşenlerin kesirsel yarıçapı
f	Değme-taşma parametresi
$\psi_{\text{in,out}}$	İç ve dış eşpotansiyeller
EA	Algol türü çift sistem
EB	Beta Lyrae türü çift sistem
EW	W UMa türü çift sistem
CB	Değen çift sistem (Contact Binary)
Gyr	Milyar yıl
$v_{1,2}$	Birinci ve ikinci bileşenin dikine hızları
J	Açısal momentum
BVR	Geniş band Johnson filtreler
CCD	Charge Coupled Device
$W\text{-}D$	Wilson - Devinney
$T_{1,2}$	Bileşenlerin etkin sıcaklıkları
$L_{1,2}$	Bileşenlerin ışınım güçleri
$\psi_{1,2}$	Bileşenlerin yüzey potansiyelleri
$A_{1,2}$	Bolometrik albedolar
$g_{1,2}$	Çekim kararması
$x_{1,2}$	Kenar kararma katsayıları

O-C	Observed - Computed (Gözlenen - Hesaplanan) minimum zamanları
T_0	Başlangıç minimum zamanı
HJD	Heliocentric Julian Date
w	Enberi noktasının boylamı
Q	İkinci derece polinomun katsayısı
e	Yörünge basıklığı
A	Sinüs benzeri dalgalı değişimin genliği
LITE	Light Time Effect (Işık - zaman etkisi)

ÖZET

KÜÇÜK VE BÜYÜK KÜTLE ORANLI DEĞEN ÇİFT YILDIZLARIN İNCELENMESİ

Halil ÇETİNKAYA
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
26/08/2019, 68

Değen çift yıldızları konu alan bu tez çalışmasında, seçilen beş aday sistemin yörünge dönem değişimleri incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca çalışmada, adaylardan birinin (XY Boo) ışık eğrisi analizi de yapılmıştır. Çalışma kapsamında, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde gerçekleştirilen, XY Boo ve GM Dra'nın gözlemlerinden toplam 12 minimum zamanı elde edilmiş ve literatürden toplananlar ile birlikte dönem analizinde kullanılmıştır. XY Boo'nun, fotometrik ölçümlerle tamamlanan ışık eğrisinin W-D yazılımıyla çözümlemesi yapılarak sistemin fiziksel parametreleri elde edilmiş ve alınan sonuçlar kullanılarak bileşenlerin mutlak parametreleri hesaplanmıştır. Analizi yapılan küçük kütle oranlı A-türü XY Boo ve büyük kütle oranlı A-türü HT Vir çiftlerinin *O-C* diyagramında artan parabolik bir değişim sergiledikleri görülmüştür. Çalışmada yer alan küçük kütle oranlı W-türü GM Dra, büyük kütle oranlı W-türü RW Dor ve büyük kütle oranlı A-türü TW Cet çiftleri ise *O-C* diyagramında azalan parabolik bir değişim göstermektedir. Artan ve azalan değişimlerle birlikte sistemlerin *O-C* dağılımlarında ortaya çıkan çevrimsel değişimler de analizde değerlendirilmiştir. Sistemlerin yörünge dönemlerindeki değişimler, çiftin bileşenleri arasındaki kütle aktarımına bağlı olarak yorumlanmıştır. Çalışılan sistemlerin yörünge döneminde gözlenen çevrimsel değişimler, üçüncü cisim veya manyetik aktivite kaynaklı olasılıklar göz önünde bulundurularak tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Çift Yıldız, Değen Çift Sistem, Dönem Değişimi, XY Boo, GM Dra, HT Vir.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CONTACT BINARY STARS WITH LOW AND HIGH MASS RATIO

Halil ÇETİNKAYA
Çanakkale Onsekiz Mart University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master of Science Thesis in Space Sciences and Technologies
Advisor: Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN
26/08/2019, 68

In this thesis study on contact binary stars, five selected systems were investigated for orbital period variaitons and the results were discussed. Also one of these systems (XY Boo) was solved on light curve analysis. 12 minima times were obtained from XY Boo and GM Dra observations in Çanakkale Onsekiz Mart University Ulupınar Observatory and these minima times were used in analysis of period change together with the other minima times which taken from literature. Completed light curve with photometry for XY Boo was analysed by W-D code and physical parameters were obtained from this solution. And by using these results absolute parameters were calculated for the components of the system. The *O-C* analyses shows that, A-type XY Boo with low mass ratio and A-type HT Vir with high mass ratio have increasing parabolic variations in their *O-C* diagram. W-type GM Dra with low mass ratio, W-type RW Dor and A-type TW Cet with high mass ratio have decreasing parabolic variations in their *O-C* graph. In addition to parabolic changes, cyclical variations were also observed in *O-C* diagrams. The period changes of the systems were interpreted as mass transfer between the components. The cyclical changes in the orbital periods of the studied systems were discussed in view of the possibilities of third body and magnetic activity.

Keywords: Binary Star, Contact Binary, Period Variation, XY Boo, GM Dra, HT Vir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI iii
TEŞEKKÜR iv
SİMGELER VE KISALTMALAR v
ÖZET vii
ABSTRACT viii
ŞEKİLLER DİZİNİ xi
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
BÖLÜM 1
GİRİŞ 1
1.1. Çift Yıldızların Sınıflandırılması 2
1.1.1. Gözlemsel Sınıflama 3
1.1.2. Roche Modeli ve Çift Yıldızlar İçin Roche Geometrisi 4
1.1.3. Işık Eğrisine Göre Sınıflama 8
1.1.3.1. Algol 8
1.1.3.2. β Lyrae 9
1.1.3.3. W UMa 10
1.2. Değen Çift Yıldızlar 11
1.3. Tezin Amacı 12
BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 14
2.1. W UMa Türü Sistemlere Tarihsel Bakış 14
2.2. Değen Çiftlerde Işık Eğrisi ve Dikine Hız Eğrisi 17
2.3. Değen Sistemlerde Yörünge Dönem Değişimi 20
BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM 24
3.1. Gözlem Verileri 24
3.2. Işık Eğrisi Analizi ve Wilson-Devinney Programı 26
3.3. Yörünge Dönem Analizi ve *O-C* Yöntemi 27
3.4. Yörünge Döneminde Değişime Neden Olan Etkenler 28
3.4.1. Bileşenler Arası Kütle Transferi ve Toplam Kütleden Kayıp 28
3.4.2. Üçüncü Bir Cisim Kaynaklı Işık-Zaman Etkisi (*LITE*) 30
3.4.3. Eksen Dönmesi 32

3.4.4. Manyetik Etkinlik 32
BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA 34
4.1. XY Boo Işık Eğrisi Çözümlemesi 34
4.2. Çalışılan Değen Sistemlerin Dönem Değişim Analizleri 38
4.2.1. XY Boo 38
4.2.2. GM Dra 41
4.2.3. HT Vir 43
4.2.4. RW Dor 45
4.2.5. TW Cet 48
4.3. Çalışılan Sistemlerin Dönem Değişimlerinde Manyetik Aktiflik Etkisi 50
BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER 51
KAYNAKLAR ..... - 58 -
ÖZGEÇMİŞ ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ortak kütle merkezi etrafında hareket eden bileşenlere sahip çift yıldız sisteminin sembolik şekli 1
Şekil 1.2. Örten çiftlerde tutulma koşulunun geometrik gösterimi 4
Şekil 1.3. Kütle oranı q = 0,5 olan bir çift yıldız için Roche geometrisi (Wissing, 2016) 5
Şekil 1.4. Kütle oranı q=0,98 olan ayrık çift sistem KP Aql için Roche geometrisi (Lacy, 1987) 6
Şekil 1.5. Kütle oranı q = 0,33 olan yarı ayrık çift sistem AD Her için Roche geometrisi (Mardirossian, 1980) 7
Şekil 1.6. Kütle oranı q = 0,49 olan değen çift sistem BX And için Roche geometrisi (Derman ve ark., 1993) 7
Şekil 1.7. Kütle oranı q = 0,4 olan aşırı değen çift sistem AE Phe için Roche geometrisi (Maceroni ve ark., 1994) 8
Şekil 1.8. Algol türü EE Pegasi örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014) 9
Şekil 1.9. β Lyrae türü MR Cygnii örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014) 10
Şekil 1.10. W UMa türü AB Andromedae örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014) 11
Şekil 1.11. CB'lerin toplam kütlelerine karşılık kütle oranlarının dağılımı (Li ve ark., 2008) 13
Şekil 2.1. W UMa sisteminin ışık eğrisi (Müller ve Kempf, 1903) 14
Şekil 2.2. AW Lac ışık eğrisi ve Roche geometrisi (Bradstreet, 2005) 18
Şekil 2.3. Bazı A ve W türü değen sistemlerin dikine hız eğrisi grafikleri. Daireler büyük kütleli bileşeni, üçgenler küçük kütleli bileşeni temsil etmektedir (Rucinski ve ark., 2003). 19
Şekil 2.4. W türü değen W UMa sistemlerinin kütle oranına göre yörünge dönem değişimlerinin dağılımı (Dryomova ve Svechnikov, 2006) 21
Şekil 2.5. A türü değen W UMa sistemlerinin kütle oranına göre yörünge dönem değişimlerinin dağılımı (Dryomova ve Svechnikov, 2006) 22
Şekil 2.6. A türü değen sistem DK Cyg'nin *O-C* grafiği (Elkhateeb ve ark., 2014) 23
Şekil 2.7. W türü değen sistem RW Dor'un *O-C* grafiği (Marino ve ark., 2007) 23
Şekil 3.1. Üçüncü bir cisim ile ortak kütle merkezli yörünge hareketi yapan bir çift sistemin temsili gösterimi 31
Şekil 4.1. XY Boo sisteminin dikine hız eğrileri ve onları temsil eden sürekli kuramsal eğriler 35
Şekil 4.2. XY Boo sisteminin V ve R bandında elde edilen ışık eğrileriyle analiz sonucu alınan kuramsal (koyu siyah düz çizgi) ışık eğrileri 36
Şekil 4.3. XY Boo sisteminin (q=0,16) Roche geometrisi 36
Şekil 4.4. XY Boo sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolü, sürekli kırmızı çizgi parabol ve LITE etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi göstermektedir 40
Şekil 4.5. XY Boo ikinci çevrimsel değişimin LITE etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriler ile uyumu 40
Şekil 4.6. XY Boo sisteminin *O-C* dağılımında kuramsal temsilden olan artıklar 40
Şekil 4.7. GM Dra sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve LITE etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin alt panelindeki dağılımda ise kuramsal eğriden olan artıklar göstermektedir 42
Şekil 4.8. GM Dra sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden ayrılmış gösterimi 43
Şekil 4.9. HT Vir sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve LITE etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin

altındaki kısım ise kuramsal eğriden olan artıkları göstermektedir 45
Şekil 4.10. HT Vir sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden ayrılmış gösterimi 45
Şekil 4.11. RW Dor sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve LITE etkisi ile hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin altındaki kısım ise kuramsal temsilden olan artıkları göstermektedir 47
Şekil 4.12. RW Dor sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden farkı alındıktan sonraki gösterimi 48
Şekil 4.13. TW Cet sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve LITE etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin altındaki kısım ise kuramsal temsilden olan artıkları göstermektedir 49
Şekil 4.14. TW Cet sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden çıkarılmış gösterimi 50
Şekil 5.1. Küçük kütle oranlı CB türü sistemlerin, kütle oranına karşılık yörünge dönem değişim oranları. Siyah kare semboller Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan alınan değen sistemleri, kırmızı daire simgeler ise bu çalışmadaki sistemleri temsil etmektedir 56
Şekil 5.2. Büyük oranlı CB türü sistemlerin kütle oranına karşılık yörünge dönem değişim oranları, Siyah kare semboller, Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan alınan değen sistemleri, kırmızı daire simgeler ise bu çalışmadaki sistemleri temsil etmektedir 56

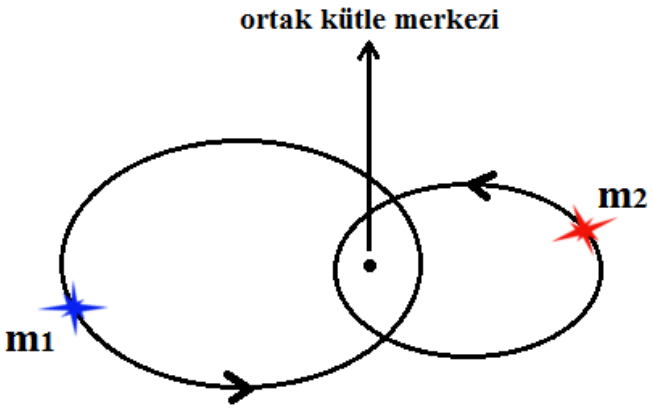
ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Gözlem bilgileri 25
Çizelge 3.2. Gözlemlenen yıldızların okunan minimum zamanları ve bazı bilgileri 25
Çizelge 3.3. Dönem değişim analizi yapılan sistemlerin kullanılan minimum zaman bilgileri 26
Çizelge 4.1. İncelenen sistemlerin bazı temel parametreler 34
Çizelge 4.2. XY Boo için daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarıyla bu çalışmada elde edilen ışık eğrisi analizi sonuçları 37
Çizelge 4.3. XY Boo dönem analizi sonucu hesaplanan parametreler ve hataları 39
Çizelge 4.4. GM Dra dönem analizinden elde edilen parametreler ve hataları 42
Çizelge 4.5. HT Vir dönem analizi sonucu belirlenen parametreler ve hataları 44
Çizelge 4.6. RW Dor dönem analizi sonucu belirlenen parametreler ve hataları 47
Çizelge 4.7. TW Cet dönem analizi sonucu hesaplanan parametreler ve hataları 49
Çizelge 4.8. Çalışılan sistemlerin çevrimsel *O-C* değişimleri için hesaplanan Applegate parametreleri 50
Çizelge 5.1. XY Boo'nun bileşenlerinin mutlak parametreleri ve Yang ve ark. (2005)'nın sonuçlarıyla karşılaştırılması 52
Çizelge 5.2. Çalışmadaki sistemlerin bazı bilgileri ve dönem analizi sonuçları 55

BÖLÜM 1
GİRİŞ

İlk "*çift yıldız*" terimi kendi çalışmaları sonucunda Herschel (1802) tarafından ortaya konmuştur. Herschel, gözlediği bazı ikili yıldızların Newton kütle çekim yasalarına göre bir yörüngede bulunduklarını göstermiştir. İstatiksel olarak gözlenebilen yıldızların yaklaşık %50'lik kısmının çift yıldız ya da daha fazla bileşene sahip çoklu sistemler olduğu tahmin edilmektedir (Kallrath ve Milone, 1998). Çift sistemlerin her bir elemanı diğer bileşene kütle çekim kuvveti etkisi altında bağlılık gösterdiği için, bileşen yıldızlar öz hareketlerinin dışında, ortak kütle merkezi etrafında yörüngesel bir dolanım hareketi de gerçekleştirirler (Şekil 1.1). Çift yıldızlarda kolaylıkla görebileceğimiz ve doğrudan sonucu yorumlamaya götürebilecek en temel değişen nicelik, bize gelen ışığın miktarıdır. Fotometrik gözlemler sonucunda, örtme – örtülme (tutulma) gösteren çiftlerin elde edilen ışık eğrilerindeki değişim grafiği, araştırma yapabileceğimiz en önemli etkilerden biridir. Bu değişimlere bağlı olarak yapılan bazı analizler (örn. ışık eğrisi çözümü, tayfsal çözüm, dönem analizi) bizi sistem bileşenlerinin sahip olduğu kütle, yarıçap, sıcaklık, ışınım gücü ve yörünge dönemi gibi çok önemli parametrelere götürür. Çift sistemler, özellikle birbirine yakın ya da değen bileşenlerden oluşan çiftler gibi kısa ışık değişim dönemi gösterirseler, araştırmacılar için ayrıca ilgi çekici olmaktadırlar.



Şekil 1.1. Ortak kütle merkezi etrafında hareket eden bileşenlere sahip çift yıldız sisteminin sembolik şekli

Çift yıldızın bileşenlerinin yörünge hareketi Kepler'in üçüncü yasasına göre aşağıdaki eşitlikle (1.1) ifade edilir. Burada $M=m_1+m_2$ olmak üzere toplam kütle, G: evrensel kütle çekim sabiti, a: bileşenler arası uzaklık, P: çiftin yörünge dönemi (Novak, 2018).

$$4\pi^2 a^3 = GMP^2 \tag{1.1}$$

Evrenin temel yapı taşları konumunda olan yıldızlar, evrim süreçleriyle astrofizik alanında birçok sorunun cevap bulunmasına katkı sunan gökcisimleridir. Elde edilen parametreleriyle diğer benzer ya da farklı çalışmalar ile karşılaştırmada ve evrim yollarıyla evrenin yapısını anlamada yol gösterici sistemlerdir. Yıldız evriminin araştırılması ve anlaşılabilmesi için gerekli en temel parametre yıldızların kütlesidir. Kütlenin doğrudan hassas olarak tayin edilebilmesi, incelenen yıldızın başka bir sistem/cisim ile kütlesel çekim kuvveti altında olmasını gerekli kılar. Çift yıldız bileşenlerinin sahip oldukları kütle, yarıçap, sıcaklık gibi temel fiziksel özelliklerini elde edebildiğimiz gibi bu özelliklerin zaman ile değişim gösterdiğini ve bu değişimin hangi koşullar altında hangi sonuçlar ile gerçekleştiğini yorumlayabilmemiz de mümkündür. Çift yıldız bileşenlerinin kütle oranı, sıcaklık farkı, uzaklık gibi parametreleri bu değişim süreciyle ilgili, dolayısıyla yıldız evrimiyle ilgili bilgiler verir. Tek yıldızlara göre fiziksel yapı ve süreçlerin daha aktif rol oynadığı çift yıldızlar, hem genel astrofizik hem de yıldız astrofiziği çalışanları için en çok çalışılan alanlardan biri olarak önemli bir yere sahiptir.

Uzaklıkları sebebiyle teleskop ile bakıldığında bile tek nokta ışık kaynağı gibi görünen çoğu yıldızın, gözlemleyip araştırdığımızda çift ya da çoklu sistem olduğunu anlayabiliriz. Yapılan istatiksel çalışmalar sonucunda, keşfedilen çift/çoklu yıldız yoğunluğu dikkate alınarak, Galaksimizdeki yıldızların yarısından fazlasının çift yıldız ya da çoklu sistemin bir parçası olduğu belirlenmiştir. Çift/çoklu yıldız araştırmaları, tek yıldız sistemlerine göre doğrudan daha çok parametreye ve yoruma götürdüğü için büyük önem taşırlar.

1.1. Çift Yıldızların Sınıflandırılması

Çift yıldız türleri için, hem yapılan gözlemlere göre hem de yapılan gözlemler sonucu elde edilen verilere ve çözüm sonuçlarına göre bazı temel sınıflandırmalar yapılmıştır.

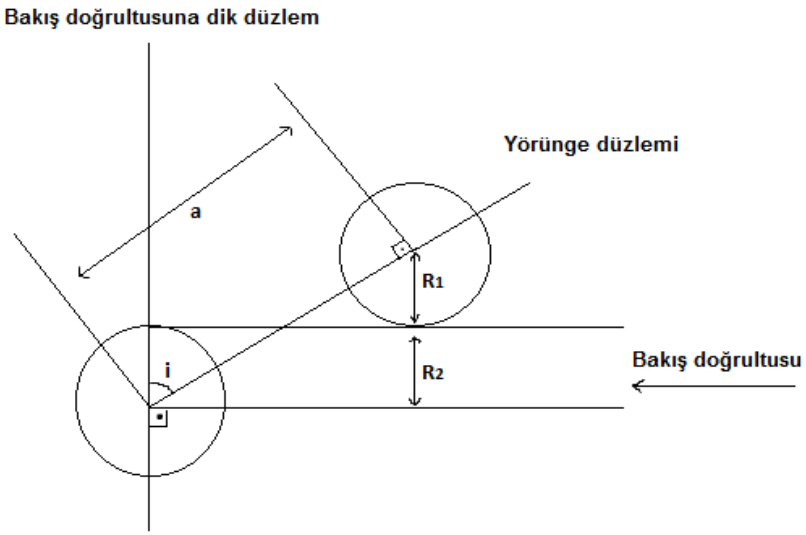
1.1.1. Gözlemsel Sınıflama

Gözlemsel sınıflamada, astrometrik, görsel, optik, tayfsal ve örten çift sistemler bulunmaktadır. Bazı yıldızların, zaman ile tekrarlanan gözlemler sonucunda salınım ve yalpalama gösterdikleri belirlenmiştir. Gerçekleşen salınım ve yalpalamaların periyodik olarak devam etmesi, görünmeyen bir cismin varlığı ve bu cismin uyguladığı kütle çekim kuvveti etkisinin sonucu olarak açıklanabilir. Astrometrik aletler ile tespit edilebilen ve *astrometrik çiftler* olarak sınıflandırılan bu sistemler, görünür bir baş bileşen ve onunla ortak kütle merkezi etrafında yörüngesel hareket eden görünmez bir yoldaş bileşenden oluşur. *Görsel çift yıldızlar*, bileşenlerinin arasındaki mesafenin fazla olduğu ve bileşenlerinin ayrı ayrı gözlemlenebildiği sistemlerdir. Çiftin bileşenleri arasında kütle çekim kuvveti dışında etkileşim olmaz. *Tayfsal çift yıldızlar*, bileşenlerinin çok yakın olmasından dolayı ayrı ayrı çözülemeyeceğinden, tayf veri analizlerinden, kaynağı yörünge hareketi olan Doppler etkisinin sonucu olarak dönemsel çizgi kaymaları ölçülerek belirlenen çift yıldız türleridir. Tayf çözümünün bazı evrelerinde tayf çizgilerinin çift olarak görülmesi ve bu çizgilerin normal konumlarını takiben dönemsel olarak yer değiştirmesi, iki bileşenli çiftin ortak kütle merkezli dolanımıyla açıklanabilir. Dikine hızlar, tayfsal verilerden ölçülebilir ve sistemin bileşenlerinin kütle oranı bu hız değişimlerinin analizinden belirlenebilir. Gözlem ve çözüm süreçlerinin diğerlerine göre daha uzun zaman almasına karşın tayf gözlemleri, kütle fonksiyonlarıyla birlikte yörünge parametrelerini en hassas olarak veren yöntemdir. *Optik çiftler*, yalancı çiftler de olarak bilinen, bileşenleri arasında hiçbir fiziksel bağ olmayan, sadece bakış doğrultumuza dik bir izdüşümsel düzlemde gördüğümüz çiftlerdir.

İki ya da daha çok bileşene sahip sistemleri tespit etmenin bir diğer yolu da fotometrik (ışık ölçüm) ölçümlere bağlıdır. Birçok yıldız görünür parlaklıklarında farklı zaman ölçeklerinde değişimler gösterir. Bunun nedenleri çoğunlukla, ya pulsasyon (zonklama) gibi fiziksel değişimler sebebiyle parlaklığında değişim gösteren tek bir yıldız ya da bir çift sistemin bileşenlerinin birbirini örterek tutulma göstermesiyle açıklanabilir. *Örten çift* sınıflaması, tutulma gösteren sistemler için tanımlanmıştır. Bu tür sistemlerin parlaklık değişimlerini, yaptığımız gözlemler sonucunda doğrudan elde edebiliriz. Tutulmanın gerçekleşmesi, bakış doğrultumuz ile çiftin yörünge düzlemi arasındaki açıya, bileşenler arası uzaklığa, bileşenlerin hacimce büyüklüğü gibi etkenlere bağlıdır. Yapılan gözlemde tutulmanın gerçekleşmesi için, i yörünge eğim açısı, R_1 ve R_2 bileşen yıldızların yarıçapları, a bileşenler arası mesafe olmak üzere;

$$|\sin(90 - i)| = |\cos(i)| \leq (R_1 + R_2)/a \tag{1.2}$$

eşitsizliğinin sağlanması gerekir. Tutulma geometrisi Şekil 1.2'de gösterilmiştir.

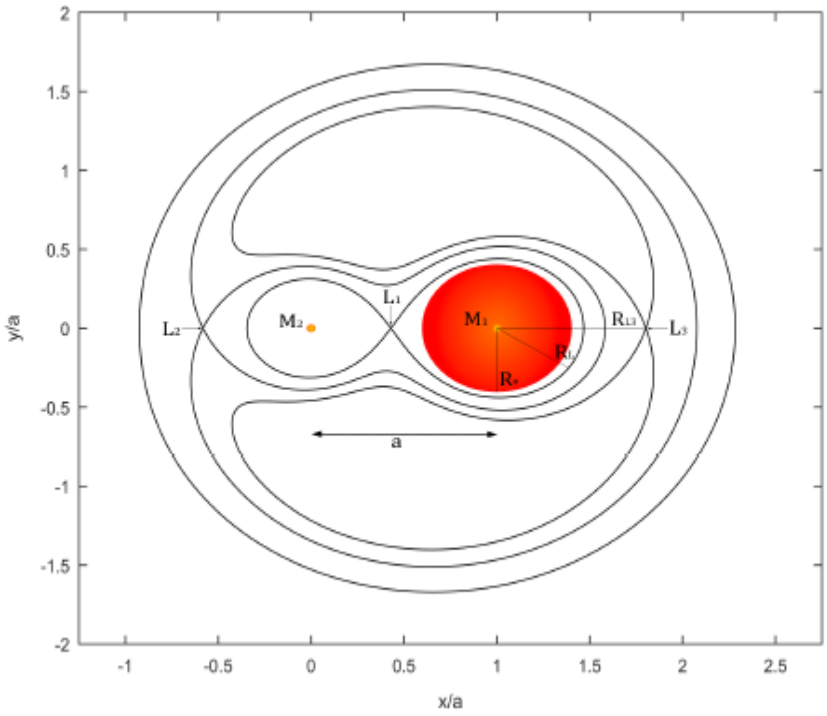


Şekil 1.2. Örten çiftlerde tutulma koşulunun geometrik gösterimi

1.1.2. Roche Modeli ve Çift Yıldızlar İçin Roche Geometrisi

Roche Modeli, çember yörüngelerinde ortak kütle merkezi çevresinde hareket eden ikili noktasal kütlenin meydana getirdiği çift sistemin çekimsel potansiyelini inceler. Adını ünlü Fransız Matematikçi ve Astronom Edouard Roche'dan alan bu modellemede ikili bir sistem ile çekimsel alanda hareket eden üçüncü bir cismin oluşturduğu, sınırlandırılmış üç cisim probleminden faydalanılmıştır. Bu modelleme sonucunda çiftlerin biçimsel yapıları eşpotansiyel yüzeyler ile belirlenebilir. Ayrık sistemlerde bileşenler küresel yapılarını korurlar, bileşenler birbirilerine yaklaştıkça kütle merkezleri doğrultusunda yüzeyler kararsız hale gelerek küreselliklerini kaybederler. Bu durum sonucunda çiftlerin Roche geometrisi de farklılık gösterir. Yıldızın Roche yüzeyi evrimi boyunca ulaşabileceği maksimum hacmin sınırıdır. Kütle oranı kullanılarak oluşturulan Roche geometrisinde, yıldızın Roche lobunun hacmi ve buna bağlı olarak etkin yarıçapı yıldız evrimi açısından önemli bir parametredir. Roche modelinde, potansiyel hacmin boyutu, "a" bileşenler arası uzaklık ve "q" ($q=m_2/m_1$) kütle oranına bağlıdır. Şekil 1.3'te görülmek üzere, L_1, L_2 noktaları iç ve dış Roche yüzeylerinin kesişme noktalarıdır. Roche lobunu tamamen dolduran bileşen iç lagrange noktası L_1'e ulaştığında diğer bileşene madde aktarmaya başlar. L_2 ve L_3 dış lagrange noktaları maddenin, sistemin kütle çekim etki alanından çıkıp uzaya kaçabileceği sınır bölgedir. Örten çift sistemleri sınıflandırmada Roche geometrisi ön planda yer almaktadır. Her iki bileşeninin Roche lobunu doldurduğu sistemler değen dizgeler (CB;

contact binaries) olarak tanımlanır ve iki bileşeni saran ortak bir zarf bulunur. Bu zarf bileşenlerin kendi özelliklerini gizleyebilir. Şekil 1.3'te kütle oranının q= 0,5 olduğu bir çift sistem için Roche geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kütle oranı q = 0,5 olan bir çift yıldız için Roche geometrisi (Wissing, 2016)

Çift sistemlerde bileşenlerin Roche loblarının hacmi, yağmur damlalarına benzer. Matematiksel olarak ifade edilip tartışılabilmesi için Roche lobu küre gibi düşünülmüştür. Etkin Roche lobu hacmine ve ona ait bir yarıçapa sahip küre, çift sistemi nicel olarak karakterize etmek için uygun bir çözümdür. Yarıçap, sistem ayrıklığı a ve yıldızların kütle oranı q ile belirlenir (Novak, 2018).

Aşağıdaki eşitlik (1.3) Eggleton (1983) tarafından verilmiş olup, q'nun bütün değer aralığında ($0 < q < \infty$) Roche lobunun yarıçapını, aynı hacme sahip bir kürenin etkin Roche lobunun yarıçapına yakın değerler verir (Wissing, 2016).

$$r_L(q) = \frac{R_L}{a} = \frac{0{,}49q^{2/3}}{0{,}6q^{2/3} + \ln\left(1+q^{1/3}\right)} \tag{1.3}$$

Burada, r_{L2} değerini hesaplamak için $q=m_2/m_1$, r_{L1} için ise $q=m_1/m_2$ olarak kullanılır. Aşağıdaki benzer bir fonksiyon da eşitlik (1.4)'te verilmekte olup dış Lagrange noktaları

için kullanılır (Wissing, 2016).

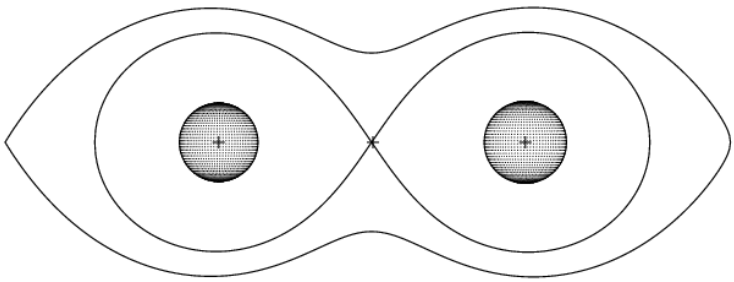
$$r_{L3}(q) = \frac{R_{L3}}{a} = \frac{0.53188q^{2/3}}{0{,}38266q^{2/3} + \ln\left(1+q^{1/3}\right)} \tag{1.4}$$

Eşitlik (1.5)'de, Roche lobu oranını hesaplamada başka bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Bu hesaplama, kütle oranının 0,03 ve 1 arasındaki küçük değerlerinde iyi sonuçlar verir (Novak, 2018).

$$\frac{R_{L2}}{R_{L1}} = \left(\frac{M_2}{M_1}\right)^{0,45} \tag{1.5}$$

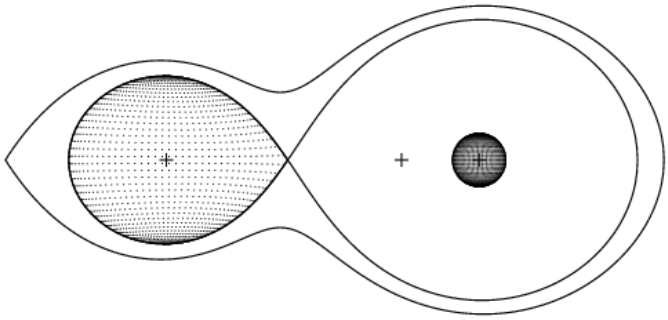
Çift yıldızlarda, Roche loblarının (eşpotansiyel yüzeyler) doluluk durumlarına göre *ayrık*, *yarı ayrık* ve *değen çiftler* olmak üzere üç tür sınıflama yapılır. Farklı kütle oranlarında bulunan dört çift yıldızın Roche geometrileri Şekil 1.4, 1.5, 1.6 ve 1.7'de gösterilmiştir (Bradstreet 2005, Catalog and Atlas of Eclipsing Binaries, CALEB - http://caleb.eastern.edu/).

Ayrık çiftlerdeki bileşenler, iç Roche hacminin içinde yer almakta olup Roche hacimlerini doldurmamışlardır. Bileşen yıldızlar küreselliklerini korurlar (Bakınız Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Kütle oranı q=0,98 olan ayrık çift sistem KP Aql için Roche geometrisi (Lacy, 1987)

Yarı-ayrık sistemlerde sadece bir bileşen Roche lobunu doldurmuştur ve bileşenler arası madde aktarımından söz edilebilen bir Roche geometrisine sahiptir (Şekil 1.5).

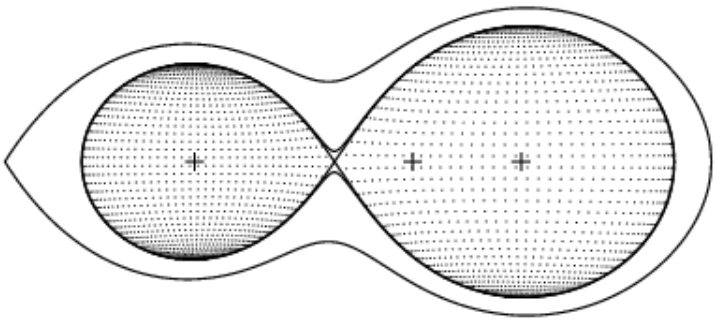


Şekil 1.5. Kütle oranı q = 0,33 olan yarı ayrık çift sistem AD Her için Roche geometrisi (Mardirossian, 1980)

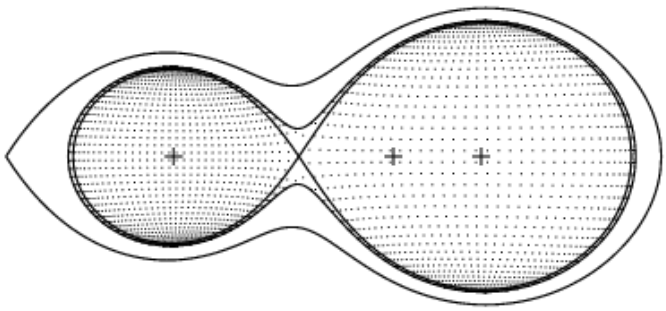
Değen çiftlerde her iki bileşen de iç Roche yüzeyini doldurmuştur (Şekil 1.6) ve bu sınırdan sonra dolan hacmin dışına çıkan maddeler iki yıldızın etrafını sardığında çift sistem için ortak bir zarf oluşur. Ortak zarfa sahip bu çift sistemler *aşırı değen çiftler* olarak tanımlanır (Şekil 1.7). Ortak zarfın olduğu değen çiftlerde ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen yüzey potansiyeli değerleri kütle oranına göre kritik potansiyel değerleriyle karşılaştırıldığında, sistemin değme veya taşma durumu hakkında bilgi verir. Aşırı değen çiftler için tanımlanan taşma derecesi *f*, Lagrange eşpotansiyel yüzeyler kullanılarak aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Liu ve ark., 2018).

$$f = \frac{(\psi - \psi_{in})}{\psi_{out} - \psi_{in}} \tag{1.6}$$

Eşitlik 1.6'da ψ_{in} iç kritik eş-potansiyel değerini, ψ_{out} dış kritik eş-potansiyel değerini göstermektedir.



Şekil 1.6. Kütle oranı q = 0,49 olan değen çift sistem BX And için Roche geometrisi (Derman ve ark., 1993)



Şekil 1.7. Kütle oranı q = 0,4 olan aşırı değen çift sistem AE Phe için Roche geometrisi (Maceroni ve ark., 1994)

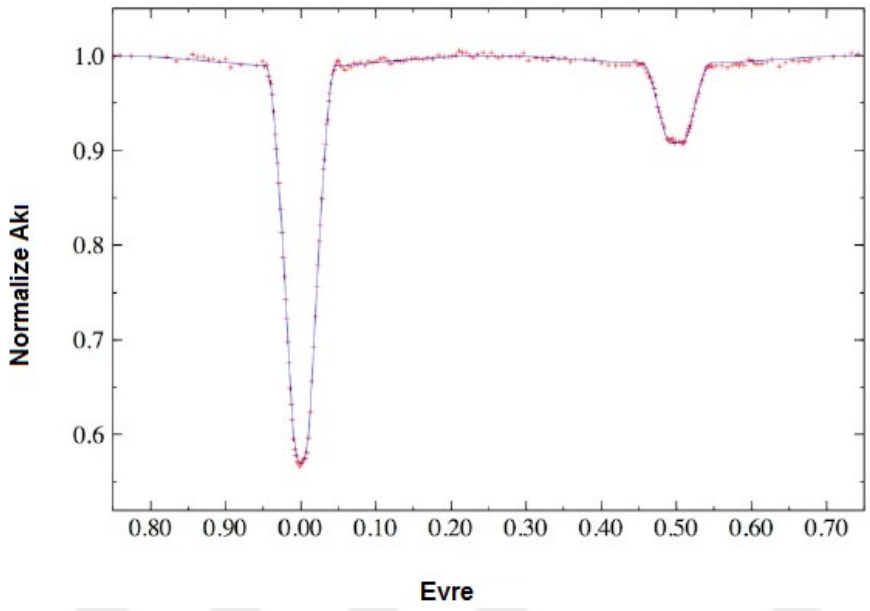
1.1.3. Işık Eğrisine Göre Sınıflama

Işık eğrisi, kabaca yıldızdan gelen parlaklığın zamana göre değişimini gösterir. Teleskopla gözlediğimiz ve bir alıcı kamera ile kayıt altına aldığımız örten çift yıldızın fotometrik ölçüm verilerini uygun programlar ile analiz edip zamana göre çizdirdiğimizde yıldızın ışığında (parlaklığında) dönemli bir değişim elde ederiz. Elde edilen eğrinin çukur kısımları tutulmanın gerçekleştiği bölgelerdir. Bu çukurlara minimum çukuru, uygun programlarla ışık eğrisinden elde ettiğimiz verilerin bu bölgedeki zamanları kullanılarak okunan değere de (tutulmanın orta noktasındaki zamana karşılık gelen) minimum zamanı denir. Daha sıcak ve daha parlak olan baş bileşenin yoldaş bileşen tarafından örtülmesi durumu birinci minimum, bu tutulmanın tam tersi durum da ikinci minimum olarak ifade edilir. Tutulma başlangıcı ve bitişi arasındaki zamanın dışında kalan bölge maksimum evreleri gösterir. Elde edilen minimum zamanları daha sonra yörünge döneminin ve değişiminin araştırılması için kullanılacaktır. Sistemin ışığının zamana göre değişmesiyle beraber ortaya çıkan ışık eğrisinin biçimi örten çiftin yörünge ve fiziksel özelliklerine göre farklılıklar gösterebilir. Bu farklı özellikler sonucunda örten çiftler ışık eğrisine göre üç farklı türde sınıflandırılır.

1.1.3.1. Algol

Algol tipi (EA) örten çift sistemler ayrık çiftler olarak da tanımlanır. Bileşenler arası uzaklığın büyüklüğünden dolayı çiftin üyeleri kütle çekim kuvvetinden neredeyse hiç etkilenmez. Bu durumun sonucu olarak bileşenler küresel yapılarını korurlar veya çok az küresellikten saparlar. Yörünge düzlemi diğer çiftlere göre daha geniştir ve bu da yıldızın ışık eğrisine doğrudan yansır. Algol türü bir çift sistemin, yörünge dönemine göre tamamlanmış ışık eğrisi elde edildiğinde, tutulmaların başlangıç-bitiş kollarının keskin

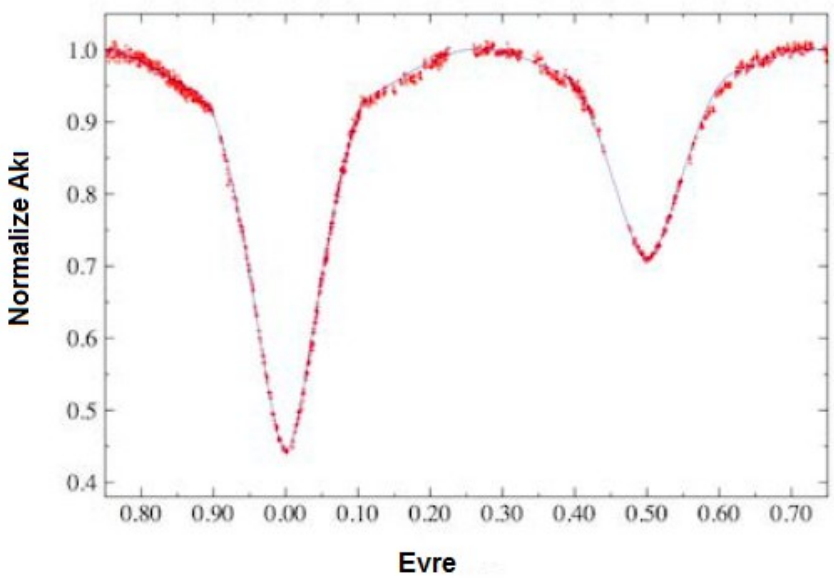
olduğu gözlenir ve tutulmalar dışında genel olarak herhangi bir değişimin olmadığı ya da çok az bir değişimin olduğu görülür. Işık eğrisindeki birinci ve ikinci minimum çukurlarının derinlikleri farkı büyüktür (Şekil 1.8). Bileşenlerin sıcaklıklarının birbirine yakın olduğu değerlerde, birinci ve ikinci minimum bölgelerinin de benzer biçimde ve derinlikte olduğu görülür.



Şekil 1.8. Algol türü EE Pegasi örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014)

1.1.3.2. β Lyrae

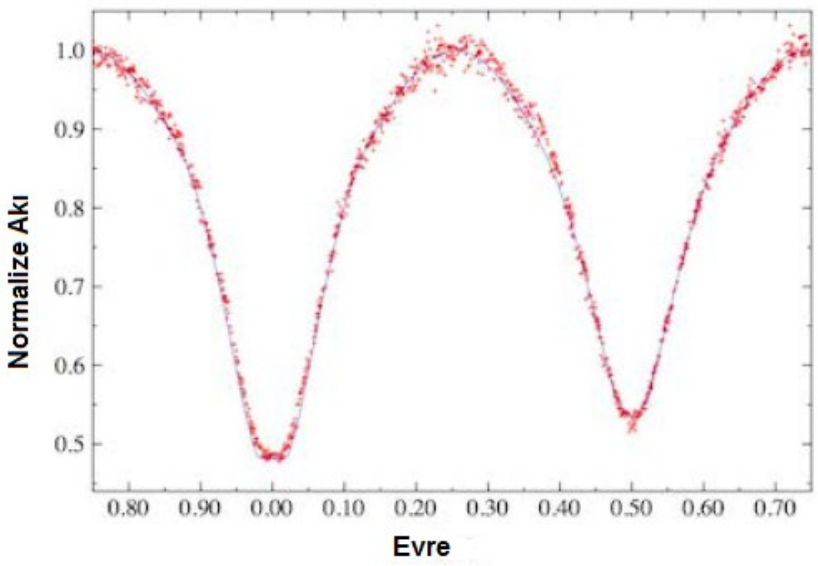
Bileşenlerin birbirine olan yakınlığı, aralarındaki çekimsel kuvvet ve yıldızların bu etkiler altında kendi ekseni etrafında da dönmesi küreselliklerinin bozulmasına neden olur. Dolayısıyla örten çift sınıflamasında bulunan βeta Lyrae (EB) türü yıldızların ışık eğrisinde tutulmalar dışında da değişim görülmektedir. Sistem üyelerinin sıcaklık farkı minimum derinliklerinin birbirinden ayrı derinliklere sahip olmasına neden olur (Şekil 1.9). Bu tür sistemler, yakınlık etkilerinin çiftin yapısı ve evrimi üzerinde etkilerinin gözlenebildiği dizgeler olup geçiş sistemleri olarak da görülürler.



Şekil 1.9. β Lyrae türü MR Cygnii örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014)

1.1.3.3. W UMa

Çiftin üyelerinin birbirlerine aşırı yakınlığından dolayı değen çift yıldızlar olarak da bilinen bu tür örten çiftlerin ışık eğrileri yörünge dolanımı boyunca değişim göstermektedir (Şekil 1.10). Çekimsel kuvvetler etkisi altında sistem bileşenleri küreselliklerini tamamen kaybetmiştir. Bu sistemler için hesaplanan ve beklenen kütle oranı her zaman q=1'den farklı olmuştur. Bileşenlerin farklı büyüklükte olmasına rağmen minimum derinliklerinin (çoğunlukla kütle ve yarıçaplar farklı olmasına karşın) neredeyse aynı olması, çift sistemin birbirine temas eden, etkileşen bileşenleri ve çiftin ortak bir zarfıyla açıklanabilir. Işık eğrisindeki minimum derinliklerinin birbirine çok yakın ya da eşit olma durumu hem bu zarfın bütün yüzeyi boyunca sıcaklığın dağılımı hem bileşenlerin sıcaklıklarının da birbirine çok yakın olmasının sonucudur.



Şekil 1.10. W UMa türü AB Andromedae örten çift yıldızın ışık eğrisi (Beaky, 2014)

1.2. Değen Çift Yıldızlar

Çalışmaları yapılmış ve literatürde yerini almış değen sistemlerin neredeyse tamamı örten çift yıldız sınıflamasında bulunur. Bir çift yıldızda tutulma olayının gerçekleştiği, bileşen yıldızların göreli boyutları ile aralarındaki mesafenin karşılaştırılması sonucunda ortaya çıkar. W UMa türü değen çift yıldızların bileşenlerinin değmeye çok yakın veya temas durumunda olması nedeniyle yörünge dönemleri oldukça kısadır. Sistem üyelerinin yakınlığından dolayı karşılıklı uyguladıkları çekimsel tedirginliğin sonucunda, bileşenler küresel yapılarından sapmışlardır.

Işık eğrilerinde görülen sürekli değişim W UMa çiftlerinde yakınlığın ya da değme durumunun bir yansımasıdır. Sürekli değişen bir genişlikteki ışık kaynağı alanı, yörünge döneminin her evresinde farklı bir parlaklık değeri olarak gözlemlenmektedir. Farklı kütlelere sahip sistem üyelerinin farklı ışınımla karşımıza çıkması beklenirken, değen sistemlerde iki bileşeni de saran ve ısısal yayılımı kontrol eden ortak bir zarftan dolayı tutulmalardaki minimum parlaklıklar birbirine çok yakındır. Kuiper (1941) sıfır yaş anakolunda (ZAMS; Zero-Age Main Sequence) bulunan bir W UMa için kütle oranının ($q=m_2/m_1$) q=1'e eşit olması gerektiğini savunmuştur. Lucy (1968a,b) bu ve benzer görüşleri (Shapley, 1948; Eggen, 1967) göz önünde bulundurarak kütle oranı değerinin q=1'den farklı değerlere sahip olduğunu belirtmiştir ve Roche modelini ilk kez uygulayarak bu durumu ortak bir zarfla açıklamıştır. CB türü sistemlerde, ışık eğrilerinden elde edilen yüzey potansiyel değerleri, sistemin kütle oranına göre kritik potansiyel değerleriyle karşılaştırıldığında, sistemin değme ya da taşma durumu hakkında bilgi veren "değme/taşma

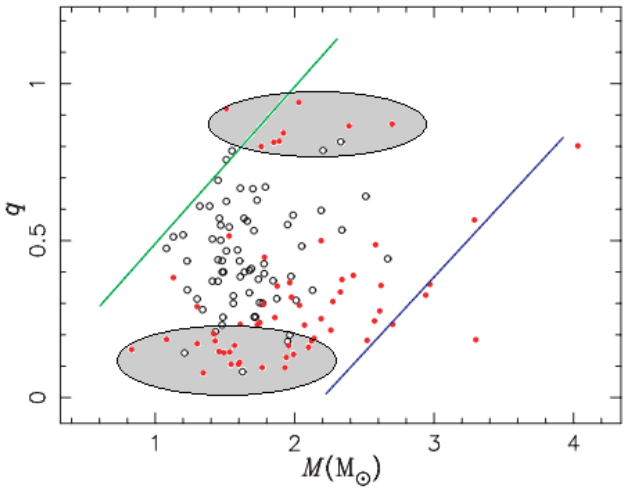
parametresi (f)" belirlenir. Bu parametreyle bazı CB türleri "aşırı değen" olarak tanımlanır. Yapılan çalışmalar sonucunda kayda geçen en küçük kütle oranlı değen çift yıldız 0,065 değeriyle V857 Her olmuştur (Qian ve ark., 2006).

Değen çift yıldız bileşenlerini normal ana kol üyesi gibi düşünmek çok doğru olmaz çünkü bu yıldızların, bileşenler arası kütle ve enerji alışverişi ya da toplam kütleden kayıp sebebiyle evrim süreçlerinin diğerlerine göre farklı ilerlemesi beklenir. Çok kısa süreli dönemlere sahip olmalarından dolayı bir gecelik gözlemde bile tamamlanmış ışık eğrileri elde edilebilir. Yörünge dönemleri 0,22 gün ile 1 günden biraz fazla değerler arasındadır (Mochnacki, 1985). Yörünge dönemi 0,198 gün ile en kısa döneme sahip değen çift yıldız KIC 9532219 sistemidir (Lee ve ark., 2016). Değen dizgeler, kısa dönemlerinden dolayı gözlemleri ve çalışmaları oldukça fazla yapılan çift yıldızlardır. Değen çift sistemler, geçirdikleri çok fazla fiziksel süreçlerden (kütle ve enerji aktarımı, açısal momentum aktarımı ve kaybı, ortak zarf, manyetik etkinlik vb.) dolayı yıldız astrofiziğinde popüler bir çalışma alanı oluşturur. Bu tür çift sistem bileşenlerinin, kısa yörünge dönemleri ve dönme-dolanma kilitlenmesinin ortaya çıkması nedeniyle, kendi eksenleri etrafında oldukça hızlı dönmeleri beklenmektedir. Dolayısıyla bu fiziksel olayların sonucu, en az bir bileşenin konvektif dış zarfa sahip olması durumunda manyetik etkinlik ortaya çıkabilir. Bu da hem yörünge dönem değişimine hem de evrim sürecine neden olan faktörlerden biridir. Son dönemlerde, özellikle uydu gözlemleriyle artan veri duyarlılığı ve evrim modelleri üzerine yapılan detaylı araştırmalar, CB türü sistemler ile ilgili farklı sonuç ve yorumlar doğurmuştur. Örnek olarak, bu tür sistemlerin yaşlarına ilişkin bazı araştırmacılar farklı yöntemlerle farklı sonuçlar bulmuşlardır. Van't Veer (1996) 4,7 Gyıl önerirken, Li ve ark. (2007) $t \geq 5{,}68$ Gyıl yaş önermişlerdir. Yıldız (2014), kuramsal yaklaşımlarla A türleri için 4,4 Gyıl, W türleri için 4,6 Gyıl hesaplamıştır ve bu sonuçlar Bilir ve ark. (2005) ile uyum göstermiştir. Yapılan yaş çalışmalarının değerlerine bakılarak CB sistemlerinin evrim durumları incelenirse, HR diyagramında W türlerinin baş bileşenlerinin evrimleşmemiş olduğu söylenebilir. A türlerinin aynı bileşenlerinin ise TAMS (Terminal-Age Main Sequencce) koluna yakın bölgelerde yer aldıkları görülmektedir.

1.3. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, CB türü sistemlerden özellikle küçük ve büyük kütle oranlı bazı örnekler literatürden seçilerek, bu sınıflamadaki sistemlerin tüm CB'ler üzerinden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Şekil 1.11'deki q-M (kütle oranı – toplam kütle) dağılımında (Li ve ark., 2008), üzerinde çalışacağımız büyük ve küçük kütle oranlı

sistemlerin bulunduğu bölgeler gösterilmiştir. Görüldüğü üzere, CB'lerin evrimleri açısından önemli gruplar olabilecek, küçük kütle oranlı (yaklaşık $0 < q < 0{,}2$) ve büyük kütle oranlı (yaklaşık $0{,}75 < q < 1$) sistemlerin incelenmesi planlanmıştır. CB türü bu sistemler üzerine, inceleme ve tartışmaların yanında, ilgili veri tabanlarından seçtiğimiz beş CB türü aday sistemin (XY Boo, GM Dra, HT Vir, RW Dor, TW Cet), bazılarının yeni gözlem verileri elde edilerek (XY Boo, GM Dra), ışık eğrisi ve dönem değişim analizlerinin yapılması, değişim parametrelerinin belirlenmesi ve değişimi ortaya çıkaran nedenlerin yorumlanıp tartışılması hedeflenmiştir.



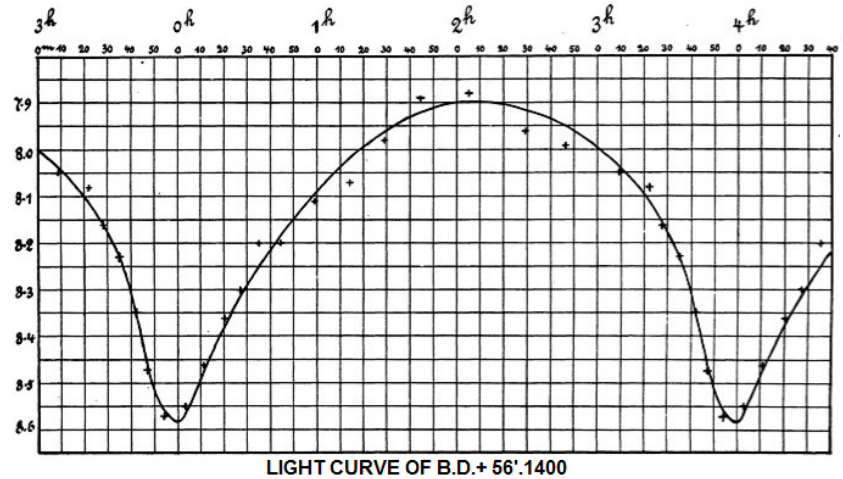
Şekil 1.11. CB'lerin toplam kütlelerine karşılık kütle oranlarının dağılımı (Li ve ark., 2008)

Literatürde CB türü sistemler üzerine yapılan çok fazla çalışma olsa da sınır kütle oranlı sistemlerin ayrı olarak incelenmesiyle ilgili çalışmalar oldukça azdır (Qian ve ark., 2006, Yang ve ark., 2013) veya farklı bakış açısı altında yapılmıştır (Arbutina, 2007). Bu nedenle, tez çalışmasının bu yönü ve literatüre kazandıracağı yeni veriler ile özgünlük taşıyacağı düşünülebilir.

BÖLÜM 2
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. W UMa Türü Sistemlere Tarihsel Bakış

Değen çift sistemler, birbirine çok yakın, temas halinde iki bileşenden oluşan ve matematiksel bir ifadeyle, bileşenlerinin arasındaki uzaklığın yarıçaplarının toplamından daha küçük olduğu sistemlerdir. Bileşenlerin temas halinde olduğu örten değen dizgeler, tıpkı bir yer fıstığı gibi ortak bir kabuk içinde ortak kütle merkezli dolanma hareketi gerçekleştirirler. Bu sistemler 1903'te ilk örneğinin keşfinden sonra (Şekil 2.1) W Ursa Majoris veya W UMa türü yıldızlar olarak da bilinmektedir (Müller ve Kempf, 1903). Gökada diskindeki yaklaşık olarak her 500 yıldızdan birinin W UMa türünde çift sistem olduğu tahmin edilmektedir (Rucinski, 2006). Gözlemlenen değen çift sistemlerin istatiksel analizleri (Li ve ark., 2007) göstermiştir ki, bu tür yıldızlar birkaç milyar yıllık yaşamları boyunca nükleer süreçler açısından uzun ömürlü ve kararlı bir yapı sergilerler. Birbiriyle etkileşim içinde olsalar da, sahip oldukları fiziksel özellikler ve içerdikleri süreçler bu iki yıldızın bir çift olarak uzun süre bir arada yaşamalarına olanak sağlar.



Şekil 2.1. W UMa sisteminin ışık eğrisi (Müller ve Kempf, 1903)

W UMa türü çift yıldızların değme durumuna kadar gelmesinin doğal bir süreç ile ilerleme gösterdiği varsayılmıştır (Robertson ve Eggleton, 1977). Birleşme senaryosu tahminlere dayalı olup bu fiziksel sürecin gerçekleşmesine ilişkin şu ana kadar sadece V1309 Sco'ya ilişkin gözlemler bulunmaktadır (Tylenda ve ark., 2011). Değen dizgeler bir asırdan fazla bir süredir bilinmesine rağmen bu çiftlerin gizemli doğası hala varlığını sürdürmektedir. Gözlemsel olarak değen çiftlerin ışık eğrisinde minimum derinlikleri hemen

hemen birbirine eşittir, dolayısıyla bileşenlerin sıcaklıkları da neredeyse birbiriyle aynı değerlerdedir. Bu durum, iki bileşenin çok farklı kütlelere sahip olduğunda bile ($q \cong 0{,}1$) geçerlidir (Rasio, 1995).

W UMa yıldızının değişen olduğu 1900'lü yılların başında Müller ve Kempf (1903) tarafından bölge gözlemleri esnasında bulunmuştur. Bu dizge yaklaşık dört saatlik bir değişim döngüsüyle o tarihe kadar bilinen en kısa dönemi sergilemiştir (şimdilerde doğrulanan dönemin, yaklaşık bu sürenin iki katı olan sekiz saatin üzerinde olduğu bilinmektedir). Parlaklık değişimi ışık eğrisinde belirgin bir şekilde görülse de W UMa sistemi o tarihlerde bilinen değişen grupların içinde sınıflandırılamamıştır. Araştırmacılar, değişkenliği açıklamak için, yıldızın yüzeyinin farklı sıcaklıklara sahip olduğunu ve ekseninde döndükçe parlaklığın değiştiğini önermişlerdir. Alternatif bir açıklama olarak da bu cismin küreselliği bozulmuş ve elipsoid bir yapıya sahip olduğu düşünülmüştür. Bununla birlikte Müller ve Kempf (1903) yıldızdaki değişimin sebebini açıklamak için, büyüklük ve parlaklık bakımından neredeyse birbirine eşit iki yıldızın çok yakın mesafede ve birbirlerini örten bir dolanım hareketinde bulunduklarını öne sürmüştür. Bundan sonra da W UMa kendi tanımlamasıyla ve özellikleriyle örten çift sınıflamasında yerini aldı. W UMa sisteminin detaylı parametreleri Adams ve Joy (1919) tarafından yayınlandı. Takip eden benzer keşifler olarak, i Bootis ve BD +75752 W UMa türü iki yeni değişen yıldız olarak yayınlamıştır (Schilt, 1926). Keşiflerinden bir asır sonra, uluslararası değişen yıldız kataloğunda (GCVS) 7000'in üzerinde W UMa türü yıldız bulunmaktadır.

W UMa sınıfı çift yıldızlar ışık eğrilerindeki sürekli değişim ve nerdeyse eşit minimum derinlikleriyle (1. ve 2. minimum) kolayca ayırt edilebilen sistemlerdir. Parlaklığındaki değişkenlik birkaç ondalık kadir arasında gerçekleşebilir. Yörünge dönemleri genellikle kısa sürelidir ve 0,25 gün ile 1 gün arasında değerlerdedir. Çiftin bileşenleri A – K tayf türü aralığındadır fakat çoğu F – G aralığında tayf türüne sahiptir. Bileşenler farklı kütlelidir fakat aynı ya da çok yakın sıcaklık değerlerine sahiptir. Sistem üyelerinin ya birbirine madde aktarımı yapacak kadar çok yakın ya da temas halinde oldukları kabul edilmektedir. W UMa dizgeleri kendi içinde değen ya da aşırı değen şeklinde kategorize edilir. Bileşenlerin farklı kütle değerlerine sahip olup aynı ya da çok yakın değerlerde yüzey sıcaklığı göstermeleri, ortak bir zarf ile açıklanabilmektedir. Isısal olarak da değme durumundaki bu çift sistemlerde enerji (ısı), kütle ve sıcaklık bakımından daha büyük değerlere sahip olan bileşenden, daha küçük değerlere sahip diğer bileşene doğru aktarılır.

Örten çiftlerde W UMa sistemleri değen çiftler olarak bilinse de, bu sınıfın kökeni, yapısı ve evrimi hakkında tatmin edici yasalaşmış bir teori bulunmamaktadır. Geleneksel

teori, geri tayf türünden konvektif zarflı bileşenler içeren ayrık çiftlerin açısal momentum kaybıyla yörünge küçülmesine uğrayıp değme durumuna gelmesidir. Değen çift kavramı ilk olarak Kuiper (1941) tarafından ortaya konmuştur ve erken tür örten β Lyrae çifti için uygulanmıştır. Geri tayf türündeki yakın çift yıldızların çoğunun W UMa sistemleri gibi değme halinde olma olasılığına ilişkin ilk çalışmalardan biri Kopal (1955) tarafından rapor edilmiştir. Değmeyle ilgili ayrıntılı tarihçe Wilson (2001)'ın çalışmasından takip edilebilir.

Her ne kadar W UMa sistemlerinin değme konusunda şüpheli görüşler olsa da (Wood, 1969) değen çift modeli genel anlamda kabul görmüştür. Çiftler farklı kütlelere sahip (bazılarında büyük olan diğerinin kütlesinin on kat fazlası olabilir), fiziksel temas halinde, anakol yıldızlarıdır (Genet ve ark., 2005). Bileşenlerin yüzeyleri, tutarlı bir halde, eşpotansiyel yüzeylerle küresel şekillerinde bozulmaya uğramışlardır (Kopal, 1959). Roche modelini örten çiftlere ilk uygulayan Lucy (1968a) olmuştur ve model özellikle, kısa dönemli, iki bileşenin değme durumunda olduğu ve/veya Roche loblarını doldurduğu W UMa türlerine uygulanmıştır. Sonuç olarak, çok yakın ya da değen sistemlerin bileşenleri ortak bir zarf paylaşıyorlar. Li ve ark. (2007), yaklaşık olarak 2,24 günden daha küçük döneme sahip olan W UMa çiftlerinin maksimum 3,23 Gyıl gibi bir süreyle ayrık sistemlerden oluşabileceğini öne sürmüştür.

Binendijk (1970), W UMa türü çift sistemleri, gözlemsel özelliklerine dayanarak A ve W türü şeklinde iki alt sınıfa bölmüştür. A türü W UMa çift sistemler, genellikle daha erken tayf türünde (A – G), büyük kütleli ve daha küçük kütle oranına sahip sistemlerdir. Bu sistemlerin değme derecesi daha büyük ve ortak zarf daha kalındır (Van Hamme, 1982). A tipi değen sistemlerin ışık eğrilerinde, ilk tutulma sırasında daha büyük (büyük kütleli) ve daha sıcak olan bileşenin örtüldüğü için birinci minimum derinliği daha fazladır. W türündeki değen sistemler genellikle geç tayf türündeki yıldızlardan oluşur (F – K). Bu tip sistemlerin ışık eğrilerinde daha derin minimumun (birinci minimum) oluştuğu tutulmada, daha küçük kütleli ve daha sıcak olan bileşen örtülmeye maruz kalır. Bu sınıftaki yıldızlar A türlerine göre sıfır yaş anakoluna (ZAMS) daha yakındır. W tipi değen sitemlerde ikinci bileşenler, ZAMS'ta bulunan yaklaşık aynı kütleye sahip yıldızlara göre daha büyük yarıçaplıdır.

A ve W türü değen dizgelerin genel olarak evrim durumlarının biraz farklı olduğu kabul edilir. Bazı teoriler W türü değenlerin kütle transferiyle A türü değen sistemlere dönüşme yönünde iken (Hilditch, King ve McFarlane, 1988) bazıları da tam tersi yönde teorilerdir (Gazeas ve Niarchos, 2006). Wilson (1978) iyi belirlenmiş parametrelere sahip sekiz A türü sistemin hepsinin sıfır yaş anakol yarıçapından daha büyük yarıçaplara sahip

olduğunu, başka bir deyişle hepsinin daha ileri evrim safhasında olduğunu belirtmiştir.

2.2. Değen Çiftlerde Işık Eğrisi ve Dikine Hız Eğrisi

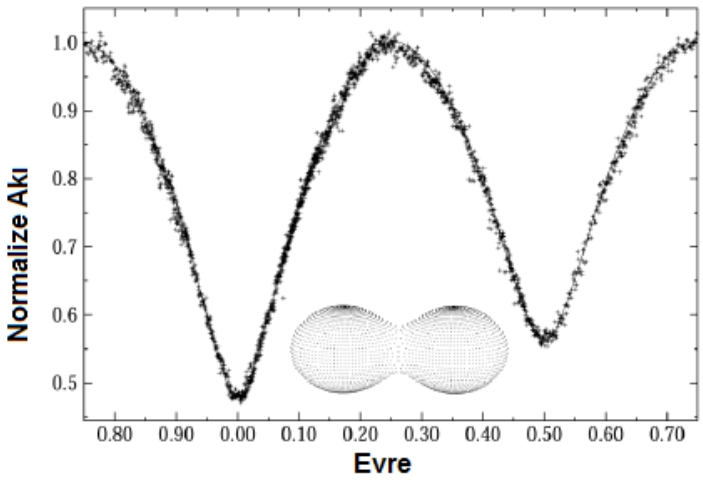
Işık eğrisi sınıflamasında bahsedildiği üzere, değen sistemler olarak bilinen W UMa örten değişen çiftleri, ışık eğrilerindeki çok yakın minimum derinlikler ve ışık miktarlarındaki sürekli değişimler ile belirgin şekilde tanımlanabilirler. Değen sistemlerin yörünge dönemleri oldukça kısadır, bu yüzden fotometrik gözlemlerde kısa sürede veri elde etmek için en çok tercih edilen sistemlerdir. Uygun bazı ışık eğrisi sentezi modelleriyle çözümlenebilen ışık eğrileriyle, sistem bileşenlerine ait yörünge eğimi, kütle oranı ve bileşenlerin yüzey sıcaklıkları belirlenebilmektedir. Sistemin ışık eğrisi çözümü sonuçları tayf gözlemleri ile elde edilen dikine hız eğrisi çözümüyle birleştirilirse, bileşenlerin boyutları ve kütleleri de belirlenebilir. Aşağıda, ortak kütle merkezinde yörünge hareketi yapan bileşenlerin kütle – dikine hız oranları verilmiştir (Skelton, 2009).

$$q = \frac{m_2}{m_1} = \frac{v_1}{v_2} \tag{2.1}$$

Değen çift sistemlerin fotometrik ve tayfsal çalışmalarında aranan önemli parametrelerden ikisi, kütle oranı (q) ve değme/taşma parametresidir (f). Bu temel parametrelerin değen sistemlerin temel yapı ve evrim özelliklerinin anlaşılmasında ve netleşmemiş soruların cevaplanmasında kilit rol oynadığı-oynayacağı söylenebilir. Mutlak parametreleri bilinen CB türü sistemlerin, yörünge açısal momentumları (J) da hesaplanabilir ki bu da yıldızın evriminde önemli bilgiler taşıyabilir.

Örten çift yıldızlarda tutulma, dönemin ‘0’ (birinci minimum) ve ‘0,5’ (ikinci minimum) evrelerinde gerçekleşir ve her iki bileşenden gelen toplam parlaklığın ölçüldüğü ‘0,25’ ve ‘0,75’ evreleri sistemin döneminde maksimum evrelerdir. Bazı etkiler çift sistemin yörünge döneminin çeşitli evrelerinde değişimlere sebep olur ve ışık eğrisinin biçiminde de kendini gösterir. Yıldızın merkez bölgesinden gelen ışığın miktarıyla kenar bölgesinden gelen ışık miktarının farklı olduğu, yapılan fotometrik gözlem çalışmalarından bilinmektedir. Bu etkiye ‘kenar kararması’ denir ve ışık eğrisinde özellikle minimum bölgelerde değişime neden olmaktadır. Işık eğrilerinde değişikliğe neden olan bir diğer durum ‘yansıma etkisi’ olarak bilinen, bileşenlerden daha sıcak olanın diğerinin kendine bakan yüzeyini ısıtmasıdır ve bu da minimum bölge çıkışlarında etkisini gösterir. Bileşen yıldızların kendi eksenleri etrafında hızlı dönmeleri ve çekimsel etkileşmeler nedeniyle,

ekvator bölgeleri daha geniş, kutup bölgeleri daha basıktır ve kutup yarıçapları ekvator yarıçaplarından daha küçüktür. Dolayısıyla gözlenen ışınım miktarı bakılan bölgeye göre farklılık gösterecektir. Bu olay 'çekim kararması' ya da çekim parlaması olarak tanımlanır. Bahsedilen bu etkiler, doğrudan sistemin ışık eğrisine etki eder, çalışılan sistemlerin fiziksel özelliklerine göre farklı sabit değerlerle ışık eğrisi analizinde kullanılır. Değen çift sistemlerde, bileşenlerin kendi ekseni dışında diğer bileşenle gerçekleştirdiği yörünge hareketi, biçimlerinin daha fazla bozulmasına ve gözlenen alanının sürekli değişmesinden dolayı ışınım gücünün de değişmesine neden olacaktır. 'Basıklaşma' olarak adlandırılan bu etki altındaki sistemlerin ışık eğrileri de değişim gösterebilir. Küresellikleri tamamen bozulmuş değen ve aşırı değen çift sistemlerin biçimi Roche modellemesiyle temsil edilebilmektedir. Şekil 2.2'de aşırı değen (f=0,60; q=1) çift sistem AW Lac'ın ışık eğrisi ve 0,25 evresindeki Roche geometirisi birlikte verilmektedir (Bradstreet, 2005).



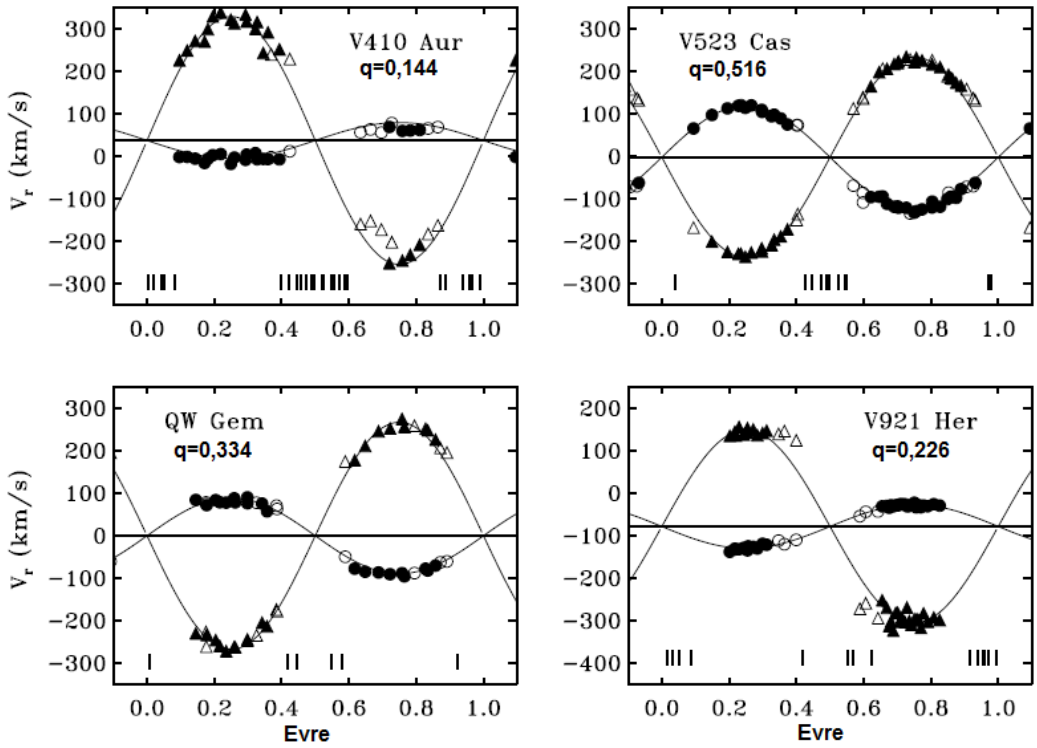
Şekil 2.2. AW Lac ışık eğrisi ve Roche geometrisi (Bradstreet, 2005)

Değen sistemlerde bileşenlerin sıcaklıklarının ve buna bağlı olarak ışık eğrilerindeki minimum derinliklerinin birbirine yakın olmasından dolayı, tutulmalarda hangi bileşenin örttüğü-örtüldüğü konusunda karar verilmesi için dikine hız eğrilerine bakılır. Ayrıca çiftin kütle oranı tayini en iyi şekilde dikine hız çözümünden elde edilebilir.

Değen çift sistem bileşenlerinin fiziksel özellikleri ve boyutları, fotometrik ve tayf gözlemlerinin birlikte ele alınarak çözülmesiyle duyarlı bir şekilde elde edilebilir. Tayf gözlemlerinden elde edilen dikine hız eğrileri, ışık eğrileri ile birlikte değerlendirildiğinde, bileşenlere ait kütle-sıcaklık ilişkisinin belirlenebileceği sonuçlar elde edilir. Eşitlik (2.1)'de verildiği üzere, bileşenlerin tayfsal kütle oranı (q_{sp}) dikine hızlarının veya dikine hız

değişimlerinin genlik oranlarından belirlenir. Örten değen çift sistemlerin dikine hız eğrileri, tutulmalar dışındaki evrelerde bileşenlerin yaklaşan-uzaklaşan hareketlerini gösteren diyagramlardır. Işık eğrisindeki minimumlarda kütle bakımından bileşenlerin hangisinin örten-örtülen olduğu bu diyagramlardan anlaşılır. Kütlesi büyük olan bileşenin genliği diğer bileşene göre daha küçüktür (Şekil 2.3).

W UMa türü değen sistemler ışık eğrisi ve dikine hız çözümlerinin sonucunda, taşıdıkları özelliklere göre iki alt sınıfta W ve A türü olarak tanımlanmıştır (Binendijk, 1970). A ve W türü değen çift sistemler, bileşenlerinin kütle-parlaklık (sıcaklık) ilişkilerinin farklı olmalarından dolayı birbirinden ayrılırlar. A türü değen sistemlerin dikine hız eğrileri birinci minimumda daha parlak olan büyük kütleli bileşenin örtüldüğünü gösterir (0. evre). W türü değen sistemlerin dikine hız eğrisi ise birinci minimumda daha küçük kütleli fakat daha sıcak bileşenin örtüldüğünü göstermektedir. Belirtildiği üzere tutulmalar dışındaki evrelerde yaklaşan-uzaklaşan bileşenler ve genlikleri, dikine hız eğrilerinde görülmektedir. Şekil 2.3'te, Rucinski ve ark. (2003)'nın bazı değen çift sistemler üzerine yaptıkları dikine hız çalışmalarından örnekler verilmiştir.



Şekil 2.3. Bazı A ve W türü değen sistemlerin dikine hız eğrisi grafikleri. Daireler büyük kütleli bileşeni, üçgenler küçük kütleli bileşeni temsil etmektedir (Rucinski ve ark., 2003).

Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, dikine hız eğrilerinden V410 ve V921 değen sistemlerinin A türü, QW Gem ve V523 Cas sistemlerinin ise W türü değen çift olduğu söylenebilir.

2.3. Değen Sistemlerde Yörünge Dönem Değişimi

W UMa çift sistemi, 1903 yılında keşfedildikten sonra bazı küçük dönem değişiklikleri sergilemiştir. Bu durumu açıklayan bir teori, bileşenler arası kütle transferiyle açısal momentum dağılımının zaman ile değişerek yörünge dönemine de etki etmesi olmuştur (Rucinski, 1993). Guinan ve Bradstreet (1998), W UMa türü çiftlerde büyük yıldız lekelerinin yanı sıra güçlü kromosferik ve koronal X-ışını salınımlarının varlığını belirtmişlerdir ve sistem için güçlü bir dinamoya bağlı manyetik aktivitenin varlığını göstermişlerdir. Bu yoğun manyetik alanlar, gözlenen dönem değişimlerine sebep olan manyetik kırılma (bozulma) etkilerini çok iyi kontrol edebilirler. Whelan, Mochanacki ve Worden (1974) dönem değişiminin nedenleri olarak üç olası durumu değerlendirmişlerdir.

i) Kütle alışverişi ve/veya kütle kaybı

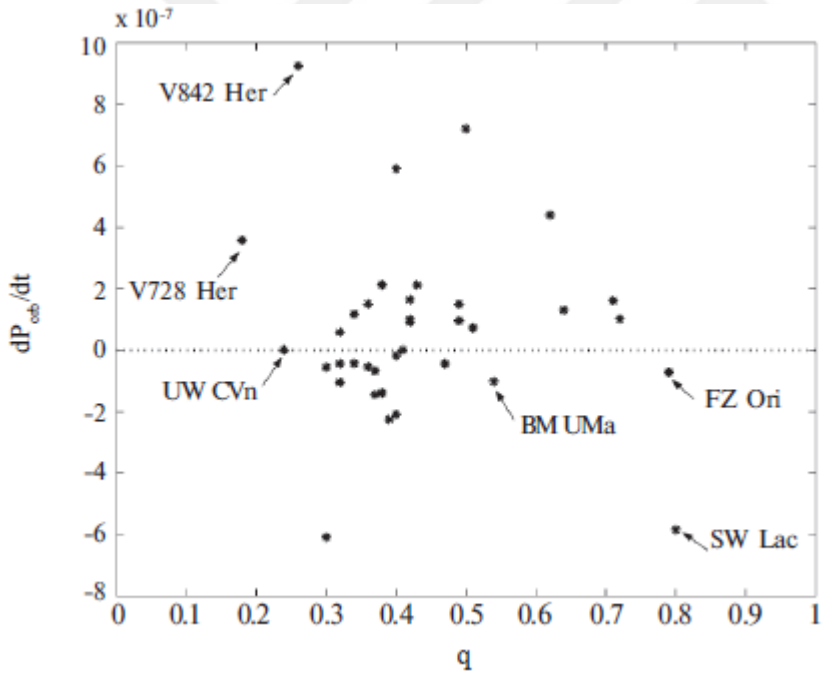
ii) Eksen dönmesi

iii) Olası bir üçüncü cisim

W UMa türü değen sistemlerin neredeyse tamamı yörünge dönemlerinde bir değişime sahiptir. Değen çift sistemlerin yapılarını ve evrimlerini anlayabilme açısından, bu sistemler üzerine yapılan yörünge dönemi çalışmaları oldukça önemlidir. Yapılan çalışmalarla W UMa çiftlerinin yörünge dönemlerinin 0,2 gün ile 1 gün arasında değiştiği fakat çoğunluğun 0,5 günden daha kısa dönemlere sahip olduğu belirlenmiştir (Mochnacki, 1985). Örten değişen sistemlerde yörünge dönemi, fotometrik gözlem ve çözümler ile duyarlı bir şekilde belirlenebilir. Temel anlamda, yörünge döneminin belirlenen başlangıç zamanı, çevrim sayısı ve yaptığımız minimum zamanları kullanılarak, gözlenen ve hesaplanan zamanlar arasındaki farklarla (O – C) dönem değişim analizleri yapılabilir. Değen çift sistemlerin neredeyse tümünde fiziksel ve manyetik etkileşim olduğu için yörünge dönemlerinde her zaman bir değişim beklenmektedir. Bu değişimler, bileşenler arası kütle aktarımı, eksen dönmesi, açısal momentum kaybı veya sistemin üçüncü bir cisimle yörünge hareketi yapması sonucu ışık-zaman etkisinin oluşumu gibi nedenlerle açıklanabilmektedir. Pribula ve Rucinski (2006), W UMa yıldızlarının yaklaşık yarısının, yoldaş başka bir (veya daha fazla) cisme sahip olduğunu belirtmişlerdir.

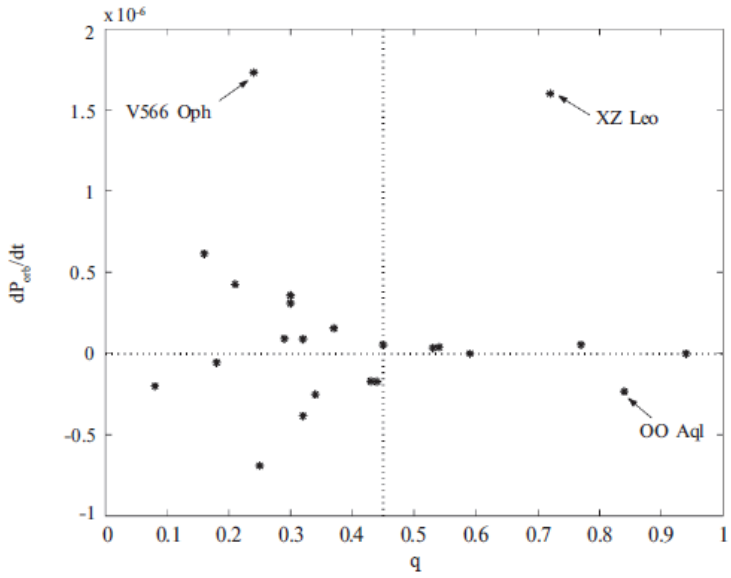
Maceroni ve Van't Veer (1996), değen sistem türlerinden 30 A ve 48 W sınıfı üzerinde dönem değişimi çalışması yapmıştır ve dönem değişimlerinin sebebini açısal momemtum

kaybı olarak açıklamışlardır. Qian (2001a, b) yaptığı çalışmalarda A türü sistemlerin dönemimin uzadığını belirtmiş, W türü değenlerde ise yörünge dönem değişimini kütle oranına bağlı tutmuştur. Kütle oranının 0,4'ten büyük olduğu değerlerde dönemin uzadığını, tersini aldığı değerlerde ise dönemin kısalacağı sonucunu vermiştir. Dryomova ve Sevchnikov (2006), 1991-2003 yılları arasında yayınlanan fotometrik ve tayfsal verilerle, örnek 73 W UMa değen sistemin yörünge dönemindeki değişimleri, bileşenlerin kütle oranının bir fonksiyonu olarak araştırmışlardır. A ve W tür değen sistemler üzerinde kütle oranı ve yörünge dönem değişim miktarı arasındaki ilişkiyi incelemişler ve farklı sonuçlarla bu durumu yorumlamışlardır. Değen sistemlerin yörünge dönemlerinde, A ve W alt türüne bağlı olmaksızın farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. Qian (2001a,b)'nın sonuçları bu çalışmanın sonuçları ile doğrulanamamıştır. Şekil 2.4'te, incelenen 37 W türü değen sistemin (bazıları belirtilerek) kütle oranlarına (q) göre dönem değişim oranlarını (d_p/d_t: *gün/yıl*) gösteren grafik bulunmaktadır (Dryomova ve Svechnikov, 2006).



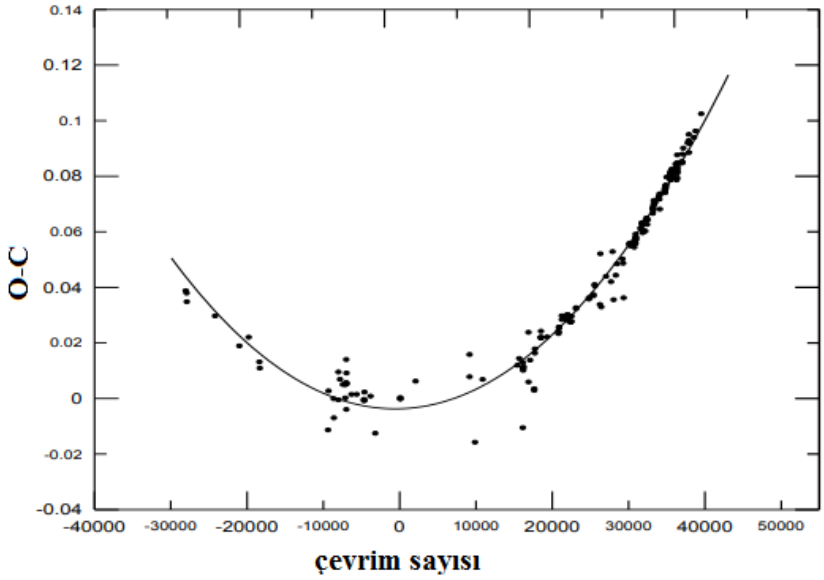
Şekil 2.4. W türü değen W UMa sistemlerinin kütle oranına göre yörünge dönem değişimlerinin dağılımı (Dryomova ve Svechnikov, 2006)

İncelenen A türü 23 aday değen sistem için (bazıları belirtilerek) kütle oranına göre yörünge dönem değişimi dağılımında, kütle oranının 0,45'ten büyük olduğu durumlarda dönemin arttığını (OO Aql hariç) gösteren çalışma grafiği Şekil 2.5'te verilmiştir (Dryomova ve Svechnikov, 2006).

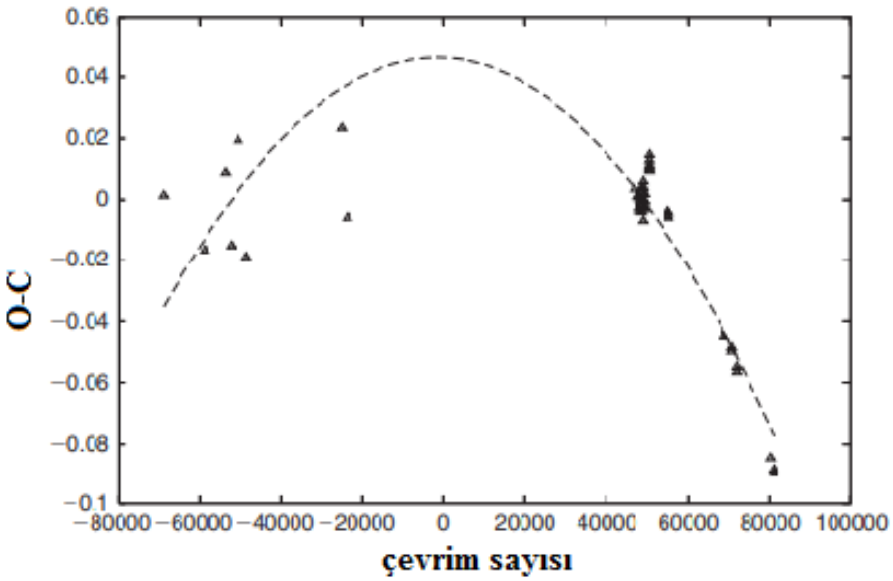


Şekil 2.5. A türü değen W UMa sistemlerinin kütle oranına göre yörünge dönem değişimlerinin dağılımı (Dryomova ve Svechnikov, 2006)

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, dönem değişimiyle kütle oranı arasında kesin yargı oluşturacak bir sonuca rastlanmamıştır. Şekil 2.6'da Elkhateeb ve ark. (2014)'nın dönem analiz çalışmasını yaptığı ve sistemin yörünge döneminde 0,84 s/yüzyıl oranında bir artış hesapladıkları A türü DK Cyg sisteminin *O-C* grafiği örnek olarak gösterilmektedir (q=0,322; P=0,470 gün). Şekil 2.7'de ise Marino ve ark. (2007)'nın dönem analizi çalışmasını yaptığı W türü RW Dor sisteminin döneminin azaldığını gösteren *O-C* grafiği örnek olarak verilmiştir (q= 0,63; P= 0,285 gün).



Şekil 2.6. A türü değen sistem DK Cyg'nin *O-C* grafiği (Elkhateeb ve ark., 2014)



Şekil 2.7. W türü değen sistem RW Dor'un *O-C* grafiği (Marino ve ark., 2007)

BÖLÜM 3
MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Gözlem Verileri

Sınır kütle oranına sahip değen çift sistemlerin değerlendirildiği bu çalışmada beş aday sistem (XY Boo, GM Dra, HT Vir, RW Dor, TW Cet) dönem değişim analizleri ve ışık eğrisi çözümlemesi yapılmak üzere belirlendi. Üzerinde çalışılacak bu sistemlerin belirlenmesinde, Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayınlanmış olan ve *O-C* grafiklerinin yer aldığı *O-C Atlası*, Paschke ve ark. (2006) tarafından yayınlanan *O-C Gateway (http://var2.astro.cz/ocgate/)* ve CB sistemlerine ilişkin literatür temel kaynaklar oldu.

XY Boo ve GM Dra sistemlerinin gözlemleri yapılarak yeni veriler elde edildi. Gözlemler, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi bünyesindeki Ulupınar Gözlemevi'nde gerçekleştirildi. Yapılan gözlemlerde dedektör olarak *Apogee Alta U47 CCD* (*Charge Coupled Device*) kamera, *Bessel UBVRI* fotometrik sistemi (*BVR* filtreleri) ve bu cihazların bağlı olduğu *Cassegrain-Schmidt* tipi 30,5 cm çaplı *T30* teleskobu kullanıldı. Aday sistemlerden XY Boo'nun ışık eğrisi analizi ve dönem değişim analizi için 2017 bahar sezonunda yapılan altı gecelik gözlemlerden elde edilen, 787 *V* filtresinde, 855 *R* filtresinde olmak üzere toplam 1642 görüntü kullanıldı. Ayrıca bu verilerden altı adet minimum zamanı elde edildi. XY Boo sisteminin ışık eğrisi analizinde, McLean ve Hilditch (1983) tarafından verilen dikine hızlar da işleme alındı. GM Dra için 2016 yılında yapılan altı gecelik gözlemlerden, 948 *V* filtresinde, 1047 *R* filtresinde olmak üzere toplam 1995 görüntü elde edildi ve bu veriler kullanılarak altı adet minimum zamanı belirlendi. Elde edilen minimum zamanlar Kwee ve Van Woerdan (1956) metoduyla okundu. Her iki aday sistemin gözlemlerine ilişkin bazı bilgiler Çizelge 3.1'de yer almaktadır. Gözlemlerden alınan verilerin indirgeme işlemi *Maxlm DL5* programıyla yapıldı. Her bir görüntü için alan düzeltmesi (*flat*), poz süresince oluşan elektronik gürültü (kara akım; *dark*) çıkarması, sıfır saniyede oluşan elektronik gürültü (*bias*) çıkarması işlemleri gerçekleştirildi. Bu programla, gözlenen sistemin yanında mukayese yıldızları da belirtilerek parlaklık ölçümleri yapıldı ve analiz için uygun veriler oluşturuldu. Farklı filtrelerde yapılan gözlemlere ait hesaplanan duyarlılıklar % 1-2 (*kadir*) değer aralığındadır.

Çizelge 3.1. Gözlem bilgileri

Sistem	*V* (kadir)	*P* (gün)	Filtre	Gözlem Tarihi	Gözlem Gecesi	Toplam Görüntü	Kaynak
XY Boo	10,54	0,370567	*VR*	15.04.2017-21.06.2017	6	1642	1, 2
GM Dra	8,77	0.338740	*BVR*	06.08.2016-09.10.2016	6	1995	1, 2

Kaynaklar: 1: *SIMBAD Astronomical Database*; 2: Kreiner ve ark. (2001).

XY Boo ve GM Dra sistemlerinin yapılan gözlemlerinden elde edilen verileri kullanılarak, Kwee ve Van Woerdan (1956) metoduyla okunan minimum zamanları ve bazı bilgileri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Gözlemlenen yıldızların okunan minimum zamanları ve bazı bilgileri

Sistem	**Filtre**	**(HJD+2400000)**	**Hata**	**Min. (1/2)**	**Teleskop**	**CCD**
XY Boo	*VR*	57859,310	0,0002	1	T30	Alta U47
		57860,421	0,0001	1		
		57877,468	0,0002	1		
		57911,375	0,0002	2		
		57914,339	0,0002	2		
		57926,380	0,0003	1		
GM Dra	*BVR*	57607,426	0,0001	2	T30	Alta U47
		57614,372	0,0002	1		
		57621,316	0,0002	2		
		57630,459	0,0003	2		
		57663,321	0,0002	2		
		57671,277	0,0002	1		

Bu çalışmada yer alan beş aday sistemin dönem değişim analizleri için literatürden (*O-C Gateway*) alınan minimum zamanlar kullanıldı. Aday iki sistemin (XY Boo, GM Dra) gözlemlerinden elde edilen minimum zamanlar da toplanan minimum zamanlarına eklenerek çalışmada kullanıldı. Çizelge 3.3'te çalışılan çift sistemlere ait kullanılan minimum zamanlarının bilgileri verilmiştir (Min. 1,2 birinci ve ikinci minimum zamanı, diğer terimler gözlem metodunu belirtmektedir).

Çizelge 3.3. Dönem değişim analizi yapılan sistemlerin kullanılan minimum zaman bilgileri

Sistem	Min. 1	Min.2	Vis.	Pg	Pe	CCD	Toplam Min. Zamanı	Tarih Aralığı
XY Boo	80	60	-	-	7	133	140	1969-2017
GM Dra	14	16	1	-	-	29	30	1991-2017
HT Vir	56	45	-	-	10	91	101	1979-2018
RW Dor	39	36	-	9	10	56	75	1889-2017
TW Cet	191	149	302	-	-	38	340	1934-2017

3.2. Işık Eğrisi Analizi ve Wilson-Devinney Programı

Yapılan gözlemlerden elde edilen ışık eğrilerinin çözümlemesi için Wilson ve Devinney (1971) metodundan yararlanıldı. Sistemin daha önceki yapılan çalışmalarında kaydedilmiş dikine hızları da (McLean ve Hilditch, 1983) bu çözümlemede kullanıldı.

Wilson–Devinney (W-D) yazılımı, örten çift yıldızların elde edilen ışık eğrilerinden, sistem bileşenlerinin fiziksel ve geometrik parametrelerini hesaplamak için oluşturulan sentetik ışık eğrisi modellemesi yapmaktadır. Wilson ve Devinney (1971) tarafından oluşturulan bu programda yıldızların biçimsel yapıları Roche modeli ile sembolize edilmiş ve elde edilen ışık eğrilerindeki bazı bozulmalar için kenar kararması, çekim kararması, yansıma gibi etkiler dikkate alınmıştır. Bu metot, yapılan çalışmalarla (Wilson ve ark., 1972; Wilson ve Devinney, 1973; Wilson ve Biermann, 1976; Wilson ve Sofia, 1976; Leung ve Wilson, 1977; Wilson, 1979; Wilson ve Van Hamme, 2004) sürekli güncellenerek, sıklıkla tercih edilen bir yazılım olmuştur. Bu gelişimler ile beraber, sisteme ait bileşenlere etki eden sıcak ya da soğuk leke eklenebilmesi, üçüncü bir cisme ait ışık etkisi, basık yörünge durumlarının ele alınması, bileşenlerin eş dönmeden ayrılma hali gibi faktörlerin etkileri ile birlikte ışık eğrisi modellemesi yapılabilmiştir. W-D analizi, farklı filtrelerde elde edilmiş fotometrik gözlem verilerini ve dikine hız verilerini aynı anda çözüme alabildiği için oldukça kullanışlı ve tercih edilen bir programdır. Programın gerçekleştirdiği temel işlemleri, ışık eğrisi hesaplaması LC (Light Curve) ve en küçük kareler metoduyla yaklaşık doğrulama hesaplaması DC (Differenciel Correction) olarak iki kısımda açıklayabiliriz.

Bir ışık eğrisi analizinde çalışılacak sistemin literatür bilgisine bakılıp başlangıç parametrelerinin belirlenmesi gerekir. Işık eğrisi çözümü için başlangıç parametreleri; i yörünge eğim açısı, $T_{1,2}$ sistem bileşenlerinin etkin sıcaklıkları, q (m_2/m_1) kütle oranı, $L_{1,2}$ ışınım güçleri, $\Omega_{1,2}$ yüzey potansiyelleri, $A_{1,2}$ albedo yansıma katsayı değerleri, $x_{1,2}$ bileşenlere ait kenar kararma katsayı değerleri, $g_{1,2}$ sabit çekim kararması değerleridir.

W-D programında yapılacak analizler için çalışılacak sistemlere göre farklı analiz mod türleri bulunmaktadır. Bu mod türleri serbest bırakılan ya da sabit tutulan parametreler için farklılıklar gösterir. W UMa türü değen çiftler için MOD3 kullanılmaktadır. Bu modda, bileşenlere ait yüzey potansiyelleri $(\Omega_1=\Omega_2)$, çekim kararması sabitleri $(g_1=g_2)$, bolometrik albedo (yansıma) katsayıları $(A_1=A_2)$, bileşenlerin kenar kararma katsayıları $(x_1=x_2,\ y_1=y_2)$ birbirine eşit alınır. Analiz sırasında genellikle, $q,\ T_2,\ \Omega_{1,2},\ i,\ V\gamma,\ a,\ L_{1,2}$ değerleri serbest bırakılırken diğer parametreler, ilgili kuramsal modeller de dikkate alınarak sabit tutulur.

3.3. Yörünge Dönem Analizi ve *O-C* Yöntemi

Çift yıldızlarda dönem değişim çalışmaları, tutulma gösteren örten çiftler için temel olarak, gözlenen minimum zamanı ile hesaplanan minimum zamanı farklarının (*O-C*) analizleriyle yapılır. Uzun vadede yapılan gözlemlerle elde edilen minimum zamanlarıyla beklenen yani hesaplanan minimum zamanlarının farkını çevrim sayısına göre ya da zamana göre çizdirdiğimizde ortaya çıkan grafik (*O-C* diyagramı), doğrusal bir şekil sergilerse sistemin yörünge döneminde bir değişim yoktur diyebiliriz. Bunun dışında bir biçim taşıyan bütün grafikler sisteme ait dönemin değiştiğini gösterir.

Bu çalışmada da dönem değişim analizleri için *O-C* metodu kullanıldı ve bu uygulama için literatürden alınan minimum zamanlarıyla birlikte yeni gözlemlerden elde edilen minimum zamanları işleme alındı.

Zamanın zamana göre değişimini ele alan bir yöntem olan *O-C* analizi, çift sistemlerde yörünge döneminin zaman ile nasıl değiştiğini araştırmak için kullanılır. Örten çift sistemlerde yörünge dönemi diğer yörünge elamanlarına oranla daha hassas biçimde belirlenebilir. *O-C* analizi işleminde kullanan ışık elemanları, başlangıç minimum zamanı T_0 (iyi belirlenmiş bir başlangıç minimum zamanı), elde edilecek herhangi bir minimum zamanı T, yörünge dolanım dönemi P (dönem) ve yörünge dolanımının çevrim sayısı olan E ile tanımlanır. T_0 ve T zamanları Güneş merkezine indirgenen Julyen tarihi (günü), yörünge dönemi P ise 'gün' biriminde kullanılır. Minimum zamanları aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$T = T_0 + E.P \tag{3.1}$$

Hesaplanan minimum zamanlar ile gözlemlerden elde edilen minimum zamanları karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanır. Eğer ışık elemanları $(T_0,\ P)$ iyi belirlenmişse, *O–C* hesaplamasının sonucunun sıfırdan farklı her sonucunda sistemin yörünge döneminde bir

değişimden söz edilebilir. Sistemin ışık elemanları gözlemler sonucunda belirlendiği için, yapılan gözlem ne kadar duyarlı olsa da (3.1) eşitliğinde, hata payı aralığında T_0 ve P için düzeltme terimleri $(\Delta P$ ve $\Delta T)$ kullanılmalıdır. Bunun sonucunda hesaplanan minimum zamanı,

$$C_T = (T_0 + \Delta T) + \big(E(P + \Delta P)\big) \tag{3.2}$$

olacağından, buradan da,

$$O - C = -\Delta T - E\Delta P \tag{3.3}$$

bağıntısı elde edilir.

Yapılan gözlemlerden elde edilen bütün veriler kullanılarak (3.3) eşitliğinde EKK (en küçük kareler) metodu uygulanıp T_0'ın ve P'nin hataları en aza indirilmeye çalışılır. Bu uygulamaların sonucunda elde edilen grafikte gözlenen verilerin ilerleyişi doğrusal bir yol izlemiyorsa, bu durum çalışılan sistemin yörünge döneminin değiştiği anlamına gelmektedir.

3.4. Yörünge Döneminde Değişime Neden Olan Etkenler

Çift sistemlerde yörünge dönemi, hem sistemi oluşturan bileşenlerin kendi aralarındaki etkileşim ve buna bağlı fiziksel süreçler, hem de olası bir dış sistem etkisinden kaynaklanan bir değişim sergileyebilir.

3.4.1. Bileşenler Arası Kütle Transferi ve Toplam Kütleden Kayıp

Kütle aktarımının gerçekleştiği sistemlerde toplam kütlenin ve toplam açısal momentumun korunduğu kabul edilerek işlem yapılabilir. Aslında bileşenlerin Roche lobunu doldurduğu değen dizgelerde, manyetik etkiler sonucunda uzaya madde kaçışından ve buna bağlı da toplam açısal mometumun azalmasından bahsetmek mümkündür. Kütle aktarımı bileşenler arası uzaklığa ve dolayısıyla yörünge dönemine de doğrudan etki etmektedir. Farklı kütleye sahip bileşenlerden dolayı bu olayın gerçekleşme yönü iki farklı değişim göstermektedir. Kütle aktarımının, sistem bileşenlerinden büyük kütleli olan yıldızdan küçük kütleli yıldıza doğru gerçekleşmesi durumunda aralarındaki uzaklık (yarı-büyük eksen uzunluğu) ve yörünge dönemi azalma gösterir. Aktarmanın küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru olduğu durumda ise, eşitlik 3.6'da görüldüğü üzere,

yarı-büyük eksen uzunluğu ve yörünge dönemi artma gösterir (Singh ve Chaubey, 1986).

Kütle-dönem, kütle-açısal momemtum ilişkileri, Kepler'in üçüncü yasası (3.4) ve bu bağıntının türevleriyle elde edilmiş eşitlikler sıradaki gibi ifade edilir.

$$M_{(m_1+m_2)} = \frac{4\pi^2}{G}\frac{a^3}{P^2} \tag{3.4}$$

buradan,

$$P = \frac{2\pi}{G^{1/2}}\frac{a^{3/2}}{(m_1+m_2)^{1/2}} \tag{3.5}$$

elde edilir. Toplam açısal momentum,

$$L = \frac{m_1 m_2}{m_1+m_2}a^2\omega\,;\;\; q = \frac{m_2}{m_1}\,, \omega = \frac{2\pi}{P} \tag{3.6}$$

olarak yazılabilir. Bu eşitlik (3.6) yukarıdaki (3.5) ifadesinde yerine konup türev alınırsa, ΔP dönemdeki değişim miktarı olmak üzere,

$$\frac{\Delta P}{P} = \left[\frac{m_1}{m_1+m_2} - 3\right]\frac{\Delta_{m_1}}{m_1} + \left[\frac{m_2}{m_1+m_2} - 3\right]\frac{\Delta_{m_2}}{m_2} + 3\frac{\Delta_L}{L} \tag{3.7}$$

ifadesi bulunur. Sistemin toplam kütlesinden herhangi bir kaybın söz konusu olmadığı kabul edilerek, bileşenler arası kütle transfer miktarı ($\dot{m}$) ve yörünge dönem değişimi *(ΔP)* arasındaki ilişki aşağıdaki (3.8) eşitliğindeki gibi ifade edilir (Kruszewski, 1966).

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{3\dot{m}(m_1-m_2)}{m_1 m_2} = 3\frac{1-q^2}{qM}\dot{m} \tag{3.8}$$

Yıldızın döneminde değişim oluyorsa minimum zamanları aşağıdaki (3.10) eşitliğiyle elde edilir.

$$T = T_0 + E.P + Q.E^2 \tag{3.9}$$

Bu eşitlikteki Q (polinomun katsayı değeri) parametresi sıfırdan büyükse (+) yıldızın

yörünge döneminin arttığı, Q sıfırdan küçükse (-) yıldızın yörünge döneminin azaldığı söylenir.

Değişimin belirli bir zamana göre miktarını belirlemek için sıradaki eşitlikler (3.10, 3.11) kullanılır.

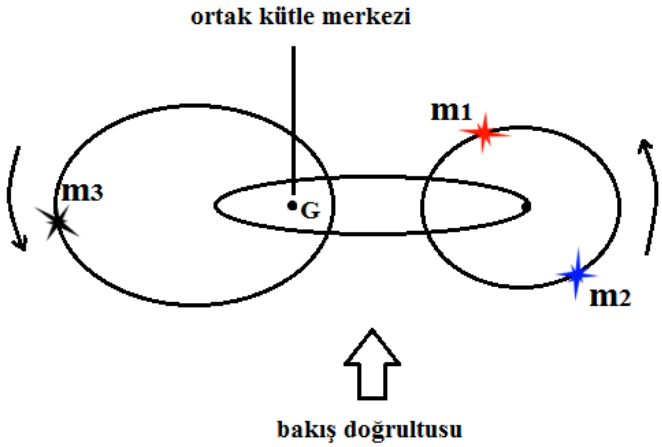
$$P = \frac{dT}{dE} = P_0 + 2QE^2 \tag{3.10}$$

$$\Delta P = \frac{dP}{dE} = 2Q \tag{3.11}$$

Eşitlik 3.8'de çevrim (E) başına gün biriminde değişim miktarı verilir. Birimler gerekli dönüşümlerle yıl veya yüzyıl bazında da dönem değişim miktarı olarak hesaplanabilir.

3.4.2. Üçüncü Bir Cisim Kaynaklı Işık-Zaman Etkisi (*LITE*)

Örten çiftin *O-C* grafiğinde sinüs eğrisi şeklinde dönemli bir değişim de gözlenebilir. Bu durum örten çift sisteme yakın ve çift sistem ile ortak kütle merkezli yörüngesel hareket eden başka bir cisim ile açıklanabilmektedir. Yörünge düzlemleri gökyüzü bakış doğrultumuza dik değilse çift sistem bize yaklaşan ve uzaklaşan bir hareket sergileyecektir. Çift sistemin bize en yakın olduğu noktada *O-C* değeri büyür, en uzak olduğu noktada ise küçülür. Bu yüzden çift sisteme ait minimum noktalarında zamana bağlı dönemli değişimler gözlenecektir. Eğer çift yıldızın üçüncü cisim ile birlikte gerçekleştirdiği yörünge hareketi çembersel ve yörünge düzlemi bakış doğrultumuza paralel ise (i_3=90°), *O-C* grafiğinde düzgün bir sinüs eğrisi görülecektir. Gökyüzü düzlemiyle yörünge düzleminin açısı küçüldükçe ($i_3 < 90°$) sinüs eğrisinin biçimi değişecektir. Bu durum, yaklaşan ışığın erken, uzaklaşan ışığın geç gelmesi olayına bağlı ışık-zaman etkisi olarak ifade edilir. Yani gerçekte çift sistemin döneminde değişim olmasa bile bu durum, ışık-zaman etkisiyle dönemin artan-azalan şeklinde dönemli değişimler sergilemesine neden olacaktır.



Şekil 3.1. Üçüncü bir cisim ile ortak kütle merkezli yörünge hareketi yapan bir çift sistemin temsili gösterimi

Çift sistemin yörünge dönem çözümlemesinde karşımıza çıkan, üçüncü bir cismin sebep olduğu ışık-zaman etkisinin *O-C* grafiğinde sinüs değişimi olarak yansımasının bağıntısı aşağıda verilmiştir (Irwin, 1959; Mayer, 1990).

$$O-C=\frac{A_{LTE}}{\sqrt{(1-e_3^2 cos^2\omega_3}}\left\{\left[\frac{1-e_3^2}{1+e_3 cosv}\sin\left(v+\omega_3\right)\right]+e_3 sin\omega_3\right\} \tag{3.12}$$

A_{LTE}, ışık-zaman etkisi sonucunda oluşan sinüs eğrisinin yarı genliği (gün bazında) olarak tanımlanır ve,

$$A_{LTE}=\frac{1}{2}[(O-C)_{max}-(O-C)_{min}]=\frac{a_{12}.sini'\sqrt{(1-e_3^2 cos^2\omega_3}}{173{,}15} \tag{3.13}$$

bağıntısıyla bulunur. Buradaki eşitliklerde kullanılan ifadeler; a_{12}, çiftin üçüncü cisimle oluşturduğu yörüngenin yarı büyük eksen uzunluğu, e_3 dışmerkezliği (elipsoidal), ω_3 enberi noktası boylamının değeri, i yörünge düzleminin eğim açısı, v sistem yörüngesinin gerçek anamoli açısı şeklinde tanımlanır. m_1 ve m_2 çift sistem bileşenlerinin kütleleri m_3 üçüncü cismin kütlesi olmak üzere, üçüncü cismin kütle fonksiyonu sıradaki eşitlik ile ifade edilir (Kopal, 1978).

$$f_{(m_3)}=\frac{(a_{12}sini^{\circ})^3}{(P_{12})^2}=\frac{(m_3 sini^{\circ})^3}{(m_1+m_2+m_3)^2} \tag{3.14}$$

Üçüncü cismin *G* (Şekil 3.1) kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin yarı büyük eksen değeri,

$$a_3 = \frac{a_{12}.(M_1+M_2)}{M_3} \tag{3.15}$$

eşitliğiyle elde edilir. Bu denklemlerde $P_{1,2}$ üçüncü cisimle ortak kütle merkezi etrafında dolanan çift sistemin yörünge dönemini, a_3 bu yörüngenin yarı büyük eksen uzunluğunu, m_3 üçüncü cismin kütlesini göstermektedir.

3.4.3. Eksen Dönmesi

Örten çift sistemlerde, yörünge elips biçimindeyse ve zaman ile bu yörünge düzleminin bakış doğrultumuza göre olan açısı değişiyorsa minimum zamanlarında dolayısıyla dönemlerinde değişimler gözlenir. Eksen dönmesinin gerçekleştiği bir sistemde dönmenin tam bir dönemi kadar gözlem yapılabilirse sistemin *O-C* grafiğinde 1. ve 2. minimumlara ait aynı dönemli aynı genlikli fakat zıt yönlü sinüs benzeri eğriler ortaya çıkar. Eksen dönmesinin ortaya çıkardığı etki, gerçek anlamda çift sistemin döneminin değiştiği anlamını taşımaz. Bu etkiden dolayı tutulma zamanları arasında dönemsel bir farkın ortaya çıktığı, görünür bir değişimdir. Değen çift sistemler, çembersel yörüngeye sahip olduklarından eksen dönmesi göstermeleri beklenmez.

3.4.4. Manyetik Etkinlik

Bileşenlerden birinin ya da ikisinin de sahip olduğu manyetik etkinlikler, yıldızların kendi eksenlerindeki dönme hızlarında ve buna bağlı olarak yörünge hızlarında değişime yol açar. Bu etkilerin sonucunda sistemin yörünge döneminde çevrimsel değişim gözlenmektedir. Manyetik aktivitenin artmasında dönemin uzaması, azalmasında ise dönemin kısalması gözlenmektedir (Applegate, 1992). *O-C* çözümünde bu etkinin oluşturduğu dönem değişimi sinüs eğrisi şeklinde karşımıza çıkar fakat genelde daha düzensiz bir eğri (veya değişen genliklerde çevrimsel değişim) sergilediği için diğer etkilerle karıştırma problemi nispeten ortadan kalkar. Applegate (1992), dönem değişimindeki bu düzensiz çevrimleri açıklamak için soğuk bileşenin manyetik çevriminin kullanıldığı 'Applegate Mekanizması' adlı bir model üretti. Modele göre aktif bileşenin açısal momentum dağılımındaki değişimler, manyetik çevrim sırasında bileşenin boyutunda değişimlere sebep olur. Çift bileşenli sistem dönme-dolanma kilitlenmesi durumundaysa, bahsedilen boyut değişimi, sistemin yörünge döneminin de değişmesine yol açar.

Manyetik çevrim kaynaklı *O-C* değişimleri çevrimseldir ve aşağıdaki sinus denklemiyle temsil edilebilir:

$$Min\ I = T_0 + E\,x\,P + A_{\mathrm{mod}} \sin\left[\frac{2\pi}{P_{\mathrm{mod}}}(E - T_s)\right] \tag{3.16}$$

Burada, T_0, E ve P sırasıyla, başlangıç minimum zamanını, çevrim sayısını ve yörünge dönemini temsil etmektedir. A_{mod}, P_{mod} ve T_s ise sırasıyla sinüslü değişimin genliğini, dönemini ve başlangıç zamanını temsil ederler.

Bunun gibi dönem değişimlerinin büyüklüğü, Applegate modeline göre $\Delta P/P \approx 10^{-5}$ mertebesindedir. Bu değişimle birlikte, $\Delta L/L \approx 0{,}1$ oranında ışıtma değişimi ve $\Delta\Omega/\Omega \approx 0{,}1$ oranında diferansiyel dönme değişimi beklenir.

BÖLÜM 4
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Küçük ve büyük kütle oranlı çift sistemlerin incelenmesini konu alan bu tez çalışmasında, dönem değişimi gösterdiği belirlenen beş aday sistemin yörünge dönem çözümlemesi, aynı zamanda bu sistemlerden birinin ışık eğrisi çözümlemesi yapıldı. Çalışılan değen sistemlerin üçü A türü, ikisi W türüdür. Kütle oranının sınır değerlerde olduğu hem A türü hem W türü değen sistemler analizler ile incelendi ve sonuçları yorumlandı. Çalışmamızda yer alan yıldızlara ait bazı temel parametreler Çizelge 4.1'de yer almaktadır (*P*: Yörünge dönemi, M_1 ve M_2: 1. ve 2. bileşenin kütleleri, R_1 *ve* R_2: 1. ve 2. bileşenin yarıçapları, *q*: ktüle oranı, *a*: yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu).

Çizelge 4.1. İncelenen sistemlerin bazı temel parametreler

Sistem	Tayf Türü	A/W	*P* (gün)	M_1 M_2 ($M_\odot$)	R_1 R_2 ($R_\odot$)	*q*	*a* ($R_\odot$)	Kaynak
XY Boo	F5	A	0,3705	0,912 0,169	1,230 0,607	0,16	2,229	1,2
GM Dra	F5V	W	0,3387	1,213 0,219	1,252 0,606	0,18	2,303	2,3,4,5
HT Vir	F8V	A	0,4077	1,046 1,284	1,107 1,223	0,81	3,04	6,7,8
RW Dor	G4/5V	W	0,2854	0,52 0,82	0,703 0,881	0,63	2,03	2,9,10
TW Cet	G5	A	0,3387	1,06 0,61	1,00 0,78	0.75	2,32	5,10,11

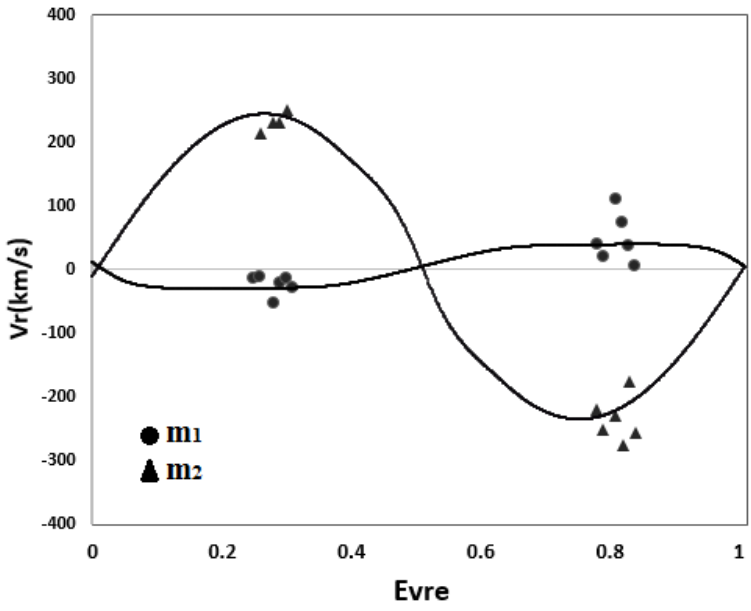
Kaynaklar: 1: Yang ve ark. (2005); 2: Kreiner ve ark. (2001); 3: Gazeas ve ark. (2005); 4: Ruchinski ve ark. (2002); 5: Yıldız (2014); 6: Zola ve ark. (2005); 7: Liao ve ark. (2010); 8: Bensch ve ark. (2014); 9: Sarotsakulchai ve ark. (2018); 10: Duerbeck ve ark. (2007); 11: Liu ve ark. (2018).

4.1. XY Boo Işık Eğrisi Çözümlemesi

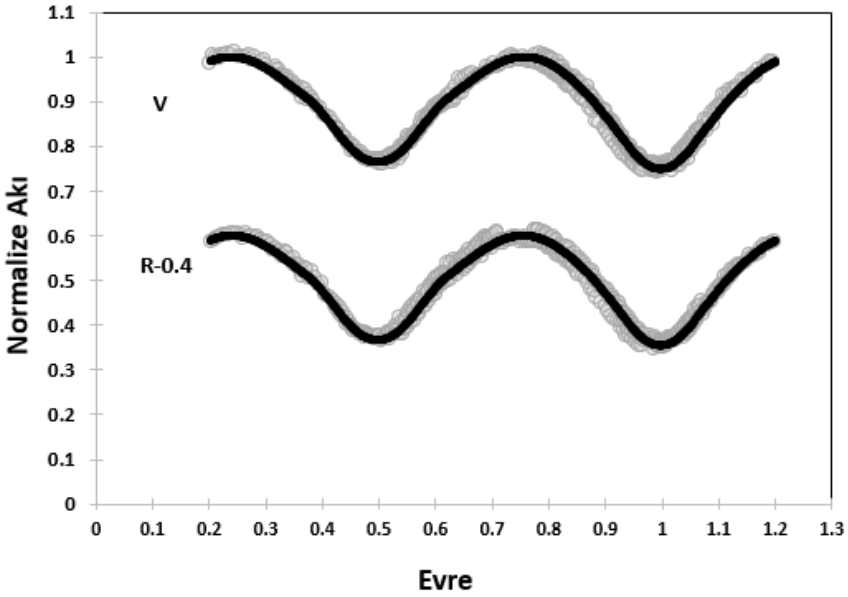
Sistemin gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevinde yapıldı. Yapılan gözlemlerde *Apogee Alta U47 CCD* (*Charge Coupled Device*) dedektörü, *Bessel UBVRI* fotometri sistemi (*VR* filtreleri) ve bu cihazların bağlı olduğu Cassegrain-Schmidt tipi 30,5 cm çaplı *T30* teleskobu kullanıldı. Gözlemlerde alınan verilerin duyarlılığı için, düz alan (*flat*), anlık kara akım (*bias*) ve süreli kara akım (*dark*) görüntüleri alınarak aletsel ve atmosferik etkiler minimize edildi. XY Boo'nun ışık eğrisi analizi için altı gecede

yapılan gözlemlerden elde edilen, *V* filtresinde 787, *R* filtresinde 855 olmak üzere toplam 1642 görüntü işleme alındı. Verilerin ışık ölçüm ve indirgeme işlemlerinde *Maxlm DL5* programı kullanıldı.

Işık eğrisi analizi W-D (Wilson ve Devinney, 1971) yazılımı kullanılarak yapıldı. Çalışılan XY Boo değen sistemine uygun, bileşenlerin her ikisinin de Roche lobunu doldurduğunu esas alan *MOD3* çözüm yolu kullanıldı. Yıldızın yüzey sıcaklığına göre (T<7400 K) bolometrik albedo değerleri (A_1=A_2) 0,5 (Rucinski, 1969) ve çekimsel kararma katsayı değerleri (g_1=g_2) 0,320 olmak üzere sabit tutulup işleme alındı (Lucy, 1967). Baş bileşenin etkin sıcaklık değeri (T_1) için, literatürden alınan (*SİMBAD*) *B* ve *V* bantlarındaki parlaklık değerleri kullanılarak *B-V* renk indeksi hesaplandı ve *Cox* (2000)'un kataloğunda karşılık gelen sıcaklık aralığında bir değer (6400 K) belirlendi. Bu değer yapılan çözümlemede sabit olarak kullanıldı. Çözümlemede işleme alınan parametrelerden kütle oranı (q), yoldaş bileşenin etkin sıcaklık değeri (T_2), baş bileşenin ışınım gücü (L_1), yörüngenin eğim açısı (i) serbest bırakıldı. McLean ve Hilditch (1983) tarafından belirlenmiş, sisteme ait dikine hız değerleri de yapılan çözümlemede kullanıldı ve ışık eğrisi öğeleriyle birlikte işleme alındı. Şekil 4.1'de XY Boo dikine hız eğrisi verilmiştir. Şekil 4.2'de gözlemler sonucu elde edilen ışık eğrisiyle, çözümlemeden çıkan kuramsal ışık eğrilerinin uyumluluk grafiği verilmiştir. Işık ve dikine hız eğrilerinin eş-zamanlı çözümünden elde edilen parametreler ve hataları ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

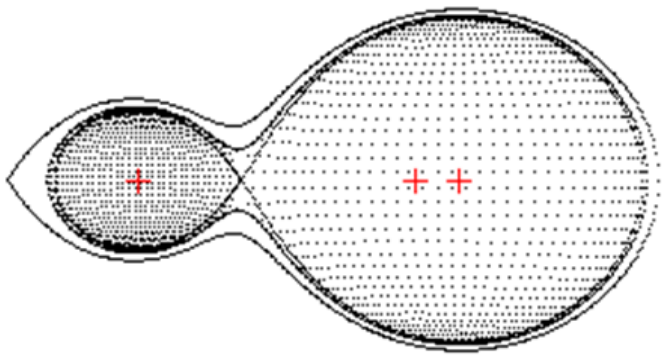


Şekil 4.1. XY Boo sisteminin dikine hız eğrileri ve onları temsil eden sürekli kuramsal eğriler



Şekil 4.2. XY Boo sisteminin *V* ve *R* bandında elde edilen ışık eğrileriyle analiz sonucu alınan kuramsal (koyu siyah düz çizgi) ışık eğrileri

XY Boo sisteminin ışık eğrisinden elde edilen fiziksel parametreleri *Binary Maker3* programında (Bradstreet ve Steelman, 2002) işleme alınarak oluşturulan Roche geometrisi Şekil 4.3'te verilmiştir (q=0,16; f=%44).



Şekil 4.3. XY Boo sisteminin (q=0,16) Roche geometrisi

Çizelge 4.2. XY Boo için daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarıyla bu çalışmada elde edilen ışık eğrisi analizi sonuçları

Parametre	Binnendijk (1971)	Winkler (1977)	Awadalla ve Yamasaki (1984)	Yang ve ark. (2005)	Bu çalışma
T_0 (HJD)	2440389,7321	2439953,962	2440389,732	2453774,6988	2452500,170
P (gün)	0,37055251	0,370546	0,37055251	0,37055240	0,3705663
i (°)	69,5(5)	69(5)	70(1)	69(2)	69,3(3)
T_1 (K)	6250	7200	6500	6324	6400
T_2 (K)	-	6900	6500	6307(24)	6234(20)
$\Omega_1 = \Omega_2$	-	2,134(18)		2,0757(53)	2,0956(80)
q	-	0,1845(10)	0,16	0,1855(26)	0,1646(40)
$V\gamma$ (km/s)	-	-	-	-	0,133
a (R_Θ)	-	-	-	-	2,2014
x_1	-	0,63	0,58	0,534	0,643
x_2	-	0,77	0,72	0,535	0,643
$A_1 = A_2$	-	0,5	0,5	0,5	0,500
$g_1 = g_2$	-	0,32	0,32	0,32	0,320
$L_1/(L_T)(B)$	0,801(5)	0,806(5)	0,812(5)	0,8109(37)	-
$L_1/(L_T)(V)$	0,797(5)	0,800(5)	0,788(1)	0,8106(35)	0,8360(70)
$L_1/(L_T)(R)$	-	-	-	-	0,8342(70)
$L_2/(L_T)(B)$	0,199(5)	0,194(5)	0,188(5)	0,1891	-
$L_2/(L_T)(V)$	0,203(5)	0,200(5)	0,212(10)	0,1894	0,1639(70)
$L_2/(L_T)(R)$	-	-	-	-	0,1657(70)
$L_3/(L_T)(B)$	-	-	-	-	-
$L_3/(L_T)(V)$	-	-	-	-	-
$L_3/(L_T)(R)$	-	-	-	-	-
r_1 (pole)	0,518	0,517	0,520	0,5150(8)	0,5130(5)
r_1 (side)	0,574(2)	0,572(2)	0,576(4)	0,5614(26)	0,5664(7)
r_1 (back)	0,600	0,597	0,603	0,5888(34)	0,5913(9)
r_2 (pole)	0,236	0,234	0,238	0,2468(45)	0,2337(5)
r_2 (side)	0,248(2)	0,246(2)	0,250	0,2595(56)	0,2450(7)
r_2 (back)	0,304	0,298	0,309	0,3155(157)	0,2932(16)
f (%)	-	-	-	55,9(5,1)	44

4.2. Çalışılan Değen Sistemlerin Dönem Değişim Analizleri

4.2.1. XY Boo

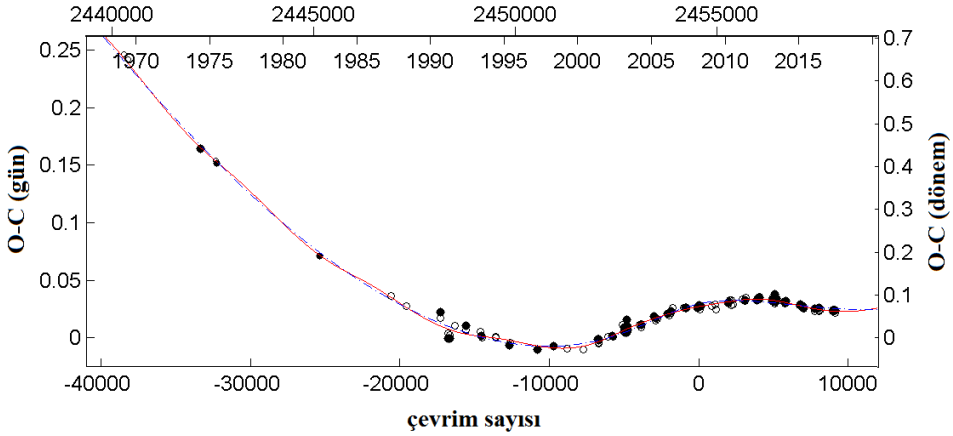
XY Boo (*BD +20 2874, GSC 01466-00122*), değişen yıldız olarak Hoffmeister (1935) tarafından keşfedildi. 0,31265 gün yörünge dönemiyle W UMa türü örten çift yıldız olarak sınıflandırılmıştır (Tesevich, 1950, 1954). Awadalla ve Yamasaki (1984) sistemin yörünge döneminde 1969'dan 1982'ye kadar yaklaşık $4{,}5\text{x}10^{-6}$ günlük bir artış bulmuşlardır. Molik ve Wolf (1988), yörünge döneminin arttığını doğrulamış ve artış oranını yılda $6{,}12\text{x}10^{-7}$ gün olarak vermişlerdir. Winkler (1977), WD kodunu kullanarak kendi gözlemlerinden sistemin geometrik parametrelerini ve kütle oranını q=0,1818 olarak elde etti, ayrıca Binnendijk (1971)'in verilerinden de kütle oranını q=0,1845 olarak hesapladı. Mclean ve Hilditch (1983), tayf gözlemleriyle tayfsal kütle oranını q_{sp}=0,16±0,04 olarak verdiler. Awadalla ve Yamasaki (1984) kendi ışık eğrileriyle beraber Binnendijk (1971) ve Winkler (1977)'in gözlemlerini analiz etmiş, tayfsal kütle oranını sabit alarak, ışık eğrilerini modellemiş ve sistem parametrelerini elde etmişlerdir. Yang ve ark. (2005), sistemin hem ışık eğrisi çözümünü hem de yörünge dönem analizini yapmışlar, yıldızın mutlak parametrelerini bulup dönem değişimini, $dP/dt = +\ 6{,}25\text{x}10^{-7}$ gün/yıl olarak vermişlerdir.

Bu çalışmada yer alan A türü değen sistem XY Boo sisteminin dönem analizi için literatürden alınan 134 ve yapılan gözlemlerden elde edilen altı olmak üzere toplam 140 minimum zamanı kullanılmıştır. *O-C* grafiğinde, değişim parabol şeklindeyse, dönem ya azalıyor ya da artıyordur (Hall, 1990). Parabolün katsayısının (Q) pozitifliği dönemin arttığını, negatifliği ise azaldığını ifade etmektedir. Dönemin artması, bileşenlerin küçük kütleli olanından büyüğüne madde aktarımıyla açıklanabilir. XY Boo için *O-C* diyagramında daha önceki analiz çalışmalarıyla örtüşecek şekilde artan dönem sergileyen parabolik bir değişim gözlenmektedir. Bu değişimle beraber aynı zamanda, iki farklı sinüs eğrisi şeklinde çevrimsel değişimler de göze çarpmaktadır. Çevrimsel değişimler üzerine, olası üçüncü ve dördüncü cisimlerin neden olduğu ışık-zaman etkisi (*Light Time Effect-LITE*) değerlendirilmiş ve çözümde eşitlik (3.13) kullanılarak üçüncü ve dördüncü cismin bazı yörünge parametreleri elde edilmiştir (Çizelge 4.3). Bileşenler arası kütle aktarımı ve ışık-zaman etkisi değerlendirilerek XY Boo için dönem değişim analizi yapılmıştır. Yapılan işlemde, yıldızın minimum zaman değerlerine, çalışmanın 3. bölümünde verilen parabol hesaplaması ve ışık-zaman terimleri, en küçük kareler metoduyla uygulanmıştır. Olası üçüncü ve dördüncü cisme ait kütlelerin minimum değerleri, sırasıyla, M_3=0,645 $M_\odot$ ve M_4=0,152 $M_\odot$ olarak hesaplanmıştır. Çift ile ortak kütle merkezli yörünge hareketi yapan üçüncü cismin dönemi (P_3) 46,66 yıl, dördüncü cismin yörünge dönemi ise (P_4) 8,83 yıl

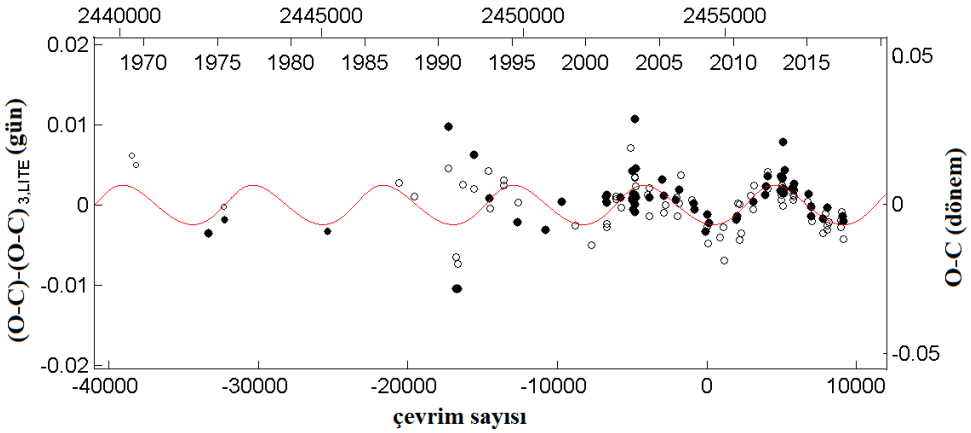
olarak hesaplanmıştır. Dönem analizi sonucu bulunan parametreler Çizelge 4.3'te yer almaktadır. Yaklaşık 50 yıllık verilerin kullanılarak yapıldığı çözümlemede W UMa türü XY Boo sisteminde yörünge dönem artış miktarı (*dP/dt*) 2,38 s/yüzyıl bulunmuştur. Yörünge döneminin artışı, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli olana kütle aktarımıyla açıklanabilir. Toplam kütleden kayıpsız bir şekilde kütle aktarımı (kütle korunumlu) gerçekleştiği kabul edilerek (3.8) eşitliğiyle Çizelge 4.3'teki analizden elde edilen veriler işleme alındı ve aktarılan kütle miktarı (*dM/dt*) $5{,}13\text{x}10^{-8}$ $M_{\odot}$/yıl bulundu. Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.6'da *O-C* dağılımları, kuramsal eğriler ve kuramsal eğrilerden olan artıklar verilmiştir.

Çizelge 4.3. XY Boo dönem analizi sonucu hesaplanan parametreler ve hataları

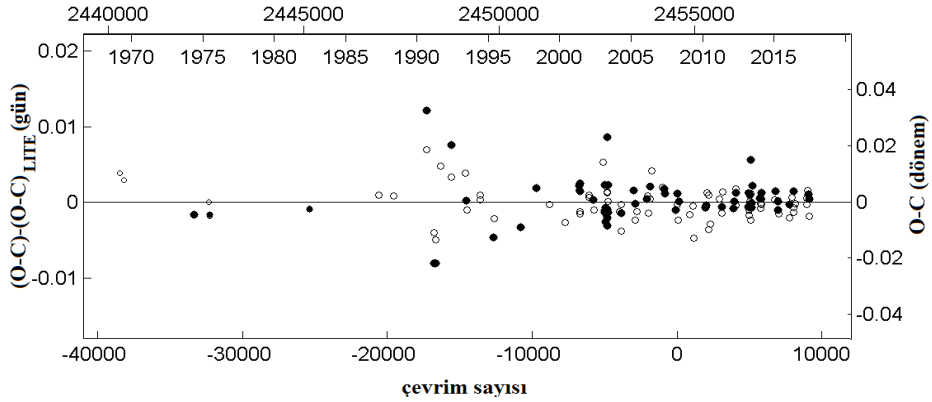
Sistem	**XY Boo**
T_0(HJD+2400000)	54542,8669(40)
P_{orb} (gün)	0,3705702(3)
Q (gün)	$1{,}49(2)\text{x}10^{-10}$
dP/dt (s/yüzyıl)	2,38
dM/dt ($M_{\odot}$/yıl)	$5{,}13x10^{-8}$
e_3	0,44(3)
ω_3 (°)	46(5)
T_3(HJD+2400000)	37031(542)
P_3 (yıl)	46(1)
f(m_3) ($M_{\odot}$)	0,09024(3)
m_3 ($M_{\odot}$) i=90° için	0,6452(1)
e_4	0,14(2)
ω_4 (°)	35(18)
T_4	42881(1007)
P_4(yıl)	8,8(2)
$f(m_4)$ ($M_{\odot}$)	0,001009(1)
m_4 ($M_{\odot}$) (i=90° için)	0,1527(2)



Şekil 4.4. XY Boo sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolü, sürekli kırmızı çizgi parabol ve *LITE* etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi göstermektedir



Şekil 4.5. XY Boo ikinci çevrimsel değişimin *LITE* etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriler ile uyumu



Şekil 4.6. XY Boo sisteminin *O-C* dağılımında kuramsal temsilden olan artıklar

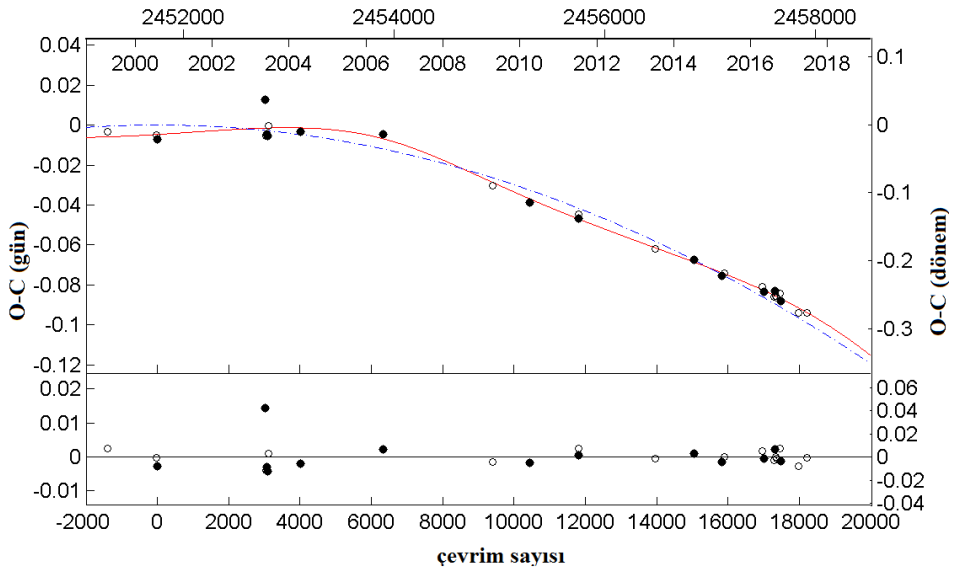
4.2.2. GM Dra

GM Dra (*BD +58°, HIP 84837, V* =8^m,80), örten çift yıldız olarak *Hipparco*s uydu verisiyle (*ESA*, 1997) keşfedildi. Yer tabanlı ilk fotoelektrik gözlemleri Çiçek ve ark. (2001) tarafından gerçekleştirildi. Sadece *B* bandında küçük genlikli bir O'Connell etkisi fark edildi. Selam (2004), Hipparcos fotometrik verilerini kullanarak sistem için q = 0,35; f = 0,4; i = 57°,5 parametrelerini elde etti. Tayfsal yörüngesi Rucinski ve ark. (2002) tarafından belirlendi. Aynı çalışmada kütle oranını, q=0,180 ± 0,007 olarak elde ettiler ve sistemin tayf türünü F5V olarak değerlendirdiler. GM Dra W türü W UMa sınıfında yer almaktadır (Gazeas ve ark., 2005). Daha önce yayınlanmış yörünge dönem değişimi çalışmasına rastlanmamıştır.

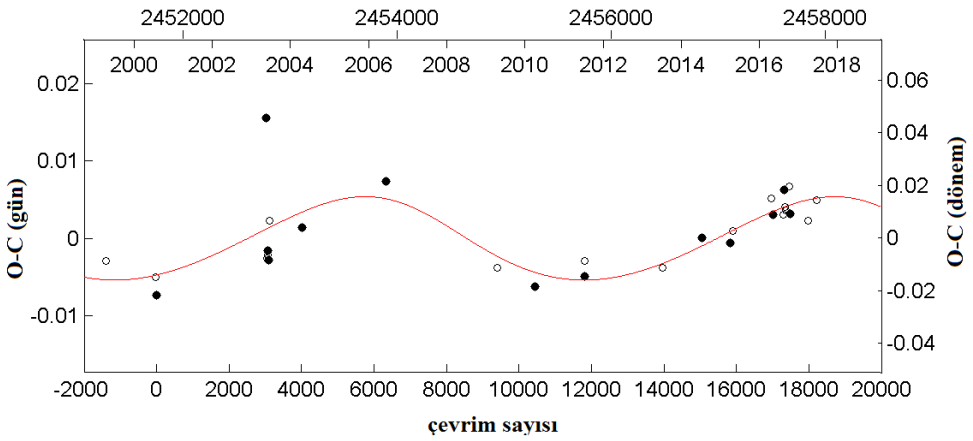
W türü örten değen GM Dra çiftinin dönem analizi için literatürden alınan 24 ve bu çalışma kapsamında yapılan gözlemlerden elde edilen altı olmak üzere toplam 30 minimum zamanı işleme alındı. Sistemin daha önce dönem değişimiyle ilgili bir çalışmaya rastlanmadığı için bu çözümleme ilk olacaktır. Yaklaşık 25 yıllık verilerin kullanıldığı *O-C* grafiğinde parabolik bir değişimin varlığı (azalan yönde) ve bununla beraber düşük genlikte de olsa dönemli çevrimsel bir değişimin varlığı göze çarpmaktadır. Çözümleme için parabol ve ışık-zaman etki hesaplamaları kullanıldı ve sonuç parametreleri belirlendi. Sistemin döneminde (dP/dt) -5,55 s/yüzyıl oranında bir azalma hesaplanmıştır. Dönemin azalması büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru kütle akışıyla açıklanabilir. Aktarılan kütle miktarının oranı yapılan hesaplamalar ile (dM/dt) -1,69x10^{-7} $M_\odot$/yıl bulunmuştur. Olası bir üçüncü cismin sahip olabileceği minimum kütle ise (m_3) 0,252 $M_\odot$ olarak belirlenmiştir ve çift sistemin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge dönemi (P_{12}) 12,01 yıl olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.4'te analiz sonuçları listelenmiştir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de *O-C* dağılımları kuramsal eğriler ile birlikte görülmektedir.

Çizelge 4.4. GM Dra dönem analizinden elde edilen parametreler ve hataları

Sistem	**GM Dra**
T_0 (HJD+2400000)	51750,4072(84)
P_{orb} (gün)	0,3387470(9)
Q (gün)	-2,98(6)x10^{-10}
dP/dt (s/yüzyıl)	-5,55
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	-1,69x10^{-7}
a_{12} sin i (AB)	0,93(38)
e	0,15(7)
ω (°)	135(41)
T'(HJD+2400000)	49810(5015)
P_{12} (yıl)	12,0 (3,0)
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0,00568(6)
m_3 ($M_\odot$) i=90° için	0,25(1)



Şekil 4.7. GM Dra sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve *LITE* etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin alt panelindeki dağılımda ise kuramsal eğriden olan artıklar göstermektedir



Şekil 4.8. GM Dra sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden ayrılmış gösterimi

4.2.3. HT Vir

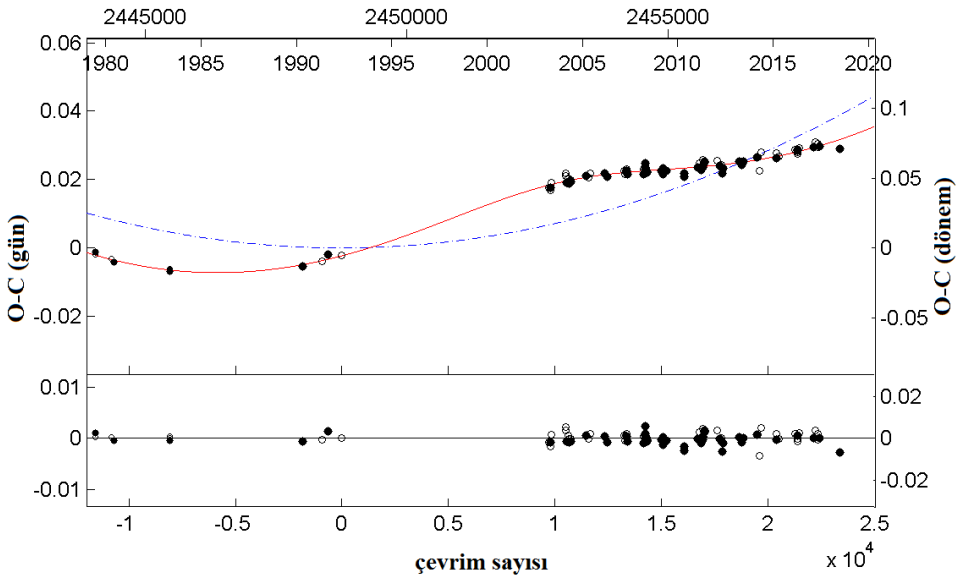
HT Vir (*HD 119931, HIP 67186, STF 1781, BD +5°.2794*, $V = 7^{m},2$, F8V) görsel bir çift olarak Struve (1932) tarafından bulundu ve Aitken (1932) kataloğunda *ADS* 9019 olarak listelendi. Bu çift yıldız daha sonra birçok araştırmacı tarafından (örn. Heintz, 1963; Baize, 1972) gözlendi ve ölçümleri yapılarak yörünge parametreleri belirlendi. Baize (1972)'in yaptığı optik gözlemlerindeki saçılmadan dolayı, sistemin birinci bileşeninin değişen olabileceğinden şüphe edilmiştir ki bu sonuç Walker (1984) tarafından yapılan fotoelektrik gözlemler ile de kabul görmüştür. Walker (1984) tarafından elde edilen *V* gözlemleri değişenin daha sonra HT Vir olarak adlandırılan *B* bileşeni olduğunu ortaya çıkardı (Walker ve Chambliss 1985). Walker ve Chambliss (1985) sistemin fotometrik çözümlerini Wood modeline göre yaptılar. *Hipparcos* gözlemlerinin görsel çift için Fabricius ve Makarov (2000) tarafından yapılan analizleri ayrıklığın sadece 0″,56 olduğunu göstermiştir. HT Vir siteminin her iki bileşeninin dikine hızları Lu ve ark. (2001) tarafından belirlenmiş ve yıldızın büyük kütle oranlı A türü W UMa olduğu gösterilmiştir. Ayrıca Lu ve ark. (2001) A bileşeninin 32,45 gün dönemli tayfsal çift olduğunu buldu. Böylece, sistemin aslında dörtlü bir dizge olduğu ortaya çıktı. Zola ve ark. (2005) fotometrik çözümlerle tayfsal sonuçları birleştirerek HT Vir için mutlak parametreleri belirlemiştir. Bu da göstermiştir ki HT Vir f = %8 derecesiyle düşük doldurma faktörlü değen bir çifttir. Zasche ve Wolf (2007) astrometri ve dönem değişimlerini birlikte kullanarak sitemin astrometrik dönemini elde etmişlerdir. Liao ve Qian (2010), yaptıkları *O-C* çalışmasıyla 0,0066 gün yarı genlikle, 30,5 yıl dönemli çevrimsel bir yörünge dönem değişimi belirlemişlerdir.

Bu çalışmada HT Vir'in yapılan dönem analizi için literatürden alınan yaklaşık 40 yıl

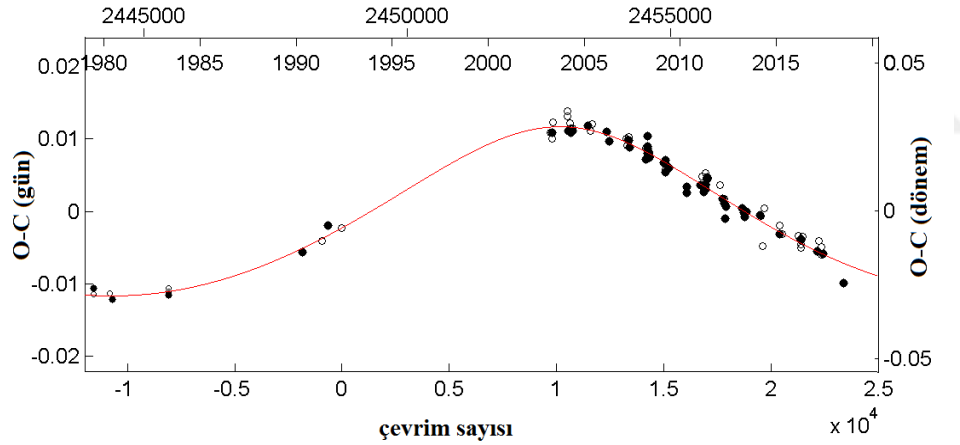
aralığında 101 minimum zamanı kullanıldı. *O-C* grafiğinde görünen parabolün şekli sistemin döneminin artan bir değişim gösterdiğini belirtmektedir. Bu örten çift sistemde de parabol ile birlikte dönemli bir sinüs eğrisi göze çarpmaktadır. Çözümlemede önceki çalışmada bahsedilen aynı işlemler bu sistem için de kullanıldı. Yapılan hesaplamalara ve çıkan sonuçlara göre HT Vir çifti yörünge döneminde (*dP/dt*) 1,099 s/yüzyıl oranında bir artış sergilemektedir. Dönemdeki artışın sebebini, baş bileşenden yoldaş bileşene kütle aktarılması önerisiyle açıklayabiliriz. Kütle aktarım oranı yapılan hesaplamalarla $5{,}87 \times 10^{-7}$ $M_\odot$/yıl olarak bulunmuştur. Sistem ile yörünge hareketi yaptığı önerilen olası bir üçüncü cismin dönemi (P_{12}) 46,14 yıl olarak hesaplanmış ve bu cismin sahip olacağı minimum kütle hesaplamalar sonucunda $m_3 = 0{,}31\ M_\odot$ olarak belirlenmiştir. Analiz sonuçları, Çizelge 4.5'te verilmiştir. Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da *O-C* dağılımları ile birlikte kuramsal eğriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. HT Vir dönem analizi sonucu belirlenen parametreler ve hataları

Sistem	**HT Vir**
T_0 (HJD+2400000)	48760,667(58)
P_{orb} (gün)	0,407671(7)
Q (gün)	$7{,}1(5) \times 10^{-11}$
dP/dt (s/yüzyıl)	1,1
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	$5{,}87 \times 10^{-7}$
$a_{12} \sin i$ (AB)	2,02(1,8)
e	0,24(14)
ω (°)	94(3)
T'(HJD+2400000)	42974(137)
P_{12} (yıl)	46,1(2)
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0,00389(166)
m_3 ($M_\odot$) i=90° için	0,31(4)



Şekil 4.9. HT Vir sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve *LITE* etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin altındaki kısım ise kuramsal eğriden olan artıkları göstermektedir



Şekil 4.10. HT Vir sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden ayrılmış gösterimi

4.2.4. RW Dor

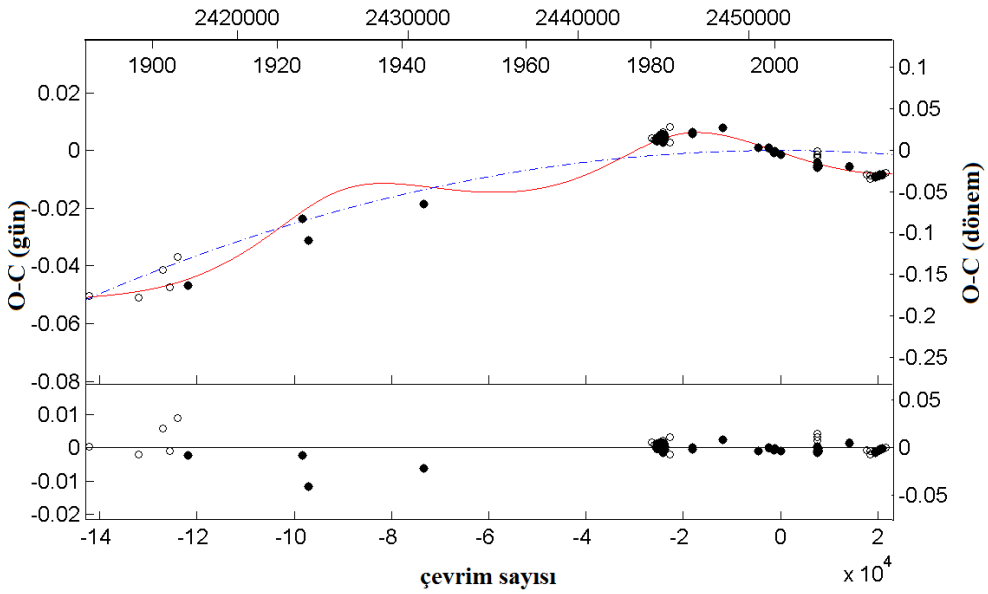
RW Dor değişen yıldız olarak Leavitt (1908) tarafından keşfedilmiş daha sonra Hertzsprung (1925), sistemi W UMa türü örten çift olarak sınıflandırmıştır. Dizgenin ilk tayfsal sınıflaması Cannon (1921) tarafından yapılmış ve K5 tayf türü olarak belirlenmiştir. İlk fotoğrafik minimum zamanları Hertzsprung (1928) tarafından kaydedilmiş ve yörünge dönemi 0,143 gün olarak verilmiştir. Sistemin sonraki çalışmalarında (örn. Russo ve ark. 1984, Marton ve ark. 1989, Kaluzny ve Caillault 1989, Ogloza ve Zakrzewski 2004, Marino

ve ark. 2007) birçok tutulma zamanı elde edilmiş ve ışık elemanları güncellenmiştir. Işık eğrileri Wilson-Devinney metoduyla (Wilson ve Devinney 1971) Marton ve ark. (1989) ve Kaluzny ve Caillault (1989) tarafından analiz edilmiş, fotometrik sonuçlar elde edilmiştir. RW Dor'un ilk dikine hız ölçümleri Hilditch ve ark. (1992) tarafından yayınlanmıştır. Sistemin her iki bileşeninin K1 tayf türünde olduğu belirlenmiş ve tayfsal kütle oranı yaklaşık q=0,68 olarak hesaplanmıştır. Hilditch ve ark. (1992), Kaluzny ve Caillault (1989) tarafından hesaplanan fotometrik çözümleri kullanarak çift sistemin mutlak parametrelerini belirlemiştir. Bununla birlikte, RW Dor'un W türü değen çift olduğu kabul edilmiştir. Duerbeck ve Rucinski (2007), diğer dikine hız eğrilerini elde etmiş ve tayfsal kütle oranını q=0,63 olarak belirlemiştir. Bu sonuç Hilditch ve ark. (1992)'nın sonuçlarına yakındır. Marino ve ark. (2007), Hilditch ve ark. (1992) ve Duerbeck ve Rucinski (2007) tarafından verilen dikine hızları kullanarak tayfsal kütle oranını tekrar hesapladılar. Ayrıca aynı çalışmada bütün tutulma zamanları tekrar analiz edilmiştir ve yörünge döneminde (dP/dt) -6,3x10^{-11} gün/çevrim oranında sürekli azalan bir değişim bulmuşlardır. Son yörünge dönem analiz çalışması Sarotsakulchai ve ark. (2019) tarafından yapılmış olup sistemin dönem değişim oranını, -9,61x10^{-9} gün/yıl olarak belirlemişlerdir. Ayrıca aynı çalışmada yapılan ışık eğrisi analizi sonuçlarından sistemin kütle oranı q=0,63 olarak hesaplanmıştır.

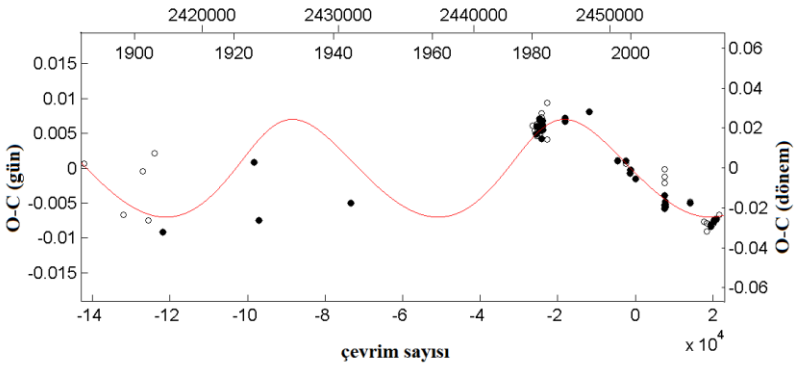
RW Dor sistemi için literatürden 75 minimum zamanı (yaklaşık 30 yıl aralığında) alınarak bu çalışmada işleme alındı. Sistemin *O-C* grafiği, dönemin azalan bir değişim gösterdiği anlamını taşımaktadır. Parabolün yanı sıra çevrimsel bir değişimin de varlığının görüldüğü için hesaplamaya *LITE* terimi de dahil edilmiştir. İşlemler sonucunda alınan verilere göre, RW Dor değen çifti yörünge döneminde -6,474x10^{-9} gün/yüzyıl oranında azalan bir değişim sergilemektedir. Azalma sebebi, çiftin büyük kütleli üyesinden küçük kütleli olana madde aktarması olarak açıklanabilir. Kütle aktarma miktarı, elde edilen verilerle hesaplanarak 1,07x10^{-8} $M_{\odot}$/yıl oranında bulunmuştur. Çevrimsel değişimin göz önünde bulundurularak *LITE* hesabının da uygulandığı işlemler sonunda, olası üçüncü cismin çift sistemle ortak kütle merkezi çevresinde olan yörüngesinin periyodu (P_{12}) 54,86 yıl olarak bulunmuştur. RW Dor'un olası bir üçüncü bileşeni için kütle değeri 0,11 $M_{\odot}$ olarak hesaplanmış olup kütlesinin yıldız olma sınırının hemen üstünde olduğu görülmüştür. Dönem analizi sonucu belirlenen parametreler Çizelge 4.6'da yer almaktadır. Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da *O-C* diyagramları kuramsal eğrileri de içerecek gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. RW Dor dönem analizi sonucu belirlenen parametreler ve hataları

Sistem	**RW Dor**
T_0 (HJD+2400000)	51869,07746(19)
P_{orb} (gün)	0,28546333(8)
Q (gün)	-2,5(1)x10^{-12}
dP/dt (gün/yüzyıl)	-6,5x10^{-9}
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	1,1$x$$10^{-8}$
a_{12} sin i (AB)	1,2(3)
e	0,19(2)
ω (°)	53(8)
T'(HJD+2400000)	60438(379)
P_{12} (yıl)	55(2)
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0,0006 (1)
m_3 ($M_\odot$) i=90° için	0,11(1)



Şekil 4.11. RW Dor sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve *LITE* etkisi ile hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin altındaki kısım ise kuramsal temsilden olan artıkları göstermektedir



Şekil 4.12. RW Dor sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden farkı alındıktan sonraki gösterimi

4.2.5. TW Cet

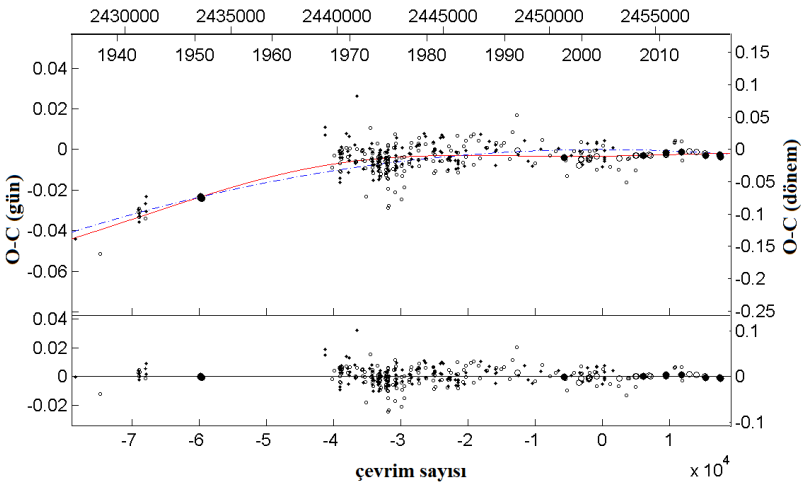
TW Cet (BD -21°311), değişkenliğinin çift sistem olmasından kaynaklandığını düşünen Hoffmeister (1933) tarafından değişen yıldız olarak keşfedildi. Yaklaşık 10 yıl sonra Zessewitch (1944) sistemin ışık değişimleri üzerinde çalıştı ve TW Cet'in W UMa türü örten çift olduğu sonucuna varıldı (Min I = J.D. 2430656^d,504 + 0^d,316852 E). Struve ve ark. (1950), TW Cet'in tayfsal gözlemlerini yayınlamışlardır. G5 türünde neredeyse aynı yoğunlukta iki tayf elde etmişlerdir. Aşağıda verilen tayfsal parametreleri hesaplamışlardır: K_1 = 135 km/s, K_2 = 255 km/s, m_1/m_2 = 1,89, a_1 sin i = 0,59 x 10^6 km, a_2 sin i = 1,1 x 10^6 km. Çiftin ilk fotoelektrik gözlemleri, sarı ve mavi ışıkta tamamlanmış ışık eğrilerini elde eden Cilliè ve Bok (1951) tarafından yapılmıştır. Archer (1959) bu gözlemleri Russell ve Merrill (1952) metodunu kullanarak çözümledi ve aşağıdaki fotometrik sonuçları elde etti: i = 85°,7, r_g = 0,537, r_s = 0,256, L_g = 0,724, L_s = 0,296. Stuve ve ark. (1950) 'nin tayfsal verilerilerini kullanarak mutlak parametreleri bulmuştur (M_g = 0,68 $M_\odot$, M_s = 1,28 $M_\odot$, L_g = 0,79 $L_\odot$, L_s = 0,31 $L_\odot$). Yapılan taramalarda yıldızın dönem değişimi çalışmasına rastlanmamıştır.

Sistemin dönem değişim araştırmasında literatürden alınan çoğunluğu görsel olmak üzere toplam 340 minimum zaman kullanıldı (yaklaşık 80 yılllık veri). Büyük oranda olmasa da sistemin *O-C* diyagramında uzun dönemde azalan bir değişim görülmektedir. Bu parabolik değişimin üzerinde göze çarpan sinüs benzeri çevriminin de ele alınması için bu çalışmadaki diğer sistemler için yaptığımız işlem ve hesaplamalar bu sistem için de uygulanmıştır. Alınan sonuçlara göre TW Cet çifti yörünge döneminde -0,13 s/yüzyıl oranında azalan bir değişim sergilemektedir. Çiftin büyük kütleli üyesinden küçük kütleli üyesine kütle akışı bu dönem azalmasının nedeni olarak önerilebilir. Yapılan hesaplama

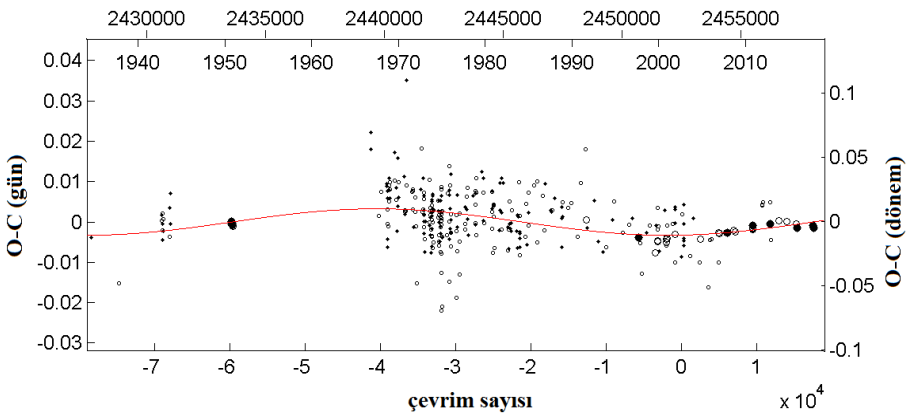
sonucunda sistemin üyeleri arasında gerçekleşen bu kütle aktarımının miktarı -2,28x10^{-8} $M_\odot$/yıl değerinde bulunmuştur. Sinüzoidal değişimin de değerlendirilmesi için dönem analizi *LITE* hesaplamasıyla işleme alındı. Alınan sonuçlara göre, olası bir üçüncü cisim ile olan yörüngenin dönemi 66,98 yıl ve bu üçüncü cismin sahip olabileceği en küçük kütle miktarı (i=90° için m_3) 0,049 $M_\odot$ olarak hesaplanmıştır. Nesnenin kütlesi dikkate alındığında, bir kahverengi cüceye karşılık gelmektedir. Yapılan analizlerin sonuçları Çizelge 4.7'de yer almaktadır. Şekil 4.11 ve şekil 4.12'de *O-C* diyagramları ve kuramsal eğriler gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. TW Cet dönem analizi sonucu hesaplanan parametreler ve hataları

Sistem	**TW Cet**
T_0 (HJD+2400000)	52500,26376(64)
P_{orb} (gün)	0,316851(5)
Q (gün)	-6,5(1)x(10^{-12})
dP/dt (s/yüzyıl)	- 0,13
dM/dt ($M_\odot$/yıl)	-2,28x10^{-8}
a_{12} sin i (AB)	0,57(32)
e	0
T'(HJD+2400000)	90280(410)
P_{12} (yıl)	67(8)
$f(m_3)$ ($M_\odot$)	0,0000407227(3)
m_3 ($M_\odot$) i=90° için	0,049(5)



Şekil 4.13. TW Cet sisteminin *O-C* grafiği: Kesikli mavi çizgi parabolik eğriyi, kırmızı sürekli çizgi parabol ve *LITE* etkisiyle hesaplanmış kuramsal eğriyi, grafiğin altındaki kısım ise kuramsal temsilden olan artıkları göstermektedir



Şekil 4.14. TW Cet sisteminin *O-C* grafiğindeki çevrimsel değişimin parabolden çıkarılmış gösterimi

4.3. Çalışılan Sistemlerin Dönem Değişimlerinde Manyetik Aktiflik Etkisi

Bu çalışmada yörünge dönem analiz çalışması yapılan bütün sistemlerin (XY Boo, GM Dra, HT Vir, RW Dor ve TW Cet) birinci bileşenleri soğuk ve konvektif zarfa sahip (Çizelge 4.1) olup, *O-C* diyagramlarındaki dönemli değişimler, olası manyetik çevrimlerinin etkileri nedeniyle ortaya çıkmış olabilir. Bu nedenle, *O-C* diyagramındaki parabolik ve çevrimsel değişimler, eşitlik (3.16)'ya parabolik terim de eklenerek, birlikte temsil edildi. Çevrimsel değişimlerin kaynağının manyetik etkinlik çevrimleri olduğu kabulüyle Applegate (1992) modeli uygulandı ve bulunan parametreler Çizelge 4.8'de verildi. Modülasyon dönemlerinin, TW Cet hariç, olası manyetik çevrim dönemlerine karşılık gelebileceği söylenebilir.

Çizelge 4.8. Çalışılan sistemlerin çevrimsel *O-C* değişimleri için hesaplanan Applegate parametreleri

Parametreler	XY Boo	GM Dra	HT Vir	RW Dor	TW Cet
P_{mod}	46	12	46	54	67
$\Delta P/P$	$2{,}4\times10^{-5}$	$1{,}4\times10^{-5}$	$1{,}1\times10^{-5}$	$4{,}5\times10^{-6}$	$1{,}5\times10^{-6}$
ΔJ (erg s^{-1})	$-3{,}4\times10^{47}$	$-3{,}3\times10^{47}$	$-5{,}5\times10^{47}$	$-7{,}0\times10^{46}$	$-5{,}4\times10^{46}$
$\Delta\Omega/\Omega$	0,002	0,001	0,004	0,001	0,0004
ΔE(erg)	$1{,}2\times10^{41}$	$1{,}1\times10^{41}$	$3{,}9\times10^{41}$	$1{,}6\times10^{40}$	$4{,}6\times10^{39}$
I_s (gr cm^2)	$9{,}7\times10^{53}$	$1{,}0\times10^{54}$	$7{,}8\times10^{53}$	$3{,}2\times10^{53}$	$6{,}9\times10^{53}$
ΔL_{rms} ($L_\odot$)	0,07	0,2	0,07	0,007	0,002
B(kG)	8	2	13	8	4

BÖLÜM 5
SONUÇ VE ÖNERİLER

Değen çift sistemler, aktif fiziksel süreçlerin yanı sıra, evrim ve yaşamlarıyla yıldız astrofiziğinde önemli bir yere sahip araştırma alanlarıdır. Bileşenlerinin yakınlık ve değme durumu, sistem üzerinde çekimsel ve tedirginlik etkileri oluşturur ki bu da yıldızın yaşamında izlediği evrimsel yolun farklı bir biçimde gelişmesine neden olur. Gelişen gözlem teknolojisiyle son yıllarda yapılan uydu ve yer tabanlı gözlemlerin duyarlılığı artmıştır ve sistemlere ait temel parametreler daha hassas hesaplanabilmektedir. Değen sistemlerin, kısa yörünge dönemleri ve fiziksel etkileşim durumlarından dolayı sürekli bir değişim içinde oldukları düşünülür. Bu değişimler temel olarak ışık eğrilerine, tayflarına ve yörünge dönemlerine yansır. Belirlenen mutlak parametreler ve yeterli ölçüde elde edilen gözlemsel veriler ile bu farklılıkların sebebi üzerine araştırma ve hesaplamalar yapılabilir. Kütle oranı değen sistemler üzerine yapılan çalışmaları yorumlamada önemli bir faktördür. Kütleye bağlı olan, açısal momentum aktarımı veya kaybı değen sistemin yörünge döneminde değişime neden olur. Kütle oranının, bileşenlerin yakın kütlelere sahip üst sınır ($0{,}7 < q < 1$) ve çok farklı kütlelere sahip alt sınır ($0 < q < 0{,}2$) değerlerinde, değen sistemin özellikle varsa yörünge dönem değişiminin ve yönünün, bununla beraber bu değişime neden olan etkilerin araştırılması, çift sistem evrimi üzerine öneriler sunabilmektedir.

Çalışma kapsamında, kütle oranlarına göre değerlendirilen üç A türü, iki W türü olmak üzere toplam beş değen çift sistemin (XY Boo, GM Dra, HT Vir, RW Dor, TW Cet) dönem değişim analizi ve bu sistemlerden birinin (XY Boo) aynı zamanda ışık eğrisi analizi yapıldı. Çalışılan sistemlerden XY Boo ve GM Dra'nın Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde yapılan gözlemlerinden elde edilen yeni veriler, hem XY Boo için ışık eğrisi analizlerinde hem de her iki sistem için yeni minimum zamanları okunarak dönem analizinde kullanıldı. Yapılan 12 gecelik gözlemlerde XY Boo için altı, GM Dra için altı olmak üzere toplamda 12 minimum zaman elde edilmiştir ve XY Boo için ışık eğrisi tamamlanmıştır. Çalışmada ışık eğrisi analizi için W-D yazılımı, dönem analizi için *O-C* yöntemi uygulandı.

XY Boo'nun ışık eğrisi analizi dikine hızla eşzamanlı çözülerek, fiziksel parametreler yeniden belirlenmiştir. Hesaplanan temel parametreler, karşılaştırma amacıyla, sisteme ait daha önce yapılan bir çalışmasıyla birlikte Çizelge 5.1'de listelenmiştir. Bu çalışmada elde edilen mutlak parametrelerin Yang ve ark. (2005) tarafından verilenler ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sistemin hesaplanan fotometrik uzaklığının da ($d=216\pm16$ pc), *Gaia*

uydusuna ait veri tabanındaki trigometrik paralaksa (*Gaia* iş birliği, 2018) karşılık gelen uzaklık değeriyle (240±4 pc) hata sınırları içinde yakın olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.1. XY Boo'nun bileşenlerinin mutlak parametreleri ve Yang ve ark. (2005)'nın sonuçlarıyla karşılaştırılması

Parametre	Yang ve ark. (2005)	Bu çalışma
M_1 ($M_\odot$)	0,912(280)	0,91(2)
M_2 ($M_\odot$)	0,169(52)	0,15(2)
R_1 ($R_\odot$)	1,230(6)	1,20(11)
R_2 ($R_\odot$)	0,607(18)	0,66(3)
log g_1 (cgs)	-	4,37(2)
log g_2 (cgs)	-	3,97(14)
$M_{bol.1}$	-	4^m,09(16)
$M_{bol.2}$	-	5^m,06(17)
L_1 ($L_\odot$)	2,138	1,83(27)
L_2 ($L_\odot$)	0,515	0,752(122)
d_{foto} (pc)	-	216(16)
d_{Gaia} (pc)	-	240(4)

Yapılan dönem analizinde, küçük kütle oranına (q = 0,16) sahip A türü XY Boo'nun döneminde 2,38 s/yüzyıl oranında artış gösterdiği hesaplanmıştır. Daha önceki çalışmalarda dönem artış oranı 5,3 s/yüzyıl (Molik ve Wolf, 1988) ve 5,4 s/yüzyıl (Yang ve ark.,, 2005) olarak verilmiştir. Sistemin yörünge dönemindeki artış için küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene doğru kütle aktarımı önerilmiştir ve kütle aktarım oranı $5{,}13\text{x}10^{-8}$ $M_\odot$/yıl olarak hesaplanmştır. Ayrıca *O-C* dağılımda çevrimsel iki farklı değişimin gözlenmesinden dolayı, analizde *LITE* terimi kullanılmıştır. Çizelge 4.8 incelendiğinde, hesaplanan çevrimsel değişim parametrelerinin, Applegate (1992) tarafından öngörülen parametre aralıklarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. 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 Rodono (2002) tarafından önerilmiştir. Ayrıca, yakın örten çift sistemler için bu değerin yaklaşık 10^{51}-10^{52} (gr cm^2) aralığında olması gerektiği Lanza ve Rodono (1999) tarafından rapor edilmiştir. Geri tayf türünden soğuk olan bu tür bileşenlerin yörünge dönem modulasyonlarını

Applegate (1992) modeliyle açıklamanın yeterli olamayacağı Lanza (2006) tarafından belirtilmiştir. Bu nedenle, olası aktif bileşen içeren sistemler için Lanza ve Rodono (2002) eşitliği uygulanmıştır. Her iki bileşen için bulunan değerler yaklaşık 10^{50} (gr cm^2) mertebesindedir. Bu değer, Lanza ve Rodono (1999) tarafından önerilen aralıktan uzak olduğu için, manyetik çevrim yerine, sistemde var olabilecek üçüncü (olasılıkla K cücesi) ve dördüncü (olasılık ile M cücesi) cisimler ile ilgili kanıtların araştırılması önerilebilir.

Küçük kütle oranına (q = 0,18) sahip bir diğer aday W türü GM Dra'nın, literatür taramalarında daha önce yapılmış dönem analizi çalışmasına rastlanmamıştır. Bu yüzden sistemin çalışması, hem elde edilen yeni verilerin katkısı hem de yapılan ilk dönem analizi çalışması olması yönünden önem taşımaktadır. Yaklaşık 26 yıl aralığında kaydedilmiş 30 minimum zamanın (altısı bu çalışmada elde edilen minimum zamanları) işleme alındığı dönem analizinde, sistemin yörünge döneminde -5,5 s/yüzyıl oranında azalma gösterdiği hesaplanmıştır. Bu azalma oranı dönem analizinde önemsenecek değerlerde çıkmıştır. GM Dra'nın yörünge dönemindeki azalma için büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene olan madde aktarımı önerilmiştir ve kütle aktarım oranı yapılan hesaplamalarla $1{,}69 \times 10^{-7}$ $M_\odot$/yıl olarak elde edilmiştir. Genliği düşük olsa da *O-C* dağılımında çevrimsel bir değişim görüldü ve analizlerde *LITE* terimi değerlendirildi. Sistemin döneminde çevrimsel etkiler oluşturan olası üçüncü bir cisim ilk olarak dikkate alınarak yörünge özellikleri ve kütlesi tahmin edilmiştir. İkinci olarak ise *O-C* verisine (3.16) eşitliği uygulandı ve bulunan parametreler yardımıyla Applegate parametreleri bulundu ve Çizelge 4.8'te listelendi. Applegate parametreleri incelendiğinde, elde edilen sonuçların Applegate (1992) tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumda, olası üçüncü cisim ile birlikte, manyetik çevrime ilişkin kanıtlar farklı gözlem veri katkılarıyla araştırılabilir.

Büyük kütle oranına (q = 0,81) sahip A türü değen sistem HT Vir için yaklaşık 40 yıl aralığında minimum zamanları toplanarak yapılan dönem analizinde işleme alınmıştır. Sistem, yörünge döneminde artan bir değişim göstermektedir ve artış oranı 1,1 s/yüzyıl oranında hesaplanmıştır. Dönemin artan değişimi için, küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene olan kütle aktarımı önerilmiştir ve aktarım oranı $5{,}87 \times 10^{-7}$ $M_\odot$/yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin yörünge döneminde çevrimsel değişime sebep olduğu düşünülen olası bir üçüncü cismin etkisi *LITE* terimiyle değerlendirilmiş ve hesaplanan değerleri ilgili bölümde (Bölüm 4) listelenmiştir. HT Vir'in birinci bileşeni soğuk ve konvektif zarfa sahiptir. Bu nedenle çevrimsel değişimi açıklamak için Applegate (1992) modeli uygulanıp bulunan parametreler Çizelge 4.8'de listelenmiştir. Parametreler, Applegate (1992)

tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerdedir. Ancak, HT Vir sistemi için yapılan tayf çalışmasında dörtlü bir sistem olduğu ifade edilmiş ve üçüncü bileşenin parametreleri Lu ve ark. (2001) tarafından belirlenmiştir.

Kütle oranı q = 0,63 olan RW Dor değen sisteminin, literatürden alınan yaklaşık 28 yıl aralığındaki minimum zaman verileriyle dönem analizi yapıldı. Sistemin döneminde 0,055s/yüzyıl oranında azalma hesaplanmıştır. Bu azalma için önerilen faktör bileşenler arası kütle aktarımıdır ve bu aktarım oranı yapılan hesaplamalarla $1{,}1\text{x}10^{-8}$ $M_{\odot}$/yıl olarak elde edilmiştir. İlk olarak sistemin *O-C* dağılımında parabol ile birlikte çevrimsel bir değişimin gözlenmesinden dolayı *LITE* terimiyle çözüme alınmıştır. İkinci olarak da çevrimin manyetik aktivite kaynaklı olabileceği için *O-C* verilerine (3.16) eşitliği uygulanmıştır. Bulunan sonuçlar yardımıyla Applegate parametreleri elde edildi ve Çizelge 4.8'de verildi. Applegate parametreleri incelendiğinde, Applegate (1992), tarafından önerilen parametre aralıklarına yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bu durumda, manyetik çevrime ilişkin kanıtların araştırılması önerilebilir. Çünkü sistemin toplam kütlesi (1,34 $M_{\odot}$) dikkate alındığında, olası üçüncü bir cismi (0,11 $M_{\odot}$) belirlemek oldukça zor olacaktır. Öncelikle, daha fazla duyarlı minimum zamanı kullanılarak, *O-C* değişimleri takip edilmeli ve yüksek *S/G* ve çözümleme gücündeki tayflarda üçüncü cisim etkisi (sönük olduğundan doğrudan çizgi görülmesi çok zor olsa da çiftin kütle merkezinin dikine hız değişimleri izlenebilir) aranmalıdır.

Çalışmadaki bir diğer büyük kütle oranlı (q = 0,75) A türü değen sistem TW Cet'in daha önce yapılmış dönem analizi çalışmasına rastlanmamıştır. Yaklaşık 80 yıllık zaman aralığında minimum zaman verisinin kullanı ldığı çözümde, sistemin döneminde -0,13 s/yüzyıl oranında azalma gösterdiği hesaplanmıştır. Azalan dönem için büyük kütleli bileşenin diğer bileşene kütle aktarması önerilmiştir ve bu aktarım miktarı $-2{,}28\text{x}10^{-8}$ $M_{\odot}$/yıl olarak hesaplanmıştır. *O-C* dağılımında etkisini çevrimsel değişim olarak gösteren durum için olası üçüncü cisim önerilmiştir. *LITE* terimi uygulanan çözümde olası üçüncü cisme ait kütle ve yörünge öğeleri hesaplanmış ve tez çalışmasının 4. bölümünde verilmiştir. Çizelge 5.2'de çalışılan sistemlerin bazı parametreleri ve dönem analizi sonuçları verilmiştir (XY Boo için olası 4. cisim dönemi de yer almaktadır). TW Cet'in tayf türü G5 olup birinci bileşeni soğuk ve dış kısımlar konvektif zarfa sahiptir. Fakat manyetik etkinlik olasılığı, çok uzun dönemli (yaklaşık 67 yıl) değişim olması nedeniyle tartışılmamıştır. Ayrıca üçüncü cisim kütlesi oldukça küçük hesaplanmıştır (yaklaşık 0,05 $M_{\odot}$), dolayısıyla sistemin toplam kütlesi (yaklaşık 1.67 $M_{\odot}$) düşünüldüğünde, eğer varsa böyle bir cismin (olasılıkla kahverengi cüce) belirlenmesi oldukça zor olacaktır.

Tez çalışmasının 2. bölümünde değinildiği üzere, Qian (2001a, b), değen sistemler üzerine yaptığı dönem analizi çalışmalarında, A türü değen sistemlerin döneminin artan değişim gösterdiğini, W türlerinin ise kütle oranına bağlı olarak 0,4'ten düşük değerlerde yörünge dönemlerinde azalma, 0,4'ten büyük olduğu değerlerde dönemlerinde artma gösterdiklerini önermiştir. Dryomova ve Svechnikov (2006), A ve W türü W UMa sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada, yörünge dönemlerindeki değişimleri kütle oranlarına göre incelemişlerdir. Bölüm 2'de belirtildiği üzere, değen çift sistemlerin, A ve W alt türlerinden bağımsız olarak yörünge dönemlerinin farklılıklara sahip olduğunu yorumlamışlardır. Bu çalışmada incelenen farklı alt tür ve farklı kütle oranlı değen çiftler de yörünge dönemlerinde bu sınıflamadan bağımsız değişimler sergilemektedir. HT Vir ve TW Cet kütle oranı ve alt tür olarak benzer özellikler taşımasına rağmen dönem değişimleri farklı yönde bulunmuştur. Aynı şekilde küçük kütle oranlı GM Dra ve XY Boo farklı yönde dönem değişimi göstermektedir. Kütle oranının küçük olduğu çiftlerde değişim oranı, her iki yönde de büyük kütle oranlı olanlara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Küçük kütle oranlı değen çift sistemlerin yörünge dönem değişim oranları Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan alınarak, bu çalışmada *O-C* analizi yapılan küçük kütle oranlı iki sistemle (XY Boo, GM Dra) birlikte, kütle oranına göre dönem değişim oranları (*q*-*dP/dt*), Çizelge 5.2'de listelenmiş ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekil 5.1(a) incelendiğinde, kütle oranıyla yörünge dönem değişimi arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Şekil 5.1(b)'de kütle oranına karşılık dönem değişimi doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiş ve eşitlik (5.1) ile verilmiştir:

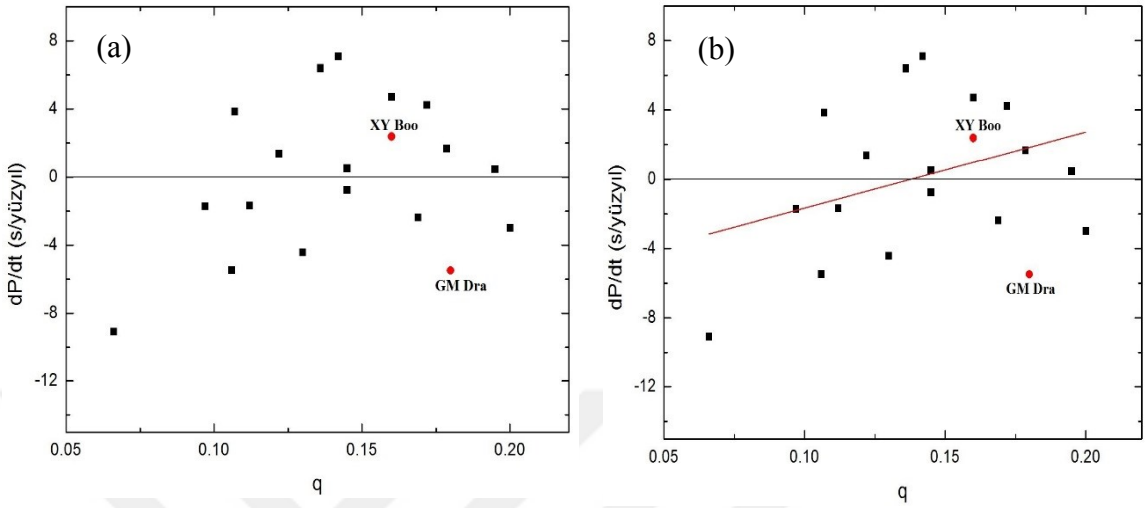
$$dP/dt = 44\ (10) \times q - 6\ (2) \tag{5.1}$$

Çizelge 5.2. Çalışmadaki sistemlerin bazı bilgileri ve dönem analizi sonuçları

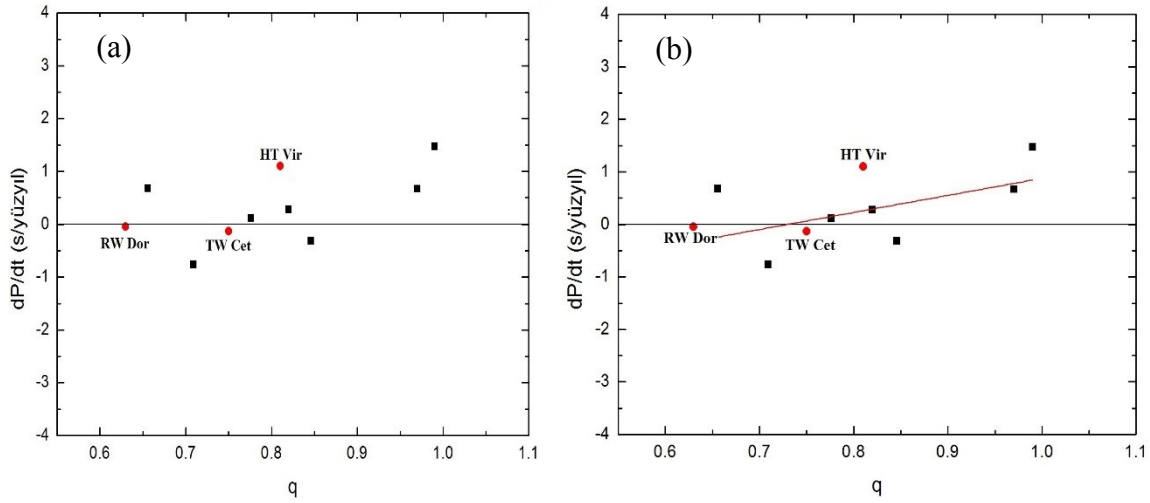
Sistem	A/W	Tayf Türü	*P* (gün)	*q*	*dP/dt* (s/yüzyıl)	*P* (yıl) (çevrimsel)
XY Boo	A	F5	0,3705	0,16	2,38	46(1)-8,8(2)
GM Dra	W	F5V	0,3387	0,18	-5,5	12(3)
HT Vir	A	F8V	0,4077	0,81	1,1	46(2)
RW Dor	W	G4/5V	0,2854	0,63	-0,05	55(2)
TW Cet	A	G5	0,3387	0.75	-0,13	67(8)

Şekil 5.1 incelendiğinde, 10 sistemin dönemi artmakta iken, 9 sistemin dönemi azalmaktadır. Bu yüzden, kütle oranına bağlı olarak, dönemde azalma/artmayla ilgili kesin bir yargıya varmak mümkün olmamakla birlikte kütle oranı 0'dan 0,2'ye doğru gidildikce

yörünge döneminin artma eğiliminde olduğu söylenebilir. Küçük kütle oranlı sistemlerin dönem değişim oranları +8 ile -10 s/yüzyıl aralığında değişim göstermekte ve büyük kütle oranlarına (Şekil 5.2) göre dönem değişim oranları daha büyük değerdedir.



Şekil 5.1. Küçük kütle oranlı CB türü sistemlerin, kütle oranına karşılık yörünge dönem değişim oranları. Siyah kare semboller Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan alınan değen sistemleri, kırmızı daire simgeler ise bu çalışmadaki sistemleri temsil etmektedir



Şekil 5.2. Büyük oranlı CB türü sistemlerin kütle oranına karşılık yörünge dönem değişim oranları, Siyah kare semboller, Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan alınan değen sistemleri, kırmızı daire simgeler ise bu çalışmadaki sistemleri temsil etmektedir

Soydugan ve ark. (2015) kataloğundan, büyük kütle oranlı değen çift sistemlerin yörünge dönem değişim oranları alınmış olup bu çalışmada *O-C* analizi yapılan büyük kütle oranlı üç sistem ile (HT Vir, RW Dor ve TW Cet) birlikte, kütle oranına göre dönem değişim

oranları (*q-dP/dt*) Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2(a)'da, kütle oranıyla yörünge dönem değişimi arasında zayıfta olsa bir ilişki olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Şekil 5.2(b)'de kütle oranına karşılık dönem değişimi doğrusal bir fonksiyon ile temsil edilmiş ve eşitlik (5.2) ile verilmiştir:

$$dP/dt = 3\ (1) \times q - 2\ (1) \tag{5.2}$$

Şekil 5.2 incelendiğinde, küçük kütle oranlı olanlara göre (Şekil 5.1) daha küçük aralıklarda (-1 ile +2 s/yüzyıl) dönem değişimi olduğu görülmektedir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 incelendiğinde, büyük kütle oranlı değen sistemlerde dönem değişim aralıkları, küçük kütle oranlı olanlara göre daha dar bir aralıkta olduğu görülmektedir. Bu kapsamda, sistemdeki bileşenlerin kütleleri birbirine yaklaştıkça dönem değişim oranları daha küçük değerlerdedir. Bileşenlerin kütleleri arasındaki fark arttıkça, dönem değişim oranları büyümektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, küçük kütle oranlı iki ve büyük kütle oranlı üç sistem olmak üzere toplam beş değen çift sistemin yörünge dönem analizleri yapılmıştır. Ayrıca küçük kütle oranlı XY Boo sisteminin ışık eğrisi analizi yapılarak sistemin temel fiziksel parametreleri yeniden belirlenmiştir. Bu bağlamda hem veri hem de sonuçlar açısından literatüre katkı yapılabilecek çıktılar üretilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda, özellikle sinüs benzeri *O-C* değişimi gösteren sistemler için olası üçüncü cisim ve dış katmanları konvektif bileşenlere sahip olanların ayrıca manyetik çevrim olasılıkları araştırılmalıdır. Bu kapsamda, çevrimsel değişim gösteren sistemlerin öncelikli olarak manyetik çevrimlerine kanıtlar verebilecek gözlemler yapılmalıdır. Bu gözlemler, moröte ve X-ışın bölgelerinde kromosferik akvite göstergeleri üzerine olabilir. Büyük genlikli ve çevrimselin dışında, dönemli *O-C* dönem değişimi gösteren CB'ler için de, astrometrik ve tayf gözlemleri yapılarak, ışık eğrilerinde etkileri görülemeyen küçük kütleli ek cisimlerin varlığına ilişkin kanıtlar sunabilecek çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

Adams W.S., Joy A.H., 1919. The Orbits of Three Spectroscopic Binaries. Astrophysical Journal, 49: 186-195.

Aitken R.G., Doolittle E., 1932. New General Catalogue of Double Stars within 120° of the North Pole. Washington, D.C., Carnegie institution of Washington, 417.

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

Arbutina B., 2007. The Minimum Mass Ratio of W UMa-Type Binary Systems. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 377: 1635-1637.

Archer S., 1959. The Photometric Elements and Absolute Physical Properties of TW Ceti. The Astrophysical Journal, 130: 774.

Awadalla, N.S., Yamasaki A., 1984. A Photometric Study of Contact Binary XY Boo. Astrophysics and Space Science, 107: 347-356.

Baize P., 1972. Mesures d'étoiles Doubles Faites à l'équatorial de 38 CM de l'Observatoire de Paris. Astronomy and Astrophysics Supplement, 6: 147.

Beaky M., 2014. Eclipsing Binary Stars as Astrophysical Laboratories. Bookend Seminar, January 22, 2014, from https://www.juniata.edu/offices/juniata-voices/media/bleaky-eclipsing.pdf.

Bensch K., Dimitrov W., Zywucka N., Fagas M., Kaminski K., Przybyszewska A., Maliczak M., Kurzawa K., Kruszewski A., Kowalczyk T., Borczyk W., Bakowska K., Bartczak P., Kwiatkowski T., Schwarzenberg C.A., 2014. Information Bulletin on Variable Stars, 6121: 1.

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

Binnendijk L., 1971. The Light Variations of XY Bootis and LS Her. Astronomical Journal, 76: 923-929.

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 (2): 497-517.

Bradstreet D.H., 2005. Fundamentals of Solving Eclipsing Binary Light Curves Using Binary Maker 3. The Society for Astronomical Sciences, 2005: 23.

Cannon A.J., 1921. Stars Having Peculiar Spectra. 16 New Variable Stars. Harvard Circ., 224: 1.

Çiçek C., Demircan O., Erdem A., Özdemir S., Bulut I., Soydugan E., Soydugan F., Keskin V., 2001. The First Ground-Based Photometric Observations of GM Draconis. Information Bulletin on Variable Stars, 5144: 1.

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

Cox A.N., Pilachowski C.A., 2000. Allen's Astrophysical Quantities. Physics Today, 53: 77-78.

Derman E., Demircan O., Akalın A., 1993. UBV Photometry of BX Andromedae. Astrophysics and Space Science, 205 (2): 327-341.

Dryomova G N., Svechnikov M.A., 2006. Variation in the Orbital Period of W UMa-Type Contact Systems. Astrophysics, 49 (3): 358-369.

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

Eggen O.J., 1967. Contact Binaries, II. Memoirs of the Royal Astronomical Society, 70: 111.

Eggleton P.P., 1983. Approximations to the Radii of Roche Lobes. Astrophysical Journal, 268: 368-369.

Elkhateeb M.M., Nouh M.I., Elkholy E., Korany B., 2014. An Extensive Photometric Investigation of the W UMa System DK Cyg. Journal of Astrophysics, eprint arXiv: 1406-1652.

Fabricius C., Makarov V.V., 2000. Two-Colour Photometry for 9473 Components of Close Hipparcos Double and Multiple Stars. Astronomy and Astrophysics, 356: 141-145.

Gaia iş birliği, Brown ve ark., 2018. Gaia Data Release 2. Summary of the Contents and Survey Properties, 616: 1-22.

Gazeas K.D., Niarchos P.G., 2006. Masses and Angular Momenta of Contact Binary Stars. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society Letters, 370: 29-32.

Gazeas K.D., Baran A., Niarchos P., Zola S., Kreiner J.M., Ogloza W., Rucinski S.M., Zakrzewski B., Siwak M., Pigulski A., Drozdz M., 2005. Physical Parameters of Components in Close Binary Systems: IV. Acta Astronomica, 55: 123-140.

Genet R.M., Smith T.C., Terrell D., Doyle L., 2005. Changes in the Light Curves of Short-Period W Ursae Majoris Binaries: Program Summary. The Journal of the American Association of Variable Star Observers, 34: 54-60.

Guinan E.F., Bradstreet D.H., 1998. Kinematic Clues to the Origin and Evolution of Low Mass Contact Binaries. NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C, 241: 345.

Heintz W.D., 1963. Bahnen von dreissig visuellen Doppelsternen. Veroeff. Munchen, 5: 247.

Herschel W., 1802. Observations on the Two Lately Discovered Celestial Bodies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 92: 232.

Hertzsprung E., 1925. A Variable Star of the W Ursae Majoris Type in the Great Magellanic Cloud. Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, 2: 218.

Hertzsprung E., 1928. Notes on Eclipsing Variable Stars Estimated on Harvard Plates (Errata: 4 V). Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands, 4: 153.

Hilditch R.W., Hill G., Bell S.A., 1992. Radial Velocities of the Contact Binary System RW Doradus. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 255: 285-288.

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.

Hoffmeister C., 1933. 115 neue Veränderliche. Astronomische Nachrichten, 247: 281-288.

Hoffmeister C., 1935. 162 neue Veränderliche. Astronomische Nachrichten, 255: 401-412.

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

Kallrath J., Milone E., 1998. Eclipsing Binary Stars: Modelling and Analysis (Springer-Verlag New York, 1999)

Kaluzny J., Caillault J.P., 1989. Photometric Study and Analysis of a Contact Binary RW DOR. Acta Astronomica, 39: 27-34.

Kopal Z., 1955. The Classification of Close Binary Systems. Annales d'Astrophysique, 18: 379.

Kopal Z., 1959. Semi-detached Binaries and Stellar Evolution. Astronomical Society of the Pacific Leaflets, 8 (361): 81.

Kopal, Z., 1978. Dynamics of Close Binary Systems. Astrophysics and Space Science Library, 68: 524.

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

Kruszewski A., 1966. Exchange of Matter and Period Changes in Close Binary Systems. Advances in Astronomy and Astrophysics, 4: 233-299

Kuiper G.P., 1941. On the Interpretation of β Lyrae and Other Close Binaries. Astrophysical Journal, 93: 133.

Kwee K.K., van Woerden 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.

Lacy C.H., 1987. Properties of the Main-Sequence Eclipsing Binary KP Aquilae. Astronomical Journal, 94: 1673-1674.

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

Lanza A.F., Rodono M., 2002. Asteroseismic Tests for Models of Magnetically Active Close Binaries with Orbital Period Modulation. Astronomy and Astrophysics, 390: 167-172.

Lanza A.F., 2006. Internal Stellar Rotation and Orbital Period Modulation in Close Binary Systems. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 369.

Leavitt H.S., 1908. Ten Variable Stars of the Algol Type. Annals of Harvard College Observatory, 60: 109-146.

Lee J.W., Hong K., Koo J.R., Park J.H., 2016. The Varying Light Curve and Timings of the Ultrashort-period Contact Binary KIC 9532219. The Astrophysical Journal, 820 (1): 1-10.

Leung K.C., Wilson R.E., 1977. The Early-Type Contact System V1010 Ophiuchi. Astrophysical Journal, 211: 853-858.

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.

Li L., Zhang F., Han Z., Jiang D., 2007. Formation and Evolution of W Ursae Majoris Contact Binaries. The Astrophysical Journal, 662 (1): 596-601.

Li L., Zhang F., Han Z., Jiang D., Jiang T., 2008. The Evolutionary Status of W Ursae Majoris-Type Systems. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 387 (1): 97-104.

Liu L., Qian S.B., Xiong X., 2018. A New Mechanism of Long-Term Period Variations for W UMa-Type Contact Binaries. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 474 (4): 5199-5205.

Lu W., Rucinski S.M., OgŁłoza W., 2001. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. IV. The Astronomical Journal, 122 (1): 402-412.

Lucy L.B., 1968b. The Light Curves of W Ursae Majoris Stars. Astrophysical Journal, 153: 877.

Lucy L.B., 1968a. The Structure of Contact Binaries. Astrophysical Journal, 151: 1123.

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

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

Maceroni C., Vilhu O., van't Veer F., van Hamme W., 1994. Surface Imaging of Late-Type Contact Binaries I: AE Phoenicis and YY Eridani. Astronomy and Astrophysics, 288: 529-537.

Mardirossian F., Mezzetti M., Cester B., Giuricin G., Russo G., 1980. Revised Photometric Elements of Posible Sd-D Systems. Astronomy and Astrophysics Supplement, 39: 235.

Marino B.F., Walker W.S.G., Bembrick C., Budding E., 2007. Observation and Analysis of RW Doradus. Publications of the Astronomical Society of Australia, 24 (4): 199-207.

Marton S.F., Grieco A., Sistero R.F., 1989. RW Doradus: A Photometric Study. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 240 (4): 931-940.

Mayer P., 1990. Eclipsing Binaries with Light-Time Effect. Astronomical Institutes of Czechoslovakia, Bulletin, 41 (4): 231-236.

McLean B.J., Hilditcht R.W., 1983. Radial Velocities for Contact Binaries - II. TZ Boo, XY Boo, TX Cnc, RZ Com, CC Com and Y Sex. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 203: 1-8.

Mochnacki S.W., 1985. Spectrophotometry of Contact Binary Stars: Comparison with the Praesepe Main Sequence. Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 79 (5): 242.

Mochnacki S.W., 1985. Observational Evidence for the Evolution of Contact Binary Stars. Proceedings of the Advanced Study Institute, Cambridge, England. Dordrecht D. Reidel Publishing, 1985: 51-52.

Molik P., Wolf M., 1988. XY Bootis - a W UMa-Star with Extreme Rate of Period Change. Information Bulletin on Variable Stars, 4640: 1.

Müller G., Kempf P., 1903. A New Variable Star Unusually Short Period. The Astrophysical Journal, 17: 201-211.

Novak G., 2018. Binary Star Systems. Retrieved May 15, 2019, from http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2017_2018/BINARY_STAR_SYSTEMS.pdf.

Ogloza W., Zakrzewski B., 2004. Minima of Eclipsing Binaries in the ASAS-2 Database. Information Bulletin on Variable Stars, 5507: 1

Paschke A., Brat L., 2006. *O-C* Gateway, a Collection of Minima Timings. Open European Journal on Veriable Stars, 23.

Pribulla T., Rucinski S.M., 2006. Contact Binaries with Additional Components. I. The Extant Data. The Astronomical Journal, 131 (6): 2986-3007.

Qian S., 2001a. 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., 2001b. 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., Yang Y., Zhu L., He J., Yuan J., 2006. Photometric Studies of Twelve Deep, Low-mass Ratio Overcontact Binary Systems. Astrophysics and Space Science, 304 (1-4): 25-28.

Rasio F.A., 1995. The Minimum Mass Ratio of W Ursae Majoris Binaries. Astrophysical Journal, 444: 41-43.

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

Rucinski S.M., 1993. Contact Binaries of the W UMa Type. Astrophysics and Space Science Library, 177: 111.

Rucinski S.M., 2006. Luminosity Function of Contact Binaries Based on The All Sky Automated Survey (ASAS). Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 368 (3): 1319-1322.

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

Rucinski S.M., Capobianco C.C., Lu W., DeBond H., Thomson J.R., Mochnacki S.W., Rogoziecki P., 2003. Radial Velocity Studies of Close Binary Stars. VIII. The Astronomical Journal, 125 (6): 3258-3264.

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. The Astronomical Journal, 124 (3): 1738-1745.

Russell H.N., Merrill J.E., 1952. The Determination of the Elements of Eclipsing Binaries. Contributions from the Princeton University Observatory, Princeton.

Russo G., Vittone A.A., Milano L., 1984. Differential UBV Photometry of the Short-Period Eclipsing Binaries RW Dor, EZ Hya and V701 CEN. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 57: 69-73.

Sarotsakulchai T., Qian S.-B., Soonthornthum B., Fernández Lajús E., Liu N.-P., Zhou X., Poshyachinda S., 2019. RW Doradus: A Solar-Type Shallow Contact Binary with a New Orbital Period İnvestigation. Publications of the Astronomical Society of Japan, 71 (2): 34.

Selam S.O., 2004. Key Parameters of W UMa-Type Contact Binaries Discovered by HIPPARCOS. Astronomy and Astrophysics, 416: 1097-1105.

Schilt J., 1926. Two New Variables Stars of the Type of W Ursae Majoris. The Astrophysical Journal, 64: 215-224.

Shapley H., 1948. The Relative Frequency of Low Luminosity Eclipsing Binaries. The Gaseous Envelope of the Earth. Cambridge, MA: Harvard Observatory, 1948: 249.

Shengbang, Q., Yuangui Y., Liying Z., Jiajia H., Jingzhao Y., 2006. Photometric Studies of Twelve Deep, Low-mass Ratio Overcontact Binary Systems. Astrophysics and Space Science, 304 (1–4): 25-28.

Shengbang Q., Yuangui Y., Liying Z., Jiajia H., Jingzhao Y., 2006. Photometric Studies of Twelve Deep, Low-mass Ratio Overcontact Binary Systems. Astrophysics and Space Science, 304 (1-4): 25-28.

Singh M., Chaubey U.S., 1986. Mass Loss from Wolf-Rayet Stars. Astrophysics and Space Science, 124 (2): 389-396.

Skelton P.L, Smits D.P., 2009. Research Articles Modelling of W UMa-Type Variable Stars. South African Journal of Science, 105.

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

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

Tesevich V.P., 1950. Astron. Circ. Kazan, 100: 18.

Tesevich V.P., 1954. Odessa Izy., 4: 137.

Tylenda, R., Hajduk, M., Kaminski, T. ve ark., 2011. V1309 Scorpii: Merger of a Contact Binary. Astronomy and Astrophysics, 528: 114.

van Hamme W., 1982. On the Evolutionary State of the W Ursae Majoris Contact Binaries. Astronomy and Astrophysics, 105 (2): 389-394.

van't Veer F., 1996. The Lifetime of Late Type Contact Binaries. Astronomical Society of the Pacific (ASP), 508.

Walker R.L., Chambliss C.R., 1985. AW Uma Variable in the Visual Binary System ADS 9019 - A UBV Photoelectric İnvestigation. Astronomical Journal, 90: 346-353.

Walker R.L., 1984. The Discovery of a W Ursae Majoris Variable in the Visual Binary System ADS 9019. Information Bulletin on Variable Stars, 2486: 1.

Whelan J., Mochnacki S.W., Worden S.P., 1974. W Ursae Majoris: Mass-Ratio Discrepancy, Third Body and Age. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 168: 31-40.

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

Wilson R.E., 1979. Eccentric Orbit Generalization and Simultaneous Solution of Binary Star Light and Velocity Curves. The Astrophysical Journal, 234: 1054-1066.

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

Wilson R.E., Devinney E.J., 1973. Fundamental Data for Contact Binaries : RZ Com, RZ Tau and AW UMa. Astrophysical Journal, 182: 539-547.

Wilson R.E., Sofia S., 1976. Effects of Tidal Distortion on Binary-Star Velocity Curves and Ellipsoidal Variation. The Astrophysical Journal, 203: 182-186.

Wilson, R. E., 2001. Binary Star Morphology and the Name Overcontact. Information Bulletin on Variable Stars, 5076: 1.

Wilson R.E., de Luccia M., Johnston K., Mango S.A., 1972. Photometry and Differential Corrections Analysis of Algol. Astrophysical Journal, 177: 191.

Wilson R.E., Biermann P., 1976. TX CANCRI - Which Component is Hotter. Astronomy and Astrophysics, 48 (3): 349-357.

Wilson R.E., van Hamme W., 2004. Computing Binary Star Observables. Revision of November, 2007, from https://ebmodels.physics.muni.cz/ebdoc2007.pdf.

Winkler L., 1977. Analysis of Yellow And Blue Observations of XY Boo. Astronomical Journal, 82: 648-652.

Wissing R., (2016). Common Envelope Evolution. Degree project of 15 higher education credits, Lund Observatory, Sweden, from https://lup.lub.lu.se/student-papers/search/publication/8776803.

Wood D.B., 1969. A Frontal Attack on Eclipsing Binaries. Bulletin of the American Astronomical Society, 1: 267.

Yang Y.G., Qian S.B., Zhu L.Y., 2005. Deep, Low Mass Ratio Overcontact Binary Systems. IV. V410 Aurigae and XY Bootis. The Astronomical Journal, 130 (5): 2252-2261.

Yang Y.G., Qian S.B., Zhang L.Y., Dai H.F., Soonthornthum B., 2013. Deep, Low Mass Ratio Overcontact Binary Systems. XIII. DZ Piscium with Intrinsic Light Variability. The Astronomical Journal, 146 (2): 35-6.

Yang Y.G., Wei J.Y., Li H.L., 2010. The Absolute Properties and Evolutionary State for the Shortest Period Field Contact Binary GSC 1387-0475. New Astronomy, 15 (1): 155-158.

Yıldız M., 2014. Origin of W UMa-type Contact Binaries - Age and Orbital Evolution. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 437 (1): 185-194.

Zessewitch V.P., 1944. Astrophysical Journal, 166: 606.

Zasche P., Wolf M., 2007. Combining astrometry with the light-time effect: The case of VW Cep, ζ Phe and HT Vir. Astronomische Nachrichten, 328 (9): 928.

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.