

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

BAZI DEĞMEYE YAKIN ÖRTEN
ÇİFT SİSTEMLERDE YÖRÜNGE
DÖNEM DEĞİŞİMLERİ

Neslihan TANRIÖVER

Fizik Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: 26.04.2010

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Esin SOYDUGAN

ÇANAKKALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Neslihan TANRIÖVER tarafından Doç.Dr. Esin SOYDUGAN yönetiminde hazırlanan ‘BAZI DEĞMEYE YAKIN ÖRTEN ÇİFT SİSTEMLERDE YÖRÜNGE DÖNEM DEĞİŞİMLERİ’ başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Caner ÇİÇEK

Yönetici

Doç. Dr. Esin SOYDUGAN

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Çetin CAMCI

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 26/04/2010

Prof. Dr. Ahmet ERDEM

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

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.

Neslihan TANRIÖVER

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, baőta bana her yönden destek olan değerli hocalarım, Doç. Dr. Esin SOYDUGAN ve Doç. Dr. Faruk SOYDUGAN'a emeklerinden ve sabırlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen canım ablam Ebru KARACA'ya ve bilgisayar konusunda destek aldığım Selçuk IŞIK ve Tunç ŐENYÜZ'e desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Neslihan TANRIÖVER

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

M: Toplam Kütle

M₁: Birincil Yıldızın Kütlesi

M₂: İkincil Yıldızın Kütlesi

a : Yarı Büyük Eksen Uzunluğu

ω: Açısal Hız

G: Evrensel Çekim Sabiti

P: Çift Yıldız Sisteminin Dönemi

i: Yörünge Eğikliği

Δm: O'Connell etkisi

m: Parlaklığı,

m_{I, II} : Birinci ve İkinci Minimumları takip eden Maksimumları

Φ: Yıldızlardan birinin sahip olabileceği Eş Potansiyel Yüzeyi

r_{1,2}: İlgili Kütlelerin, Merkez Noktasına olan Uzaklığı

r₃: Çiftin dönme eksenine olan uzaklığı

R_L: Roche Lobunun Ortalama Yarıçapı

q: Kütle Oranı

∇P: Basıncın Gradyenti

ρ: Yoğunluk

T: Sıcaklık

κ: Donukluk Sabiti

σ: Stefan-Boltzmann Sabiti

F: Işınım Akısı

Ω_{1,2}: Roche Potansiyelleri

T: Gözlenecek veya hesaplanacak Minimum Zamanı (Güneş merkezine indirgenmiş Julian Günü biriminde)

T₀: Fotometrik gözlemlerden elde edilen, başlangıç olarak seçilen minimum zamanı

E: Çevrim Sayısı (T₀'dan itibaren Dönem (Çevrim) Sayısı)

O: Gözlenecek Minimum Zamanı

C: Hesaplanan Minimum Zamanı

Δ t: Irwin (1959) tarafından verilen Işık-Zaman denklemi

c: Işık Hızı

e: Üçüncü Cismin Yörünge Basıklığı

v: Gerçel Ayrıklık

ω: Yörünge Enberi Boylamı

Ṗ: Yörünge Dönem Değişim Miktarı

P_i: Başlangıç Yörünge Dönemi

m_{1,2}: Sırasıyla Birinci ve İkinci Bileşenlerin kütleleri

m₁̇: Birinci Bileşenin Aktardığı Kütle Miktarını

L_{1,2}: Bileşenlerin Kesirsel Işınım Güçleri (ışıtmaları)

R_☉: Güneş Yarıçapı

M_☉: Güneş Kütlesi

d (pc): Parsec cinsinden Uzaklık

f: Taşma Parametresi

L₁^P: Birinci Lagrange Noktası

L₂^P: İkinci Lagrange Noktası

R_{1,2}: Birinci ve İkinci Bileşen Yıldızların Yarıçapları

V_{mak}: Maksimum Parlaklık

ÖZET

BAZI DEĞMEYE YAKIN ÖRTEN ÇİFT SİSTEMLERDE YÖRÜNGE DÖNEM DEĞİŞİMLERİ

Neslihan TANRIÖVER

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç.Dr. Esin SOYDUGAN

26/04/2010, 57

Bu tez çalışmasında, öncelikle Örtten Çift yıldızların temel özellikleri, Roche geometrisi ve Örtten Çift yıldızlarda dönem değişimi türleri O-C yöntemini de kapsayacak şekilde özetlendi. Tezin hedef cisimleri olan değmeye yakın çift sistemlerin genel özellikleri verilerek temel düzlemler üzerinde mutlak parametrelerin dağılımına bakıldı. Bunun yanında, değmeye yakın çift sistemlerde yörünge dönem değişimleri ve onların genel karakteri üzerinde duruldu.

Bu çalışmada, farklı evrim aşamasında bulunan dört Değmeye Yakın Örtten Çift Sistem BX And, ST Aqr, V388 Cyg ve V456 Cyg 'nin yörünge dönem değişimleri incelendi. BX And sisteminin yaklaşık 68 yıl dönemli O-C değişimi, sistemde olası bir üçüncü cisim varlığı ile açıklandı. İlk kez bu çalışmada yörünge dönem analizi yapılan ST Aqr 'nin ise yörünge döneminde 2,6 s/yüzyıl oranında azaldığı ve bunun soğuk bileşenin olası manyetik etkinliğinin sonucu olabileceği önerildi. Başka bir değmeye yakın çift sistem V388 Cyg'nin de yörünge döneminde ise 3,4 s/yüzyıl oranında azalma olduğu hesaplandı. Bu azalmanın kaynağının da Roche lobunu dolduran birinci bileşenden ikinci bileşene doğru kütle aktarımı olabileceği düşünüldü. Son aday değmeye yakın çift sistem V456 Cyg 'nin O-C analizi sonucu, yörünge döneminin 0,9 s/yüzyıl oranında arttığı belirlendi.

Anahtar sözcükler: Örtten çift yıldızlar, değmeye yakın çift yıldızlar, çift yıldızlarda yörünge dönem değişimleri.

ABSTRACT

THE ORBITAL PERIOD CHANGES IN SOME NEAR CONTACT ECLIPSING BINARIES SYSTEMS

Neslihan TANRIÖVER

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Chair for Physic Thesis of Master of Science

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Esin SOYDUGAN

26/04/2010, 57

In this thesis, firstly the main features of eclipsing binaries, Roche Geometry and the Orbital Period Variations in these systems including O-C method were given. The general information for near contact binaries (NCBs), which are the target objects for this study were briefed. And also, the distribution of the absolute parameters of NBCs was examined. The orbital period variations of NCBs and their general character are examined.

In this study, the orbital period variations of four NCBs, BX And, ST Aqr, V388 Cyg and V456 Cyg, which are different evolutionary stages, are investigated. It was found that the O-C variation of BX And has a cyclic character with a period of about 68 years. It can be explained with probable third body in this systems. The orbital period variation of ST Aqr is studied for the first time and it was proposed that the orbital period of systems is decreasing with a rate of 2,6 sec/century. The magnetic activity of cooler component of system can be responsible for the decreasing orbital period of ST Aqr. The O-C diagram of V388 Cyg indicates downward parabola. This means that orbital period of system is also decreasing with a rate of 3,4 sec/century. The mass transfer from the primary component to secondary one is suggested for the reason of the decreasing orbital period of V388 Cyg. The O-C analyze of V456 Cyg indicates that its orbital period is increasing with a rate of 0,9 sec/century.

Keywords: Eclipsing binary stars, Near Contact Binaries, Orbital Period Changes in Eclipsing Binary Stars.

İÇERİK	Sayfa
TEZ SINAV SONUÇ BELGESİ.....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
BÖLÜM 1- GİRİŞ.....	1
1.1 Çift Sistemler Neden Önemlidir?.....	2
1.2. Örten Değişen Çift Yıldızlar ve Türleri.....	3
1.2.1 Algoller.....	4
1.2.2 β Lyrae.....	6
1.2.3 W Uma.....	7
BÖLÜM 2- ROCHE GEOMETRİSİ.....	9
2.1 Roche Geometrisi ve von Zeipel Teoremi.....	9
2.2 Örten Çiftlerin Roche Loblarına Göre Sınıflandırılmaları.....	12
BÖLÜM 3- DÖNEM DEĞİŞİMLERİ.....	16
3.1 Dönem Değişimi	16
3.1.1 O-C Yöntemi.....	16
3.2 Örten Çiftlerin Dönem Değişimlerinin Nedenleri.....	18
3.2.1 Görünürdeki Dönem Değişimleri.....	18
3.2.1.i Eksen Dönmesi.....	18
3.2.1.ii Üçüncü cisim etkisi.....	19
3.2.2 Gerçek Dönem değişimleri.....	21
3.2.2.i Manyetik etkinlik.....	21
3.2.2.ii Kütle aktarımı.....	22
3.2.2.iii Kütle ve açısal momentum kaybı.....	23
3.3 Değmeye Yakın Sistemler.....	24
3.4 Değmeye Yakın Sistemlerde Yörünge Dönem Değişimleri.....	30
BÖLÜM 4- ÖRNEK UYGULAMA.....	35
4.1 BX And.....	36
4.1.1 Yörünge Dönemi Analizi.....	37

4.2 ST Aqr.....	39
4.2.1 Yörünge Dönemi Analizi.....	40
4.3 V388 Cyg.....	42
4.3.1 Yörünge Dönem Analizi.....	43
4.4 V456 Cyg.....	45
4.4.1 Yörünge Dönem Analizi.....	45
BÖLÜM 5- SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR.....	52
Çizelgeler.....	I
Şekiller.....	II
Özgeçmiş.....	IV

BÖLÜM 1**GİRİŞ**

Değişen yıldızlar, astrofiziksel anlamda doğal bir laboratuvar görevi görmektedir. Evrende, Dünya üzerinde göremeyeceğimiz veya oluşturulması mümkün görünmeyen çok farklı fiziksel süreçler gerçekleşmektedir. Gözlediğimiz ve çözmeye çalıştığımız bu önemli olayların çok büyük bir bölümü yıldızlar ve onların çevrelerinde ortaya çıkmaktadır. Astrofizikte yapılan araştırmalar, yıldızların en az %50'sinin çift yıldız sistemleri olduğunu ortaya koymaktadır. Yıldızların kütle ve yarıçaplarını en duyarlı olarak bulabildiğimiz yöntem de, çift yıldızların bir türü olan örten çift yıldızların ışıkölçüm ve tayf gözlemlerinin analizlerine dayanır. Bu durumda, çift ve/veya çoklu yıldız sistemlerinin incelenmesi astrofizikte büyük önem taşımaktadır

Çift yıldızlar, çekim yasaları ile birbirlerinin ortak kütle merkezi etrafında Kepler yasalarına göre dolanan yıldız sistemleridir. Çift yıldız sistemleri içinde özellikle, yörünge hareketi sırasında örtme örtülme gösteren sistemler olan örten çift sistemler üzerine çalışmalarda önemli sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu sistemleri oluşturan yıldızların, kütle ve yarıçapları şu andaki gözlemlerle yaklaşık %1-2 duyarlılıkla bulunabilmektedir. Bulunan değerlere bağlı olarak sıcaklık, toplam enerji, uzaklık gibi parametreler de duyarlı olarak hesaplanabilmektedir.

Çift yıldız araştırmalarında en kolay ve duyarlı bulunabilen parametrelerden biri de yörünge dönemidir. Özellikle, örten çift yıldız sistemlerinde belirlenen minimum zamanlarını kullanarak, yörünge dönemi kolayca hesaplanabilir. Önemli oranda çift yıldızın dönemlerinin, zamana göre izlendiğinde, değişim gösterdikleri belirlenmiştir. Çift sistemin, gerçek anlamda döneminde bir değişim görülüyorsa, bunu O-C değişimlerinden belirleyebiliriz. Burada O-C, gözlenen minimum zamanı ile hesaplanan minimum zamanı arasındaki farka karşılık gelmektedir. O-C değişimini zaman göre incelemek bir anlamda, yörünge dönem değişiminin araştırılmasına karşılık gelmektedir. Bu değişimlerin nedenlerine bakıldığında ise farklı süreçler karşımıza çıkmaktadır. Kütle aktarımı/kaybı, üçüncü cisim etkisi, manyetik etkinlik, eksen dönmesi bunlardan bazılarıdır.

Çift yıldızlarda sınıflama, Roche geometrisine göre yapılabilir: Bu yapısal sınıflamada, ayrık, yarı-ayrık ve degen çiftler bulunmakta olup, son yıllardaki araştırmalarda bu sınıflamaya, aşırı-degen ve değmeye yakın sistemler de eklenmiştir. Evrim durumları ve içerdikleri fiziksel süreçler bakımında bu son iki sınıf oldukça ilgi çekmektedir.

Bu tez çalışmasında, ilk olarak, çift yıldızların önemi, örten değişen yıldızlar ve türleri, ikinci bölümde; Roche geometrisi ve bu geometriye göre çift sistemlerin sınıflandırılması, üçüncü bölümde; çift sistemlerde görülen olası dönem değişimleri ve nedenleri, dördüncü bölümde değmeye yakın dört sistem olan BX And, ST Aqr, V456 Cyg'nin ve V388 Cyg'nin dönem analizleri, son bölümde ise elde edilen sonuçlar ve tartışma yer almaktadır.

1.1 Çift Sistemler Neden Önemlidir?

Çift sistemlerin önemi ilk olarak onların tüm yıldızlar içerisinde önemli bir oranda bulunmalarından kaynaklanır. Gözlenen oran yaklaşık olarak %20 olsa da bu oranın daha da yüksek (%50 gibi) olduğu tahmin edilmektedir (Kallrath ve Milone, 2009). Bunun nedeni olarak henüz belirlenmemiş çok sayıda çiftin olması ve gelişen teknoloji ve artan gözlem duyarlılığı ile çift yıldız sistemlerin oranının her geçen gün artması gösterilebilir.

Çift yıldız araştırmalarının önemli olmasının ikinci sebebi ise, yıldızların temel mutlak parametreleri olarak adlandırılan kütle ve yarıçap parametrelerinin en duyarlı belirlenebildiği kaynaklar olmasıdır. Örneğin, astronomik cisimlerin kütlelerinin doğrudan belirlenmesi, en az iki cisim arasındaki ölçülebilir çekimsel etkileşimi olası kılar (Galaksi-galaksi, yıldız-yıldız, yıldız-gezegen ve yıldız-uydu gibi...).

Galaksi-galaksi etkileşimlerinde, iki cisim arasındaki uzaklıklar ve ayrılıklar oldukça büyük ise gökyüzündeki düzlem üzerinde hareketin belirlenmesi mümkün değildir. Yıldız-galaksi etkileşimlerinde cisimlerin parlaklıkları arasında oldukça fazla fark bulunmaktadır. Genellikle bu durumlarda sadece yıldızların hareketleri belirlenir.

Yıldız- yıldız etkileşimlerinde, konum ve hızdaki değişimler, yörünge hareketinden kaynaklanır ve bu yıldız açısız ayrılıklarının geniş sınırları içerisinde ve iki bileşen arasındaki parlaklık farkı yaklaşık 5^m kadar olduğunda belirlenebilir. Çift yıldız üzerindeki çalışmalar, iki bileşen arasındaki uzaklıklara, parlaklıklara ve devinimlerine bağlıdır.

Fotometrik ışık eğrilerinin analizi, çift yıldızların boyutlarını ve yörüngelerini kesin olarak veremez. Bir ışık eğrisi analiz edildiğinde, sistemin yörünge eğikliğini ve kütle oranı belirlenirken, bileşen yıldızların ise kesirsel yarıçap ve ışıtmaları bulunabilir. Yörünge eğikliği bilinen bir sistem için ise, dikine hız eğrileriyle, bileşenlerin kütleleri ve yörünge yarı büyük eksen uzunluğu (a) hesaplanabilir. a yarı büyük eksen uzunluğu ve P yörünge dönemi biliniyorsa, kütleler açıkça Kepler yasasından,

$$M = M_1 + M_2 = 4\pi^2 a^3 / GP^2 \quad (1.1)$$

ifadeleri ile bulunabilir.

Örten çiftlerin her iki bileşenin parametrelerinin tamamının kesin olarak belirlenmesi için, hem ışık eğrisi hem de dikine hız eğrisinin bulunması gereklidir. Bu durumda, en duyarlı parametreler, tutulmalı ve tayfta çift çizgi gösteren sistemlerden elde edilir. Verilerin kalitesi yüksekse, bileşenlerin büyüklükleri, kütleleri, ışıtmaları, sıcaklıkları ve sistemin uzaklıkları veya paralaksı duyarlı olarak belirlenebilir. Bütün bu parametreler ışığında yıldızın evrim durumu hakkında bilgi sahibi olabiliriz. Bir yıldızın başlangıç ve takip eden evrim aşamaları, yıldızın kütlesine ve başlangıç kimyasal oluşumuna bağlıdır. Bu yüzden yıldızların yapıları ve yıldızların evrim teorilerini test etmek için başlangıçta duyarlı olarak kütle ve sonra mümkün olan diğer yıldız parametrelerine ihtiyaç duyulur. Gözlemsel veri duyarlılığının her geçen gün artmasına karşın, duyarlı kütle değerleri, özellikle O ve B erken tayf türünden yıldızlar için (Popper, 1980) belirlenememiştir. Bu türden yıldızlar, çok sıcak yıldızlar olup, anakolun üst kısmının anlaşılması için önemlidirler. Bu türe özel bir ilgi vardır. Çünkü bunların, yıldız rüzgarları ile kütle kaybı bulunmaktadır. Bir yıldızın evrimini anlamak için temel olan parametrelerden ikisi, yıldızın yaşı ve bileşimidir. Bu bilgiler özellikle yıldız kümeleri çalışmalarında belirlenmekte olup eğer çift sistem bir yıldız kümesinin üyesi ise, uzaklığından, yaşına, kimyasal bolluğundan evrimine çok önemli parametrelere ulaşmak mümkündür.

1.2 Örten Değişen Çift Yıldızlar ve Türleri

Çift yıldızların sınıflamaları farklı ölçütler kullanılarak yapılmaktadır. Bunların en sık kullanılanlarından biri, çift yıldızları, gözlenme yöntemlerine göre yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamada dört ana tür yer alır: i) görsel çiftler, ii) tayfsal çiftler, iii) örten çiftler ve iv) astrometrik çiftler. Bu çalışmada özellikle örten çift sistemler ve onların ayrı bir sınıfı üzerinde durulacağından bu tür ile ilgili bazı temel bilgiler aşağıda verilmektedir.

Örten değişenler dönemli olarak örtme ve örtülme gösteren çift sistemlerdir. Değişen yıldız gözlemcisi, zamana bağlı akıyı ölçer ve bunun zamana veya yörünge evresine göre değişimine bakar. Biz bunu ışık eğrisi olarak tanımlarız. Örten çiftler, değişen yıldızlar içerisinde önemli bir yere sahiptir. Başka türden değişen yıldızlar olan, patlamalı, zonklayan, kataklismik değişenler için, değişimin nedeni yıldızın kendi içerisinde meydana gelen fiziksel süreçlerden kaynaklanmaktadır. Örten çiftlerin ışık değişimi göstermelerinin nedeni ise, bileşen yıldızların birbirlerini, yörünge eğikliğine

bağlı olarak, örtmeleridir. Sonuç olarak, örten çiftlerde değişimin nedeni fiziksel değil geometriktir. Bir çift yıldız sisteminin örten olabilmesi için onların yörünge düzleminin, gözlemciye uygun bir açı altında olması gerekir.

Bileşenleri ortak bir zarf ile çevrili olan aşırı degen sistemlerde, yörünge eğikliği çok küçük (35°) olabilir (Kallrath ve Milone, 2009). Tutulma küçük yörünge eğikliklerinde de gerçekleşir. Böylesi çiftlerin genellikle yörünge dönemleri kısadır.

Örten çift çalışmaları, ışıkölçüm (ışık eğrisi) ve tayfsal (dikine hız eğrileri) verileri içerir. Işık eğrisi analizinden, yörünge eğikliği, dış merkezlilik, yörünge enberi boylamı, bileşenlerin kesirsel yarıçapları, kütle oranı ve yüzey parlaklıkları belirlenebilir. Çift sistemin bileşenlerine ilişkin dikine hız değişimleri de elde edilmiş ise, bileşenlerin ayrı ayrı kütleleri, yarıçapları, sıcaklıkları, ışıtmaları ve yörünge biçimi tamamen belirlenir (Kallrath ve Milone, 2009).

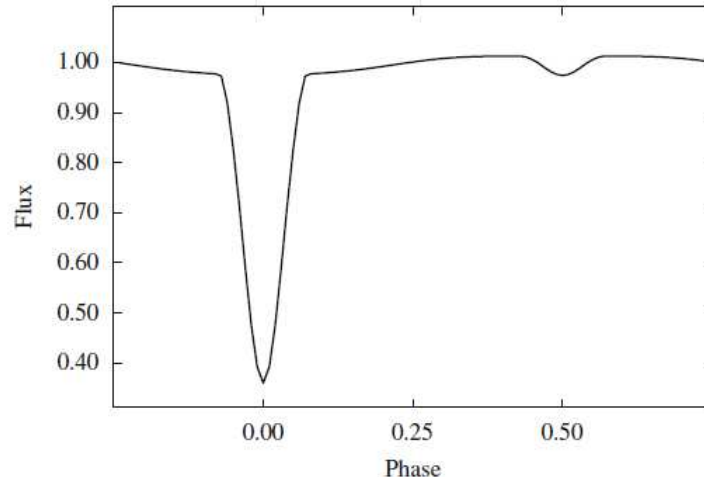
Fotometrik olarak ışık eğrilerinin biçimine göre, örten çiftler üç sınıfa ayrılır: Algoller, β Lyrae ve W UMa sistemleridir.

1.2.1 Algoller

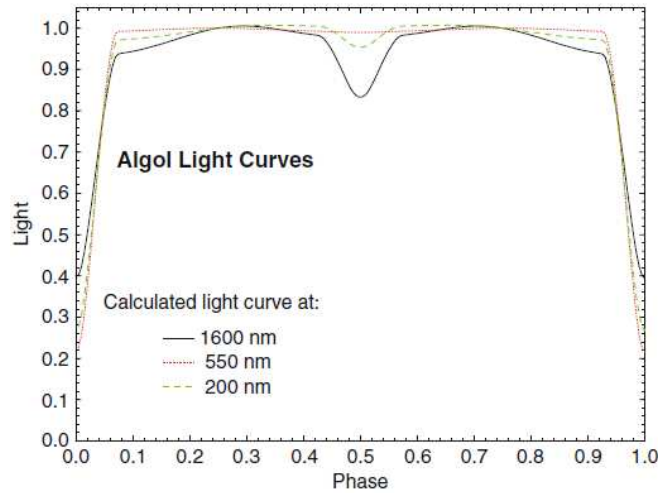
Atası β Persei olan bu sistemler, Algoller (EA) olarak bilinir (Kallrath ve Milone, 2009). Örten çift sistemlerin bir alt sınıfı olan Algollerin ışık eğrileri incelendiğinde, göze çarpan en önemli özellikler, tutulmalar dışında optik bölgede parlaklık değişiminin hemen hemen olmaması, derin birinci minimum ve sığ ikinci minimumdur. Bu tür sistemler bazı kaynaklarda klasik Algoller olarak da isimlendirilir. Algol türü sistemlerin ışık eğrilerinde (bkz. Şekil 1.1) yer alan minimumlar, tüm ışık eğrisinin %15'den daha azını kapsar (Kallrath ve Milone, 2009). Bu türden sistemlerin ışık eğrilerinin maksimumları, hemen hemen düzdür. Bu durumun nedeni bileşenlerin yakınlıklarının az olmasıdır. İki minimum derinlik arasında büyük bir farklılık vardır. Gerçekten de bazı dalga boylarında ikinci minimum belirlenemeyebilir ve ikinci minimumun beklenen evresi yakınlarında bir ışık artışı olabilir ki bu artış, yansıma etkisinden kaynaklanır.

Dönemleri, gün ile hafta arasında değişebilir. Bazı Algoller'in daha uzun dönemli olduğu da söylenmektedir. Bu fikir her zaman doğru olmasa da çoğu zaman doğrudur. Optik bölgede yapılan gözlemlerde, ışık eğrilerinin biçimleri bazen yanıltıcı olabilir. Örneğin; bileşen yıldızların sıcaklıkları farklı ise; iki minimum derinliği farklı olacaktır. Bu durumda, daha sıcak mavi bileşen yıldızın, sisteme yaptığı ışık katkısı daha baskın

olacaktır. İkinci minimumda, yansıma etkisiyle, Min II derinliği azalır. Gerçekte sıcak bileşene (baş yıldız) ait olan ışınım, soğuk bileşenin (yoldaş yıldız) atmosferine düşer ve soğuk bileşenin ışınım alanındaki parlaklığı artırır ki bu en iyi ikinci minimumda görülür. Bazı durumda; optik bölgede ikinci minimum yok denecek kadar sığdır ve yansıma etkisinin Min II çukurunun tam ortasında etkili olmasını bekleriz. Özellikle; yoldaş yıldız daha büyükse, bu etki kaçınılmaz olur. Kızıl ötesi bölgede Algoller, sürekli değişen bir ışık eğrisi ve daha derin bir ikinci minimum gösterirler (bkz. Şekil 1.2). Yoldaş yıldız kızılöte bölgede, baş bileşenin ışığına daha fazla katkıda bulunacak ve ışık eğrisinin biçimi β Lyrae tipi yıldızlarinkine benzeyecektir.



Şekil 1.1. Algol türü bir sistemin V bandında elde edilen sentetik ışık eğrisi ((Kallrath ve Milone, 2009)).



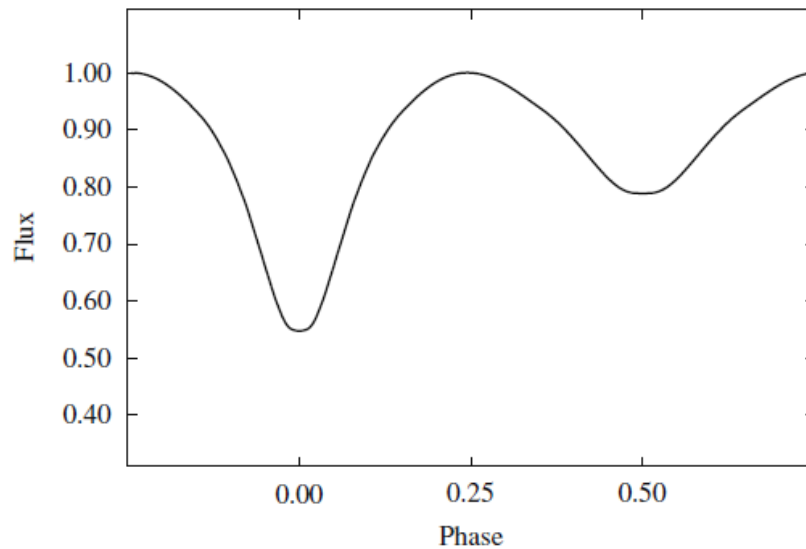
Şekil 1.2. Algollerin U, V ve kızılöte bölgedeki ışık eğrileri (Terrell ve ark.,1992; Kim, 1989).

Daha kırmızı ve soğuk bileşen (yoldaş yıldız), baş bileşenden evrim bakımından daha ileridedir. Roche lobunu doldurmuş ve baş bileşene doğru madde aktarma evresinde olabilir. Bu durum Algollerde çok sık görülmektedir. Yalnız, ışık eğrileri Algollere benzeyen bütün sistemlerde bu durum olmayabilir.

1.2.2 β Lyrae

Ata yıldız β Lyr bu sınıfa kendi ismini verir. Işık eğrisi, sürekli olarak değişim gösterir. Minimumlar, ışık eğrisinin çok geniş bir kısmını kapsar. Şekil 1.3'de Bradstreet'in (1993), Pictorial Atlas'da (Terrel ve ark., 1992) RU Ursae Minoris için verilen parametre değerlerini kullanarak oluşturduğu β Lyr türü sistemlerin sentetik ışık eğrisi gösterilmektedir. β Lyrae türü sistemlerin ışık eğrileri, ayırık ya da yarı-ayırık çiftlerden elde edilir. Dönemleri gün mertebesinde fakat devler ve süper devler evrimleştikleri zaman, dönemleri daha uzun olabilir. Parlaklıktaki sürekli değişim, küresellikten ayrılmış yıldız geometrisinden kaynaklanır.

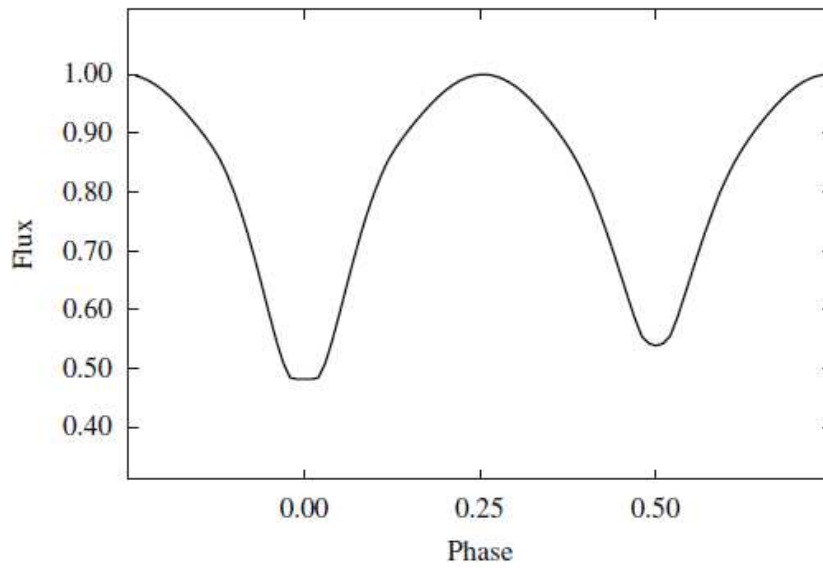
Minimumlara ilişkin derinlikler, bileşenler arasındaki sıcaklık farklılığını gösterir. Kızılöte bölgede, minimum derinlikleri arasındaki fark daha azdır. Yıldızlar çekimsel olarak etkileşmektedir, bu nedenle çekimsel bozulmaya uğrarlar. Bu etki ışık eğrilerinde kendini gösterir. Roche geometrisi, bu sistemlerin özelliklerini modellemek için kullanılır (Kallrath ve Milone, 2009).



Şekil 1.3. β Lyrae türü sistemlerin V bandında elde edilmiş, sentetik ışık eğrisi (Kallrath ve Milone, 2009).

1.2.3 W UMa

Dönemleri bir günden daha az olan örten çiftlerdir. β Lyrae yıldızlarına benzer olarak, ışık eğrileri sürekli değişirken, minimum derinlikleri genellikle benzerdir (bkz. Şekil 1.4). Minimum derinliği tamamen aynı olan sistemler de vardır. Tutulmanın dışındaki değişimler, yakınlık etkisinden kaynaklanır. Bu tür ışık eğrisi gösteren sistemler, fiziksel etkileşen çiftlerdir. Bileşenin etrafında ortak zarf olup, bu zarfa sürekli madde akışı gerçekleşiyorsa, böyle sistemler, aşırı degen çiftler olarak bilinir. Sadece degiyorlarsa bu sistemler, degen sistemlerdir. Roche geometrisi, genellikle böyle sistemlerin bileşenlerini doğru modelleme de kullanılır (Kallrath ve Milone, 2009).



Şekil 1.4. W UMa türü bir sistemin V bandında elde edilen sentetik ışık eğrisi (Kallrath ve Milone, 2009).

W UMa sistemlerinin iki tane alt sınıfı vardır. Bunlar: A tipi ve W tipi sistemlerdir. A tipi sistemlerde, büyük kütleli yıldız, bileşen yıldızına göre daha büyük ve daha sıcak, W tipi sistemlerde, büyük kütleli yıldız, bileşen yıldızına göre daha büyük fakat daha soğuktur. Her iki tip sistemin ışık eğrileri asimetri göstermesine rağmen, W tipi sistemler bu tarz asimetri göstermeye daha eğilimlidir. Bu tür bir farklılık, maksimumlar arasındaki parlaklıkta olabilir. Bu olay bazen, O'Connell etkisi olarak ele alınır ki; bu ifadenin matematiksel tanımlanması şu şekildedir:

$$\Delta m = m_{11} - m_1 \quad (1.2)$$

Burada m ; parlaklığı, I ve II alt simgeleri; birinci ve ikinci minimumları takip eden maksimumları gösterir. Maksimum I, maksimum II den daha parlak ise, Δm , pozitifdir. O' Connell etkisi, geri tür bileşene sahip W UMa sistemlerin bazılarında ortaya çıkmaktadır (Davidge ve Milone, 1984).

BÖLÜM 2
ROCHE GEOMETRİSİ**2.1 Roche Geometrisi ve von Zeipel Teoremi**

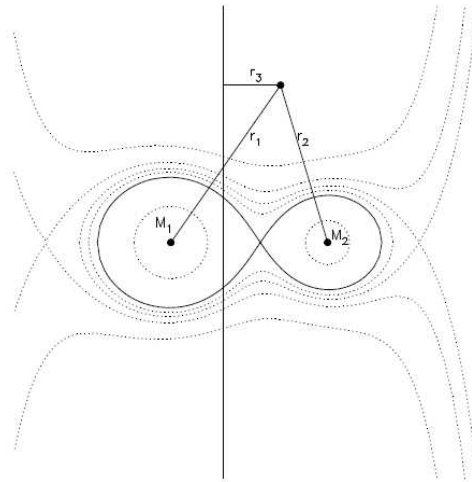
Bir yıldız küresel gibi düşünelim de yıldızın küreselliğini bozan bazı etkenlerden söz etmek gerekir. Eğer yıldız dönüyorsa ve bir başka yıldızın çekim etkisinde kalıyorsa bu durumda o yıldızın küreselliğinden söz edemeyiz. Bileşen yıldızın varlığından kaynaklanan küresel simetrideki bu bozulmayı görebilmek için, tutulma ve dikine hız eğrilerindeki bozulma etkilerinden yararlanabiliriz fakat bu bozulmaların önemli olduğu zamanlarda, çiftin gözlem verilerine dayanan bir yöntem gerekir. Bu yöntem sistemin potansiyeli ile ilgili olup, bir çift sistemin potansiyeli, iki yıldızın çekimsel etkileşimi ve iki yıldızın bir başka yıldız etrafındaki hareketi tarafından belirlenir. Basit olarak, her iki yıldız içinde potansiyelleri aşağıda verilen şartları varsayarak yazabiliriz (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries/>).

- Çift sistemin yörüngesinin dairesel olması.
- Yıldızların bir nokta kaynak olarak kabul edilmesi.

Bu varsayımlar eşliğinde, yıldızlardan birinin sahip olabileceği potansiyel

$$\Phi = -\frac{GM_1}{r_1} - \frac{GM_2}{r_2} - \frac{\omega^2 r_3^2}{2} \quad (2.1)$$

şeklinde olacaktır. Burada $M_{1,2}$ kütleler, $r_{1,2}$ ilgili kütlelerin merkez noktasına olan uzaklığı, ω açısal hızdır.



Şekil 2.1. Kütle oranı $M_1/M_2 = 2$ için, Roche lobunun geometrisi (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries/>).

Eş potansiyel yüzeyler, farklı değerler için, $-\Phi = C$ şeklinde gösterilir. C nin en büyük değerleri için, yüzeyler iki ayrı lobdan oluşur ve bunlardan biri her iki yıldızın da etrafında yer alır. Roche lobu, iç lagrange noktasından geçen her iki yıldızında etrafını saran bir yüzeydir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi yüzeyler, iki tane dış lagrange noktası içerir. Şekilde çizilen düşey çizgide dönme eksenini göstermektedir. ω ise yörünge açısız hızı,

$$\omega = \frac{2\pi}{P_b} = \sqrt{\frac{G(M_1 + M_2)}{a^3}} \quad (2.2)$$

şeklinde verilir.

Burada r_3 ise çiftin dönme eksenine olan uzaklığıdır. Yukarıda (2.1) eşitliğinde yazılan potansiyel ifadesi, boyutsuz bir niceliktir. Burada sabit Φ yüzeylerinin oluşumu sadece M_1/M_2 , kütle oranına bağlıdır. $-\Phi = C'$ nin olduğu durumda dört tür yüzeyden söz edebiliriz ki burada C pozitif bir sabit olup,

a) Büyük C değerleri için, potansiyel yüzeyler iki kapalı yüzeyden oluşur, bu eğrilerden biri her iki yıldızı da çevreler.

b) Kritik C değerleri için, iki kapalı yüzey iç lagrange noktasında birbirine değeri ve C ifadesi bu değerde iken yüzey Roche lobu olarak isimlendirilir (Roche, 1859).

c) C'nin daha küçük değerleri için, her iki yıldız etrafında kapalı bir yüzeye sahiptir ve çok küçük değerler için yüzeyler açık hale gelir.

Roche lobunun hacmi, sayısal olarak hesaplanabilir, oldukça büyük kütleli bir yıldız etrafındaki Roche lobunun ortalama yarıçapı için, yaklaşık olarak elde edilen formül (kütle M_1 kabul edersek)

$$\frac{R_L(M_1)}{a} \cong 0,38 + 0,2 \log \frac{M_1}{M_2} \quad (2.3)$$

ile verilir ki; bu durum, $0.2 < M_1/M_2 < 20$ kütle oranı için %2 doğrudur (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries/>).

Küçük kütleli bir yıldız etrafındaki Roche lobunun ortalama yarıçapı (kütleli M_2 kabul edersek) (2.4) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$\frac{R_L(M_2)}{a} \cong 0,46 + \left(\frac{M_2}{M_1 + M_2} \right)^{1/3} \quad (2.4)$$

Bu ifade $M_2/M_1 < 0,8$ kütle oranı için %2 doğrudur (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries/>).

Bütün kütle oranları için geçerli olan eşitlik yaklaşımı ise,

$$R_{L1} = \frac{0,49a}{0,6 + q^{-2/3} \ln(1 + q^{1/3})} \quad (2.5)$$

olup, $q = M_1/M_2$ ifadesine eşittir (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries/>).

Bir yıldız Roche lobu'nun büyüklüğüne ulaşmış ise bu durumda kütle transferi gerçekleşir ki nitekim bu kütle transferinin gerçekleşebilmesi için yıldızın evrimi esnasında genişlemesi ya da çift sistemin büzülmesi yani küçülmesi gerekir. Bir çift sistemde evrimleşmiş bir yıldızın ilk olarak Roche lobunu doldurabilmesi için yıldızın a) anakol evresinde iken genişlemesi b) hidrojenini tükettikten sonra genişlemesi ya da c) helyumunu tükettikten sonra genişlemesi gerekir. Bu üç durumun gerçekleşmesi de Roche lobunun genişliğine bağlıdır ki buda çift sistemdeki bileşenler arasındaki uzaklığa ve kütle oranına bağlıdır.

Şayet, bir yıldızın şekli bozulmuş fakat yıldızın yapısı sabit ve hidrostatik denge mevcut ise P basıncının gradyenti, çekimsel kuvvet ile dengelenir ve çekimsel potansiyel Φ 'nin türevi olarak yazılır ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\nabla P = -\rho \nabla \Phi \quad (2.6)$$

Bu ifade, basıncın gradyentinin her yerde potansiyelin gradyenti ile paralel olduğunu yani sabit potansiyel yüzeylerinin, sabit basınç yüzeyleri olduğunu gösterir $P = P(\Phi)$. Yukarıdaki ifadede bulunan ρ , sadece potansiyelin bir fonksiyonu olup, $P(\Phi)$ ve Φ 'ye bağlıdır. Böylece eş potansiyel yüzeyler, sabit bir yoğunluğa $\rho = \rho(\Phi)$ ve sabit bir sıcaklığa $T = T(\Phi)$ sahiptir.

Işınımın taşınımı ise (2.7) eşitliği ile ifade edilir.

$$\nabla T = -\frac{3\kappa\rho}{4\sigma} \frac{1}{4T^3} F_{rad} \quad (2.7)$$

Yukarıdaki ifadede, κ , donukluğu ifade eden sabit, σ , Stefan-Boltzmann sabiti, F , ışınım akısıdır (<http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries>).

Bozulan bir yıldız içerisindeki eşpotansiyel yüzeyler arasındaki uzaklıklar, farklı doğrultularda olup, eşpotansiyel yüzeyler sabit bir sıcaklığa sahip olduklarından sıcaklığın türeviden farklı doğrultular da olmaktadır.

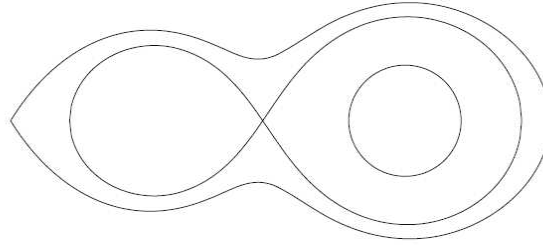
Sonuç olarak, yukarıda verilen (2.7) ifadesi ile eşpotansiyel yüzeye karşılık gelen akı yani yıldız yüzeyine karşılık gelen akının değişken olduğunu görebiliriz. İşte bu ifade von Zeipel teoremi (von Zeipel, 1924) olarak adlandırılır. Bu teorem ilk olarak hızlı dönen tek yıldızlarda kullanılmış olup, ekvator bölgesindeki etkin sıcaklığın, kutuplardan daha düşük olduğunu gösterir. Benzer şekilde, bir çift sistemde de Roche lobunu dolduran bir yıldız, iç lagrange noktası civarlarında daha düşük etkin bir sıcaklığa sahiptir. Bu etkiye de çekim kararması denir.

2.2 Örtün Çiftlerin Roche Loblarına Göre Sınıflandırılmaları

Eş potansiyel yüzeyler için üretilen matematiksel denklemler 19.yy' da Fransız matematikçi, Roche tarafından çözümlenmiştir (Roche, 1849, 1850). Bu yüzeyler, kütle birimi başına dönme ve gravitasyonel enerjinin toplamı olup, sabittir.

Bu düzeydeki yüzeyler, Roche yüzeyleri olarak tanımlanır ve bu yüzeylere teğetsel olan kuvvet vektörünün bileşeni yok kabul edilir yani yerel kuvvet vektörleri onlara her yerde normaldir yani diktir. Roche yüzeyleri, duran yüzeyler olup, biz burada, Roche yüzeylerinin çiftin yörüngesel hareketi ile beraber birlikte bir eksen etrafında dönmesi ile ilgileniyoruz. Çift bileşenlerinin yüzeyleri eşpotansiyellerle modellenir. Benzer biçimde, Dünyada da bu yöntem uygulanır, okyanus ve göl yüzeyleri eşpotansiyellerle izlenir. Yüzeye dik olan kuvvet, farklı eşpotansiyeller için farklıdır. Bu yüzey küresel olmasa da, belirli bir yüzeyin üzerindeki yerin, fonksiyonu gibi değişir. Dünya'nın çevresindeki eşpotansiyeller, Dünya'nın ve Ay'ın birleşen çekimsel kuvvetlerinden kaynaklanır ve bu eşpotansiyeller küreseldir. Bir çift yıldız sisteminin eşpotansiyelleri onların yörünge düzlemi üzerinde hesaplanır (bkz. Şekil 2.2). Bu şeklin bir noktası Fransız matematikçi Lagrange'den sonra (1713-1765), L_1^P , Lagrange noktası olarak adlandırılır. L_1^P noktasında

birlikte dönen test parçacıkları için, çekimsel kuvvet ile dönme kuvveti dengededir. Bu yüzden bu parçacıklar, hiçbir kuvvet etkisi hissetmezler. L_1^P noktasından geçen Roche yüzeyleri, bileşenlerin Roche lobu olarak adlandırılan iki yumurta biçimindeki yüzeyler olup, L_1^P noktasında birbirlerine değeler. Şekil 2.1'den görüldüğü gibi, dışarıdaki eğri ise L_2^P noktasından geçen yüzeye karşılık gelir. İçerdeki eğri ise L_1^P noktasından geçer, bu noktada, çizgiler çaprazlaşır ki bu çizgiler her iki yıldızın Roche Loblarını gösterir. Her iki eğri de sadece kütle oranına bağlıdır. Sonuç olarak, içerdeki eğriler dairesel eğrilere yakındır ve yıldızların sayısal olarak verilen potansiyel ve kütle oranı değerine karşılık gelir.



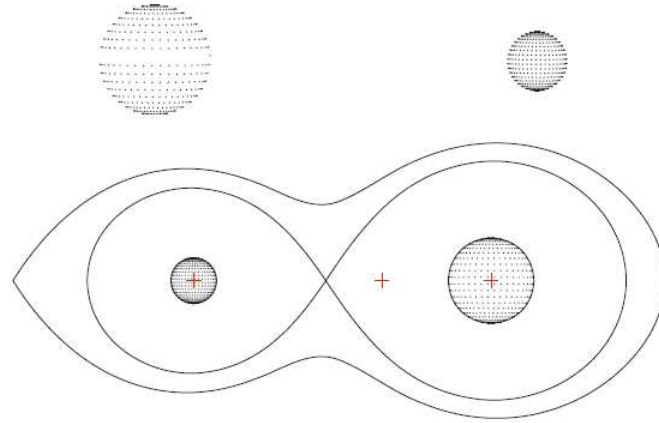
Şekil 2.2. Yörünge düzlemi üzerinde tasarlanan eş potansiyel Roche yüzeylerinin gösterimi. Sistemin kütle oranı $q = 0,5$ ve Roche potansiyelleri $\Omega_1 = 5$, $\Omega_2 = 3$ için çizilmiştir (Kallrath ve Milone, 2009).

Bu tanımlamalardan sonra, çift yıldız sistemlerini, bileşenlerin boyutları ve onları saran Roche yüzeyleri ile birlikte değerlendirilip bir Roche sınıflaması yapılmaktadır. Buna göre, örten çift sistemler yapısal olarak üç ana sınıfa ayrılır.

1) İki bileşende Roche lobunu doldurmamış ise, böylesi sistemler ayrık sistemlerdir (bkz. Şekil 2.3).

2) Bir bileşen Roche lobunu doldurmuş, diğer bileşen doldurmamış ise, Yarı ayrık sistemler olarak adlandırılır (bkz. Şekil 2.4).

3) Aşırı değen sistemler, Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Her iki bileşende, Roche loblarını doldurmuşlar ise, değen sistemler olarak adlandırılır.



Şekil 2.3. YZ Cas ayırık örten çift yıldız sisteminin Roche gösterimi (Bradstreet ve Steelman, 2004).

Bir bileşenin biçimi, adım adım değme parametreleri ile ilgilidir ya da bazen doldurma ya da taşma parametresi f ile ifade edilir ki, bu parametre lobun dolma derecesini gösterir.

Roche loblarına dayanılarak yapılan morfolojik yani şekilsel sınıflama ile fenomolojik yani fotometrik sınıflama arasında bir ilişki, uygunluk vardır (Kallrath ve Milone, 2009):

Fotometrik sınıflama

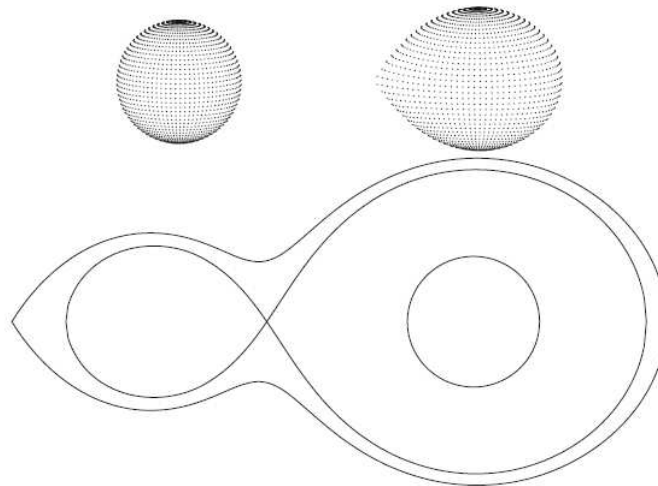
Klasik Algol tipi ışık eğrileri \Rightarrow

W UMa ışık eğrileri

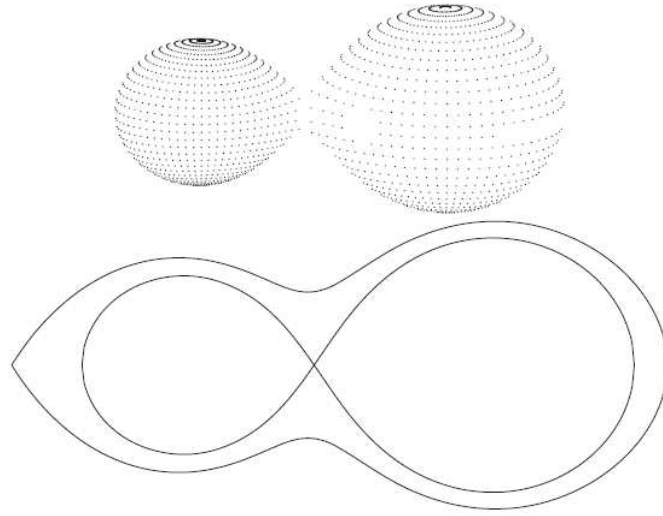
Roche geometrisine göre sınıflama

Yarı-ayrık sistemler (Şekil 2.4)

\Rightarrow Aşırı degen sistemler (Şekil 2.5)



Şekil 2.4. Yarı-ayrık çiftlerin biçimi ve Roche potansiyeli (Bradstreet, 1993).



Şekil 2.5. TY Bootis örten çift yıldız sistemi için, Roche potansiyeli (Bradstreet, 1993).

β Lyrae tipi ışık eğrilerine göre yapılan sınıflama ise, şekilsel bir sınıflamaya karşılık gelmemektedir. Bazen β Lyrae tipi ışık eğrileri ayrı sistemlerden, bazen yarı-ayrık sistemlerden bazen de aşırı degen sistemlerden elde edilir (Terrell ve ark., 1992). Oysa, Algol olmayan yarı-ayrık çiftler de vardır (örneğin; katalismik değışenler) ve yine her aşırı degen çift de W UMa türü değıldir (TU Muscoe, aşırı degen çiftlere benzerler). Yarı-ayrık sistemlerin Roche geometrisini gösteren çizim Şekil 2.4’de verilmektedir. Bileşenlerden birisi Roche lobunu doldurmuştur. Roche loblarına göre yapılan bu sınıflamaya son yıllarda, bileşenleri Roche loblarını doldurmaya oldukça yakın sistemler olan “değmeye yakın çift sistemler” de (Near Contact Binaries – NCB) eklenmiştir. Evrim aşamasında ve bileşenlerin etkileşmeleri açısından geçiş sistemleri olarak adlandırılan bu sistemlerin incelenmesi de ayrıca önem taşımaktadır.

BÖLÜM 3**ÖRTEN ÇİFT YILDIZLARDA YÖRÜNGE DÖNEM DEĞİŞİMLERİ****3.1 Dönem Değişimi**

Değişen yıldızların minimum ve/veya maksimum zamanları, değişen yıldızlar ister tek olsun isterse çift olsun ışık eğrilerinden duyarlı bir şekilde belirlenebilir.

Değişen yıldızların birçok sınıfı, tekrarlanan çevrimsel değişimlere sahiptirler. Böyle zamana bağlı ışık değişimi içeren veriler, farklı türdeki değişimlerin dönme dönemini, yörünge ve zonklama dönemini belirlemede kullanılır. Değişen yıldızlar içinde çift yıldızların bir sınıfı olan örten çift yıldızların yörünge dönemleri, ışık eğrilerinde meydana gelen tutulma zamanları kullanılarak oldukça duyarlı bulunabilmektedir. Bunun yanında, minimum zamanlarının sürekli izlenmesi, eğer varsa, bu tür sistemlerin yörünge dönem değişimlerinin ortaya çıkarılmasına olanak sağlar. Minimum zamanlarını kullanan O-C (gözlenen minimum zamanları ile hesaplananlar arasındaki fark) yöntemi, yörünge dönemi değişimlerini ortaya çıkarmada ve de analiz etmede oldukça sık kullanılmakta ve önemli sonuçlara ulaşılmada kolay uygulanabilir bir yol olarak göze çarpmaktadır.

3.1.1 O-C Yöntemi

O-C ifadesi, gözlenen minimum zamanı ile hesaplanan minimum zamanı arasındaki farka karşılık gelir. Böyle bir durum da O-C analizi bize mümkün olan yörünge dönemindeki değişim sebeplerini belirlememize olanak sağlar. Özellikle örten çift sistemler üzerine yoğunlaşan yörünge dönem değişimlerinin, olası sebepleri, eksen dönmesi, sistemden kütle kaybı ya da bileşenler arasındaki kütle aktarımı, manyetik aktivite, üçüncü cismin varlığı, çekimsel dalgalar, ephemeris zamanı ve gökada ivmelenmesi olarak bilinmektedir.

Bir örten çift sistemde birinci tutulmanın ne zaman ortaya çıkacağı, ışık öğeleri P (yörünge dönemi) ve T_0 (gözlenen başlangıç minimum zamanı) kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile belirlenir:

$$T(\text{Min I}) = T_0 + E \cdot P \quad (3.1)$$

Burada,

T: Gözlenecek veya hesaplanacak minimum zamanı (Güneş merkezine indirgenmiş Julian günü birimindedir)

T_0 : Fotometrik gözlemlerden elde edilmiş, başlangıç olarak seçilen minimum zamanı.

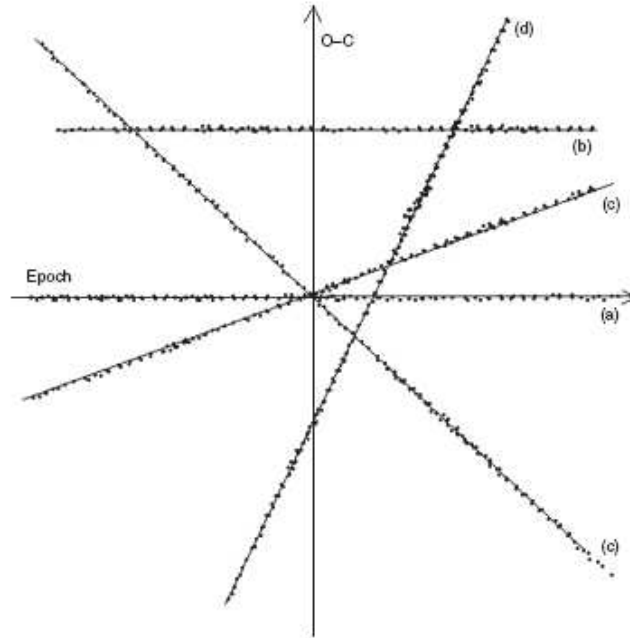
E: Çevrim sayısı (T_0 'dan itibaren dönem (çevrim) sayısı) dır.

Eğer yörünge dönemi P sabit ise, gözlenecek minimum zamanı (O) (3.1) denklemi kullanılarak hesaplanır. Yukarıdaki denklem ile hesaplanan minimum zamanı da C ile gösterilir. Bu durumda O-C sıfırdır. Ancak, P değişiyorsa, bu değer sıfırdan farklı olur. Bu durumda, dönem değişimini belirlemek ve analiz etmek için zamana veya E çevrim değerlerine karşı (O-C) değerlerinin grafiği çizilir ki buna "O-C diyagramı" denir.

O-C değerlerinin sıfırdan farklı dağılım göstermesi her zaman dönem değişimine karşılık gelmeyebilir. Ortaya çıkan O-C değişimlerinin üç ana karakteri olabilir:

- (i) Gözlemciden kaynaklanan P ve/veya T_0 değerlerinin yanlış belirlenmesi ile ortaya çıkan gerçek dışı değişimler.
- (ii) Görünürdeki dönem değişimleri.
- (iii) Fiziksel süreçlere dayanan gerçek dönem değişimleri.

İlk durumda, P ve T_0 değerlerinin yanlış belirlenmesi, O-C değerlerinin sıfırdan farklı olarak doğrusal bir değişim (azalan veya artan) göstermeleri veya x-eksenine (zaman veya çevrim eksenine) paralel olarak aynı değeri almaları şeklinde ortaya çıkar. Şekil 3.1'de (a) durumu hariç diğer durumlarda (b,c ve d) T_0 ve/veya P 'nin yanlış olmasından kaynaklanan O-C değişimleri görülmektedir (Budding ve Demircan, 2007).



Şekil 3.1. Işık öğelerinin (P ve T) yanlış belirlenmesinden (b,c ve d doğruları) ortaya çıkan O-C değişimleri (Budding ve Demircan, 2007).

Diğer iki durum ise (görünen ve gerçek dönem değişimleri), nedenleri ile birlikte aşağıda incelenmektedir.

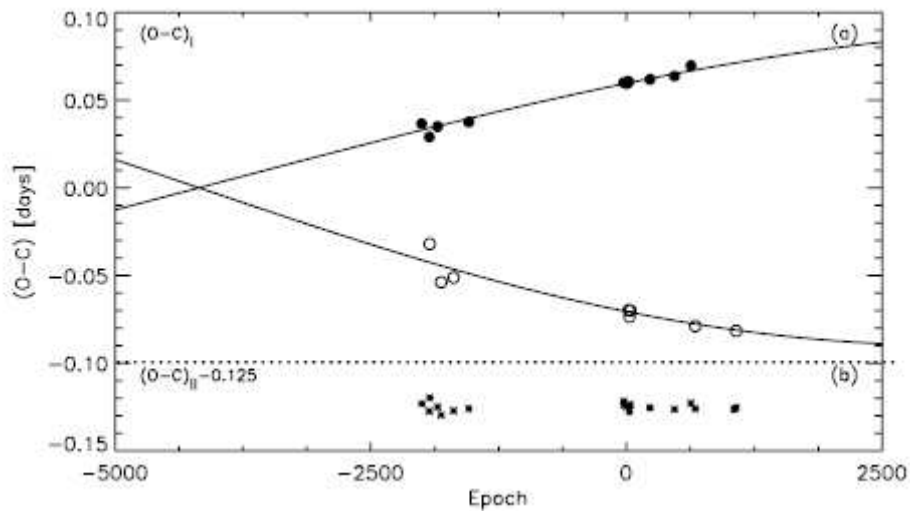
3.2 Örten Çiftlerin Dönem Değişimlerinin Nedenleri

Bu bölümde, örten çiftlerin yörünge dönem değişimlerini açıklamak için en çok kullanılan nedenler iki ana sınıf altında kısaca açıklanacaktır.

3.2.1 Görünürdeki Dönem Değişimleri

3.2.1.i) Eksen Dönmesi

Bir çift yıldızın görelî yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğu, çiftle bağlı yakınındaki bir üçüncü cisim nedeniyle veya çiftin bileşenlerin çekim etkileri nedeniyle uzayda döner. Bu konu uzun yıllardır çok sayıda araştırmacı tarafından çalışılmaktadır (örneğin; Slavenas, 1927; Kopal, 1959a, 1959b; Martynov, 1973 gibi). Bu durumda, O-C diyagramında, dönemli ve sinüs benzeri bir değişim gözlenir. Bu değişimde, birinci ve ikinci minimum zamanları kullanılarak bulunan O-C değerleri, zıt fazlı sinüs değişimi gösterir. Şekil 3.2’de eksen dönmesi gösteren bir örten çift sistem V821 Cas’ın O-C diyagramı gösterilmektedir. Bu sistemin eksen dönme dönemi, Değirmenci ve ark. (2007) tarafından yaklaşık olarak 158 yıl bulunmuştur. Eksen dönmesi ayrıca görelilik etkisi ile de ortaya çıkar. Bu nedenle, eksen dönmesi çalışmalarında, eksen dönmesi, klasik ve görelilik terimi olarak iki katkının toplamı olarak verilir.



Şekil 3.2. Örten çift yıldız V821 Cas’ın O-C diyagramı (Değirmenci ve ark., 2007).

Eksen dönmesi araştırmalarında ortaya çıkan, eksen dönme dönemlerinin, genelde 100 yıldan uzun olduğudur. Eksen dönmesi gösteren yıldızların O-C analizleri bize, iç yapı sabitlerinin ve aynı zamanda görelilik kuramının da test edilmesi imkanını sağladığından yıldız astrofiziğinde oldukça önem taşımaktadır.

3.2.1.ii) Üçüncü cisim etkisi

Işık zaman etkisi olarak da adlandırılan bu durumda, O-C diyagramında birinci ve ikinci tutulma zamanları aynı fazda sinüslü değişim gösterirler. Dönem, genlik ve bu sinüs dağılımının biçimi; döneme, yarı büyük eksen uzunluğuna ve sistemin kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin eğikliğine bağlıdır. Eğer çift sistem kendiliğinden bir basık yörüngeye sahip ise o zaman eksen dönmesi, ışık zaman etkisi ile beraber de görülebilir. Fakat dönemli O-C değişimlerinin kaynağının doğrudan sistemde görülemeyen bir üçüncü cisim olduğunu söylemek kolay değildir. Bunun için bazı başka kanıtlara ve/veya ölçütlere de göz atmak gerekir (Budding ve Demircan, 2007):

- i) Çevrimsel O-C değişimleri, tam olarak dönemli olmalıdır.
- ii) Eğer üçüncü cisim yeterli ışınım katkısına sahip ise ışık eğrisi analizlerinde ortaya çıkarılmalı ve sistemin tayfindan belirlenebilmelidir. Eğer üçüncü cisme ilişkin kanıtlar, ışık eğrisi ve tayftan bulunamıyorsa nedenleri açıklanabilmelidir.
- iii) Sistemde üçüncü cisim varsa, çiftin kütle merkezi hız değişimi gözlenmelidir.
- iv) Astrometrik veri analizi ile üçlü sistemin yörüngesi belirlenebilmelidir.

Çift sistemlerin önemli bir bölümünün üçüncü bir bileşen yıldızına sahip oldukları ve bunların bazılarının yakın çiftler olduğuna karar verilmiştir. Sönük bileşenlerin doğrudan gözlemsel olarak belirlenmesi oldukça zordur. O-C yöntemi, görülmeyen düşük kütleli bileşeni bulmada etkili bir araçtır ki bu bileşen yıldızın görülmesine bağlı değildir. Fakat ışık zaman genliği, üçüncü cismin yörünge dönemi ve azalan kütlesi ile değişim gösterir. Eldeki minimum zamanı verisi, en azından bir çevrimi tamamlamış ise üçüncü cisme ilişkin kanıt güçlüdür ve yukarıda sayılan başka kanıtlarla birlikte kesinleştirilebilir.

Bazen de oldukça kısa dönemli üçüncü cisimler O-C analizi ile belirlenemeyebilir: İyi bilinen tayfsal üçlüye λ Tau ve VV Ori, örnek verilebilir ki üçüncü cisimlerin dönemleri sırasıyla 33 ve 119 gündür. Işık zaman değişiminin genlikleri, minimum zamanın belirlenmesindeki doğruluktan daha düşük olduğundan O-C analizi ile üçüncü cisme ilişkin kanıt bulunamamıştır.

Şu anda üçlülüğü başka tekniklerle desteklenmiş ve ışık zaman etkileri, O-C diyagramında kanıtlanmış çok sayıda çift sistem bulunmaktadır. Bunlara verilebilecek örneklerden biri R CMA olup üçüncü cismin varlığı hem O-C analizi (Şekil 3.3) hem de astrometrik analiz ile gösterilmiştir.

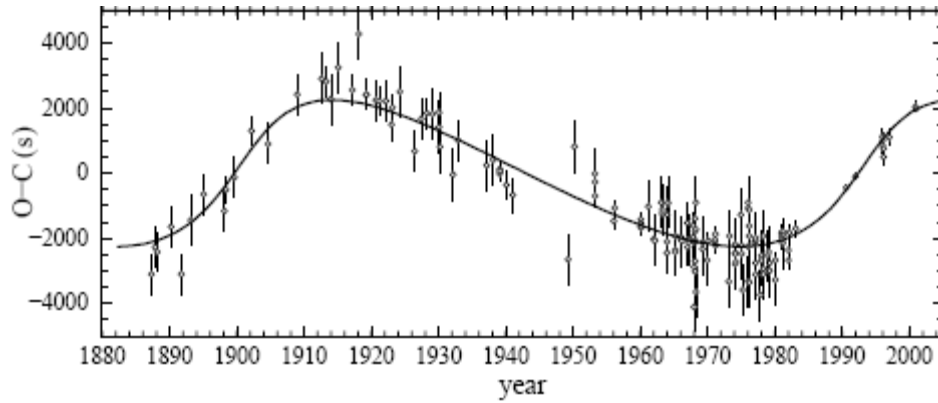
O-C verisi eğer dönemli bir değişim ise, aşağıdaki denklem bu veriye uygulanarak üçlü sistemin yörüngesi çözülebilir:

$$\text{Min I} = T_0 + \Delta t \quad (3.2)$$

Burada Δt , Irwin (1959) tarafından verilen ışık-zaman denklemidir ve şu şekilde gösterilir:

$$\Delta t = O - C = \frac{a \sin i}{c} \left\{ \frac{1 - e^2}{1 + e \cos v} \sin(\omega + v) \right\} \quad (3.3)$$

Burada; $a \sin i$, üçüncü cismin yörüngesi için yarı-büyük eksen uzunluğu; c , ışık hızı; e , üçüncü cismin yörüngesinin basıklığı; v gerçel ayıklık ve ω yörüngenin enberi boylamıdır.

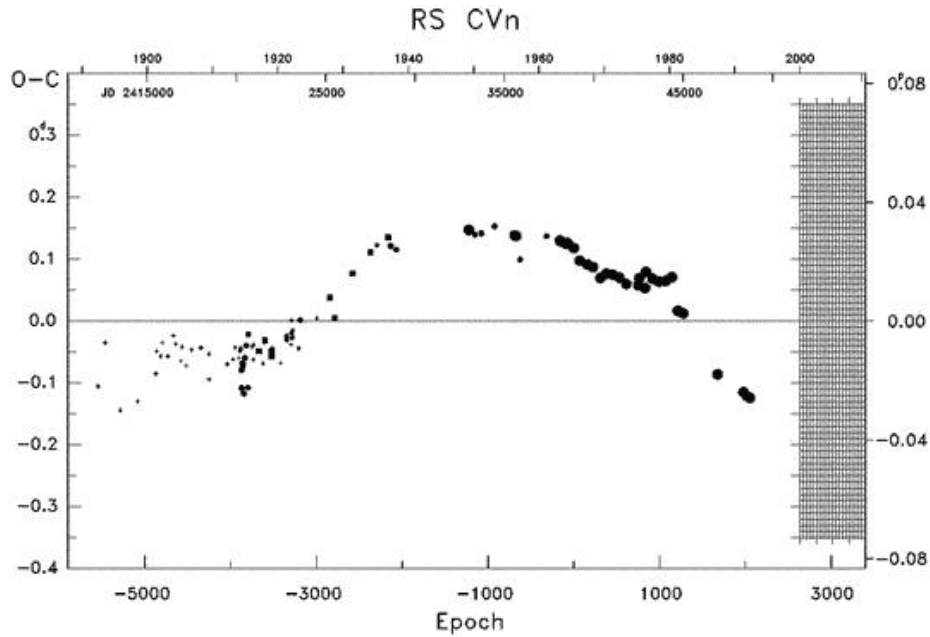


Şekil 3.3. R CMA'nın ışık-zaman etkisinden kaynaklanan O-C değişimi (Ribas ve ark., 2002).

3.2.2 Gerçek Dönem Değişimleri

3.2.2.i) Manyetik Etkinlik

Gerçek tayf türünden bileşene sahip yıldızlarda, Güneş benzeri manyetik aktivite gözlenebilmektedir. Bu tür aktivite kanıtları, farklı dalgalarda yapılan ışıkölçüm ve tayf gözlemlerinden gelmektedir. Bu tür aktivitelerin çiftlerin yörünge dönemlerinde de değişimler oluşturacağı çeşitli yazarlar tarafından önerilmiş ve buna gözlemsel kanıtlar aranmıştır. Özellikle Applegate (1992) tarafından önerilen modelde, bir yakın çift yıldızın gerçek tayf türünden bileşenlerinin dış konvektif bölgesindeki manyetik etkinliğin yıldızın iç ve dış tabakaları arasında açısal momentum aktarımına neden olabileceği ve bunun da kuadropol momentin değişimine ve dolayısıyla dönem değişimine yol açacağı önerilmiştir. Bu türden dönem değişimlerinin dönemli olmaktan çok çevrimsel olabileceği ve kısa zaman ölçeklerinde (10 yıl mertebesinde) gerçekleşeceği belirtilmiştir. Rüdiger ve Küker (2002), dinamo kaynaklı bu tür değişimlerin, RS CVn türü aktif çift sistemlerin çevrimsel yörünge dönemi değişimlerini açıklayabileceğini ortaya koydu. Şekil 3.4'de RS CVn örten çift sisteminin O-C diyagramı gösterilmektedir (Kreiner ve ark., 2001). Bunun yanında, çoğunlukla gerçek türden dev veya alt-dev bileşenlere sahip Algollerde ortaya çıkan çevrimsel O-C değişimlerinin de manyetik etkinlik kaynaklı olabileceği önerilmektedir.



Şekil 3.4. RS CVn aktif çift yıldızının O-C diyagramı (Kreiner ve ark., 2001).

3.2.2.ii) Kütle aktarımı

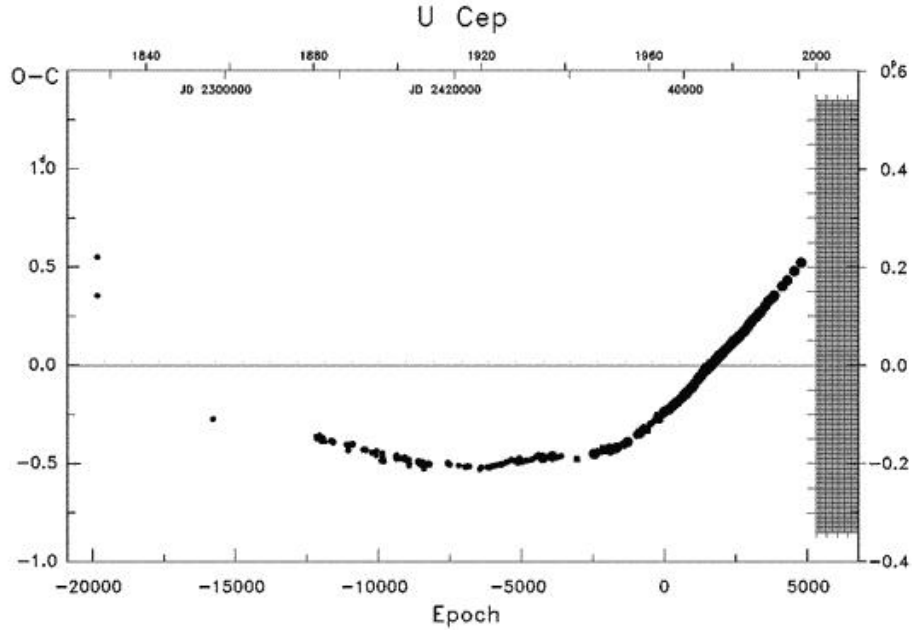
Örten çift sistemler evrimleri sırasında bileşenlerinden birisi Roche lobunu doldurduğunda L_1 Lagrange noktasından diğer bileşene kütle aktarmaya başlar. Kütle aktarımı için en kolay modelleme “korunumlu kütle aktarımı” kabulü ile yapılmaktadır. Bu durumda, aktarılan kütlelerin tamamı diğer bileşen tarafından alınır ve sistemde herhangi bir kütle kaybı yoktur. Böylece toplam kütle ve açısal momentum korunur. Örneğin birinci bileşenin ikinci bileşene kütle aktarımı durumunda ortaya çıkacak dönem değişimi:

$$\frac{\dot{P}}{P_i} = \frac{3 m_1 x (m_1 - m_2)}{m_1 m_2} \quad (3.4)$$

ile verilir (Rovithis, 2005). Burada, \dot{P} , yörünge dönem değişim miktarını, P_i , başlangıç yörünge dönemini, m_1 ve m_2 , sırasıyla birinci ve ikinci bileşen kütlelerini ve x ise birinci bileşenin aktardığı kütle miktarını göstermektedir.

Örten çiftlerde, evrim aşamasına göre birinci veya ikinci bileşen kütle aktaran olabilmektedir. Eğer birinci yani büyük kütleli bileşen Roche lobunu doldurup kütle aktarıyorsa, yörünge dönemi bu zaman ölçeğinde kısalmaktadır. Bu değişiminin O-C diyagramındaki yansıması ise azalan parabol şeklindeki bir değişim olacaktır. Ters olarak, küçük kütleli ikinci bileşen Roche lobunu doldurup kütle aktarıyorsa, yörünge dönemi büyüyecektir (Klasik Algollerde olduğu gibi). Bu durumda ise O-C diyagramında artan bir parabolik değişim görülecektir. Şekil 3.5’de klasik Algol türü U Cep örten çift sisteminin kütle aktarımı nedeniyle O-C diyagramında ortaya çıkan parabolik değişim görülmektedir.

Bu yöntemde, O-C analizi ile yörünge dönem değişim miktarları belirlenmekte ve bunlar da kullanılarak farklı türlerdeki yakın çiftlerin kütle aktarım oranları elde edilmektedir: Hall ve Neff (1976) klasik Algoller için, King ve Watson (1987) katalistik çiftler için bu yöntemle kütle aktarım oranlarını belirlemişlerdir.



Şekil 3.5. U Cep'in O-C diyagramı (Kreiner ve ark., 2001).

3.2.2.iii) Kütle ve açısal momentum kaybı

Çift yıldızlarda kütle aktarımı sırasında ve/veya manyetik etkinlik gibi farklı fiziksel süreçler nedeniyle kütle ve açısal momentum kaybı olabilir. Bu kayıp, kütle aktarımı yanında sıcak veya soğuk yıldız rüzgârları ile de olur.

Yıldız rüzgârı ile kütle kaybı ve onun doğurduğu dönem değişimi, en basit olarak küresel simetrik rüzgâr kabulünde aşağıdaki gibi modellenir (Rovithis, 2005).

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{-2\dot{m}_1}{(m_1 + m_2)} \quad (3.5)$$

Burada, kütle birinci bileşenden kaybolarak, sistemi terk etmektedir. Bunun yanında, yıldız rüzgârları ile ilgili başka öneriler de olmuştur. Örneğin, Tout ve Hall (1991), yıldız rüzgârı ile açısal momentumun ve dönemin nasıl değişeceğini araştırmışlardır. Açısal momentum kaybı (AML) ile ilgili kuramsal çalışmalar ise, Güneş türü bileşene sahip örten çift sistemlerde manyetik frenleme kaynaklı farklı yaklaşımları kullanır (örneğin; Maceroni, 1992; Stepień, 1995). Maceroni (1999), AML nedeniyle ortaya çıkabilecek yörünge dönem değişimlerinin yaklaşık bir yüzyıllık zaman ölçeğinde gözlenebilecek büyüklükte olduğunu belirtti.

Bu durumda, sıcak bileşene sahip (O veya B) örten çiftlerde sıcak yıldız rüzgarları ile, soğuk bileşene sahip (G, K veya M) sistemlerde ise manyetik etkinlik kaynaklı soğuk yıldız rüzgarları ile yörünge döneminde azalma görülebilir. Bu durum da, eğer dönem azalması ölçülebilir büyüklükte ise ve diğer etkiler yok ise, O-C diyagramında kesintisiz azalan bir parabol şekli görülmelidir.

3.3 Değmeye Yakın Sistemler

Yakın çift sistemlerin bir sınıfı olarak bilinen değmeye yakın sistemler (NCB), dönemleri bir günden az, çekimsel etkileşim gösteren, genellikle baş bileşeni A ya da F, yoldaş bileşeni de G ya da K tayf türünden olan ayrık ya da yarı ayrık sistemlerdir (Shaw, 1994). Bu tür sistemlerde bileşenlerinden en az biri Roche lobunu doldurmuş ya da doldurmak üzeredir. Bu sistemlerle ilgili olarak, A tipi W UMa ların atası olduğu ileri sürülmüş ve bunun sebebi olarak da NCB'lerin kütle aktarımının erken evresinde olmaları ve X ışın parlaklık fonksiyonunun A tipi W UMa'lara benzer olması gösterilmiştir (Shaw, 1996). Ayrıca NCB'lerin soğuk bileşenlerinin oldukça hızlı dönen geri tür bir yıldız olması ve X ışın aktivitesi göstermesi de, onları oldukça ilgi çekici sistemler haline getirmiştir. NCB'leri çalışan araştırmacıların çoğu genelde bu sistemleri, degen sistemlerin bir sınıfı olarak incelemiş ve değmeye yakın sistemlerin evrimleşerek, degen sistemleri oluşturduklarını düşünmüşlerdir. Buna karşın, NCB'ler, W UMa lar gibi değmemekte ve EB tipi ışık değişimi göstermektedir. Bu nedenle NCB'ler, astrofiziksel olarak degen sistemlerden ayrı tutulmuş ve değmeye yakın sistemlerin A tipi W UMa ların atası olduğu düşünülmüştür (Shaw, 1994, 1996). Birçok NCB'nin ışık eğrileri degen sistemlerden farklılık gösterir. Bunun nedenlerinden biri, iki bileşeninde Roche loblarını doldurmamış olmaları, bir diğeri ise bileşenler arasında birinden diğerine çok büyük ölçekte enerji transferinin olmayışıdır (Shaw, 1994).

NCB'ler, Shaw (1994) tarafından kritik Roche Loblarını (RLs) doldurmuş ya da doldurmaya yakın bileşenlerden oluşan yakın sistemler olarak tanımlanmıştır. NCB'lerin tipik ışık eğrisi, β Lyr türü örten çift sistemlerin ışık eğrilerine benzemektedir. Genellikle NCB'ler, V1010 Oph-tipi ve FO Vir-tipi iki alt sınıfa ayrılır. V1010 Oph-tipi sisteminin birincil bileşeni aşırı kütleli ve Roche lobu doldurmuş ya da Roche lobuna değmek üzere, ikinci bileşen ise Roche lobu içinde yer alan bir yıldız şeklinde tanımlanır. FO-Vir türleri ise, Roche lobu içinde normal büyüklükte birinci bileşen ve Roche lobunu doldurmuş veya

değmek üzere olan ikinci bileşene sahip sistemler olarak tanımlanır. Bu iki sistem arasındaki en önemli fark, V1010 Oph tipi sistemlerin ışık eğrilerinde çoğunlukla asimetriler gözlenmesine rağmen, FO-Vir tipi sistemlerin asimetric ışık eğrisi göstermemesidir. Buna rağmen, gözlem duyarlılıklarının artmasıyla, fotometrik verilerin doğruluğu da oldukça artmış ve gittikçe FO-Vir tipi değmeye yakın sistemlerin asimetric ışık eğrilerindeki iki maksimum arasındaki farkın her ne kadar da küçük olsa da genellikle binli oranlardaki bir değerde gözlemlenebilmesi sağlanmıştır. Bu tür sistemlere örnek olarak; AK CMi ($0^m,001$; Samec ve ark., 1998a), AX Dra ($0^m,008$, Kim ve ark., 2004), ZZ Aur ($0^m,009$, Oh ve ark., 2006), HL Aur ($0^m,006$, Gray ve ark., 1997) ve HW Per ($0^m,004$, Samec ve ark., 1998b) verilebilir. Burada, parantez içindeki parlaklık değerleri, ışık eğrilerinde birinci ve ikinci maksimum arasında ölçülen parlaklık farklılıklarını göstermektedir. Bu sonuçlarla birlikte değmeye yakın sistemlerin sınıflandırılması geliştirilmiştir. NCB'ler üzerine en son sınıflama Zhu ve Qian (2009) tarafından yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre, NCB'ler dört alt türe ayrılmaktadır:

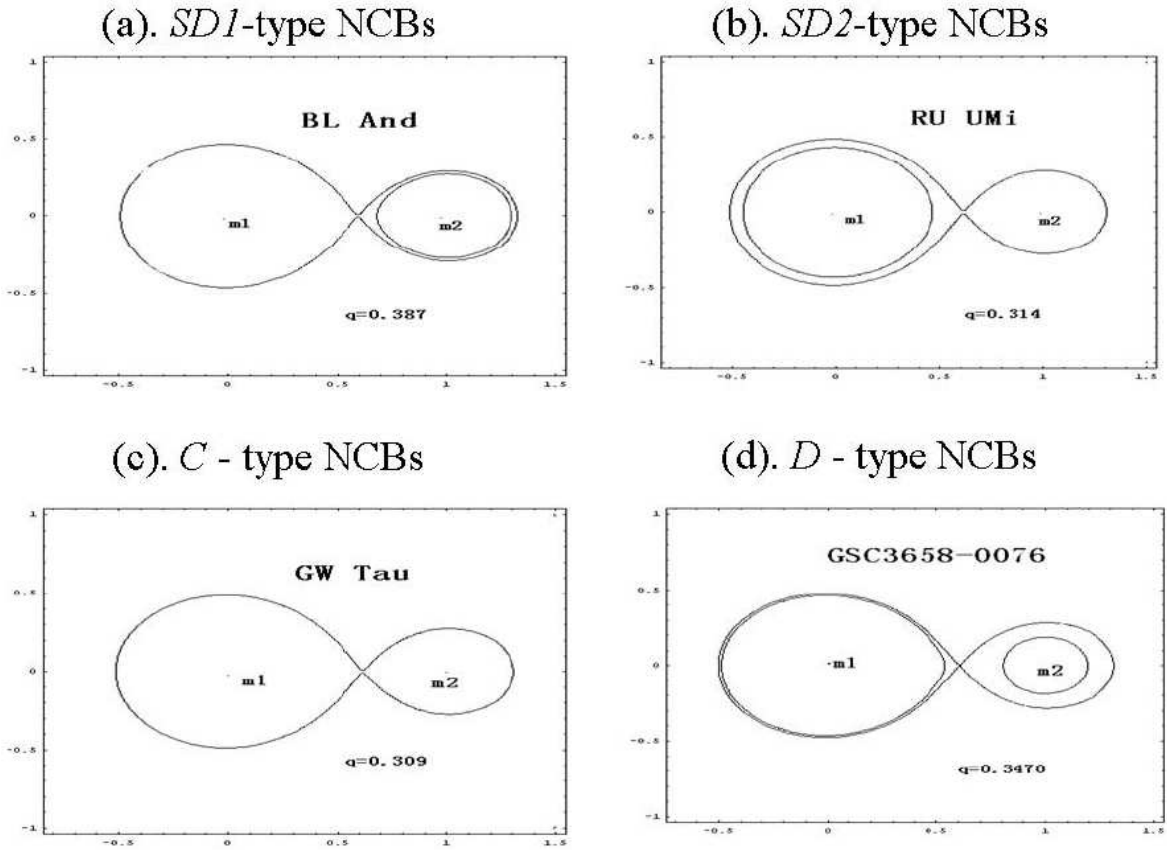
SD1-türü : Roche lobunu dolduran birincil bileşenli yarı-ayrık sistemler;

SD2-türü : Roche lobunu dolduran ikincil bileşenli yarı-ayrık sistemler;

C türü: Her iki bileşen de Roche lobunu doldurmuş değen sistemler olup bu sistemlerin bileşenleri arasındaki sıcaklık farkları büyüktür.

D türü: İki bileşen de Roche loblarının büyük kısmını doldurmuştur.

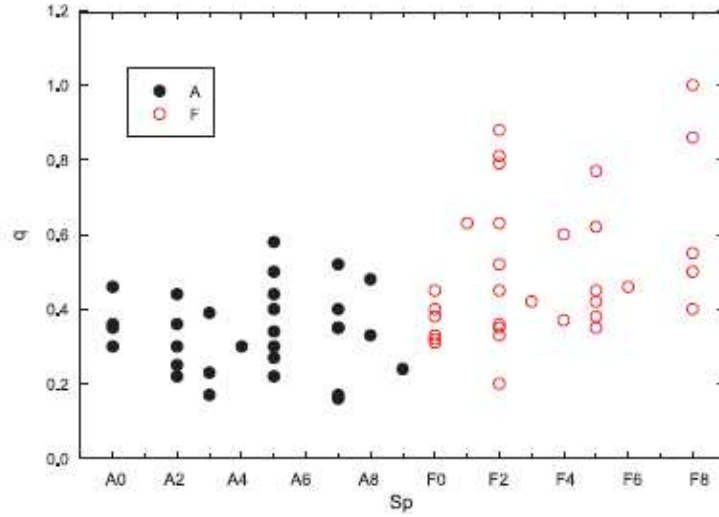
Bu sınıflamaya ilişkin örnekler Şekil 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.6. Değmeye yakın sistemlerin dört alt sınıfına ilişkin Roche geometrileri (Zhu ve Qian, 2009).

Hilditch ve ark. (1988)'e göre değmeye yakın sistemlerin aşırı değen çiftlere dönüşebilmesi için iki tane evrim yolu vardır; bunlardan birincisi ayırık değmeye yakın sistemlerin direk evrimleşerek aşırı değen çiftleri oluşturması bir diğeri ise; madde aktarımı yoluyla yarı-ayırık değmeye yakın sistemlerin aşırı değen sistemlere dönüşmesidir. Yine aşırı değen sistemlerin ayrılması sonucunda da değmeye yakın sistemlerin oluşabileceği belirtilmiştir (Flannery, 1976; Lucy, 1976; Robertson ve Eggleton, 1977). 1990 yılında 40 tane değmeye yakın sistem bilinirken şu anda bu sistemlerin 130'dan fazla olduğu bilinmektedir. Çizelge 3.1'de bazı değmeye yakın sistemler ve bunlara ait fiziksel özellikleri verilmiştir. Bu çizelgede sırasıyla, sistemin ismi, yörünge dönemi (P), tayf türü, kütle oranı (q), logaritmik olarak birinci ve ikinci bileşen yıldızların kütleleri (M_1 ve M_2), yarıçapları (R_1 ve R_2), ışıtmaları (L_1 ve L_2) ve sıcaklıkları (T_1 ve T_2) yer almaktadır. Bu fiziksel özellikler, A ve F tipi yıldızlar için birincil ve ikincil bileşenler arasındaki kütle, yarıçap, parlaklık ve sıcaklık farklılığını göstermektedir ve F tipi değmeye yakın sistemlerde bu değer, A tipi değmeye yakın sistemlere göre daha küçüktür.

Çizelge 3.1’de verilen bazı parametreler tayf türü ve kütle oranına göre grafik edildiğinde Şekil 3.7 ortaya çıkmaktadır (Oh, 2005). Burada, NCB’ler için tayf türüne göre A ve F ile gösterilen iki sınıf daha görülmektedir.



Şekil 3.7. NCB’lerde kütle oranı (q)- tayf türü ilişkisi (Oh, 2005).

Bunun yanında, NCB’lerde, logaritmik ölçekte, kütle oranı ile ısıtmalar oranı (L_2/L_1), doğrusal ilişki göstermektedir (bkz. Şekil 3.8). Bu dağılım kullanılarak, NCB’lerde, kütle oranı ile ısıtmalar oranı arasında aşağıdaki bağıntı oluşturulabilir:

$$L_2/L_1 \approx (M_2/M_1)^{1,45} \quad (3.6)$$

Bu bağıntı farklı tür örten çiftler ile karşılaştırıldığında, benzer ilişkinin erken tür değen çift sistemlerde de bulunduğu görülmektedir. NCB’lerde, yine logaritmik eksenle yarıçap-kütle ilişkisi ise Şekil 3.9’daki gibidir (Oh, 2005). Bu değişim, bir doğru ile temsil edildiğinde ise aşağıdaki denklem üretilebilir:

$$\log R/R_{\odot} = 0,16 + 0,44 \log M/M_{\odot} \quad (3.7)$$

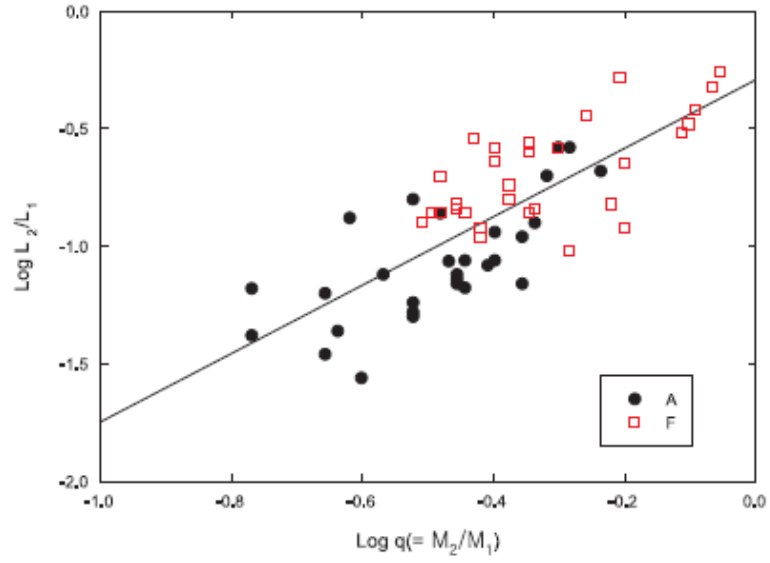
NCB’lerin H-R diyagramındaki dağılımlarına bakıldığında (bkz. Şekil 3.10), A türlerinin, F’lere göre TAMS (terminal age main sequence) koluna daha yakın konumlandıkları göze çarpmaktadır (Oh, 2005).

Çizelge 3.1. Değmeye yakın sistemlerin temel parametreleri (Oh, 2005)

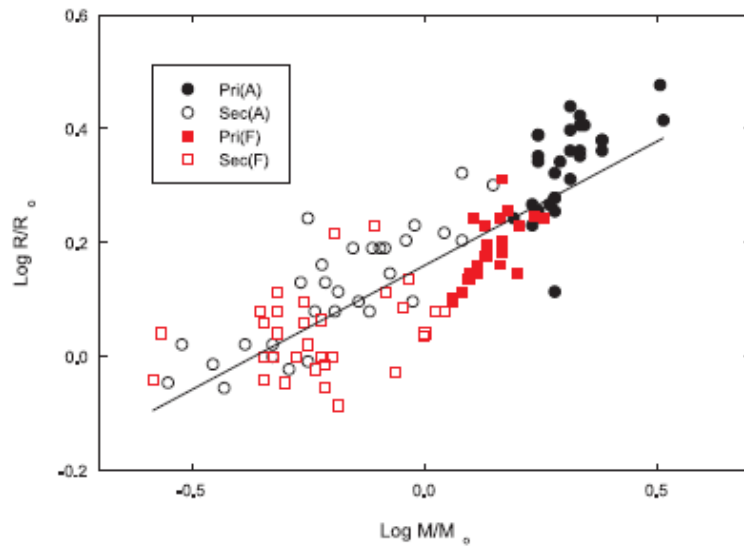
Adı	P (gün)	Tayf türü	q (M2/M1)	LogM1 (M \odot)	LogM2 (M \odot)	LogR1 (R \odot)	LogR2 (R \odot)	LogL1 (L \odot)	LogL2 (L \odot)	LogT1 (K)	LogT2 (K)
V836Cyg	0,6534	A0	0,30	0,3802	-0,143	0,3617	0,0969	1,5900	0,2900	3,9801	3,7875
BL And	0,7224	A0	0,35	0,3802	-0,076	0,3802	0,1461	1,6100	0,4500	3,9758	3,8029
AW Cam	0,7713	A0	0,46	0,3802	0,0414	0,3802	0,2175	1,6300	0,7300	3,9808	3,8372
GO Cyg	0,7178	A0	0,36	0,5119	0,0792	0,4150	0,2041	1,8500	0,7900	4,0184	3,8589
V525 Sgr	0,7051	A2	0,30	0,3324	-0,187	0,3617	0,1139	1,4700	0,1900	3,9501	3,7540
BF Vir	0,6406	A2	0,22	0,3324	-0,328	0,3522	0,0212	1,4500	-0,0100	3,9498	3,7503
KR Cyg	0,8452	A2	0,25	0,3324	-0,268	0,4232	0,1303	1,5900	0,0300	3,9493	3,7058
DM Del	0,8447	A2	0,36	0,3324	-0,114	0,4065	0,1903	1,5460	0,3700	3,9467	3,7608
ES Lib	0,8830	A2	0,44	0,3424	-0,022	0,4065	0,2304	1,5500	0,5900	3,9477	3,7957
V388 Cyg	0,8590	A3	0,39	0,3118	-0,097	0,3979	0,1903	1,4900	0,4100	3,9370	3,7708
V Tri	0,5852	A3	0,23	0,3118	-0,328	0,3118	0,0000	1,3300	-0,0300	3,9401	3,7559
BW Eri	0,6385	A3	0,17	0,3118	-0,456	0,3617	-0,0132	1,4100	0,0300	3,9351	3,7775
DO Cas	0,6847	A4V	0,30	0,2900	-0,237	0,3424	0,0792	1,3300	0,0900	3,9247	3,7463
RT Scl	0,5116	A5	0,27	0,2788	-0,292	0,2553	-0,0223	1,1300	0,0100	3,9183	3,7771
V392 Ori	0,6593	A5	0,22	0,2672	-0,387	0,2672	0,0212	1,1500	-0,0500	3,9173	3,7403
V Lep	1,0701	A5	0,58	0,3118	0,0792	0,4393	0,3222	1,4900	0,8100	3,9163	3,8048
ZZ Aur	0,6012	A5	0,40	0,2788	-0,119	0,2788	0,0792	1,1500	0,2100	3,9116	3,7763
El Aqr	1,2223	A5	0,30	0,2788	-0,252	0,2788	0,2430	1,1500	0,3500	3,9116	3,7294
RZ Dra	0,5509	A5	0,50	0,2788	-0,027	0,1139	0,0969	0,8500	0,2700	3,9190	3,7825
V1010 Oph	0,6614	A5V	0,34	0,2788	-0,194	0,3222	0,0792	1,2500	0,1860	3,9148	3,7703
AA And	0,9351	A5	0,44	0,5051	0,1461	0,4771	0,3010	2,1700	1,0100	4,0674	3,8654
FO Vir	0,7756	A7	0,17	0,2430	-0,523	0,3892	0,0212	1,3100	0,1300	3,8963	3,7853
AG Vir	0,6426	A7	0,16	0,2430	-0,553	0,3424	-0,0458	1,2100	0,1700	3,8947	3,8288
ST Aqr	0,7810	A7	0,35	0,2430	-0,215	0,3522	0,1303	1,2300	0,1100	3,8948	3,7258
WX Eri	0,8233	A7	0,52	0,2430	-0,041	0,2553	0,2041	1,0300	0,4500	3,8933	3,7739
TZ Dra	0,8660	A7	0,35	0,2430	-0,222	0,2553	0,1614	1,0300	-0,1100	3,8933	3,6552
TT Her	0,9121	A7V	0,40	0,2430	-0,155	0,3892	0,1903	1,3100	0,2500	3,8963	3,7308
YY Cet	0,7905	A8	0,48	0,2304	-0,086	0,2672	0,1903	1,0100	0,3100	3,8823	3,7458
EE Aqr	0,5090	A8	0,33	0,2304	-0,252	0,2304	-0,0088	0,9300	0,0700	3,8807	3,7853
V747 Cen	0,5372	A9	0,24	0,1903	-0,432	0,2430	-0,0555	0,8900	0,0100	3,8644	3,7937
U Sct	0,9550	F0	0,45	0,2041	-0,194	0,2304	0,2175	0,8100	0,2100	3,8507	3,7072
WZ Cyg	0,5845	F0	0,32	0,1614	-0,328	0,2430	0,0000	0,8300	-0,0300	3,8494	3,7559
RW CrB	0,7264	F0	0,31	0,1644	-0,347	0,2041	0,0607	0,7500	-0,1500	3,8489	3,6956
RS Ind	0,6241	F0	0,40	0,1761	-0,222	0,2553	0,0645	0,8500	0,2100	3,8483	3,7837
RU Umi	0,5249	F0	0,33	0,2553	-0,222	0,2430	0,0000	0,8300	-0,0300	3,8494	3,7559
RV Crv	0,7473	F0	0,38	0,1644	-0,26	0,3118	0,0969	0,9700	0,0500	3,8501	3,7275
AX Dra	0,5682	F1	0,63	0,1643	-0,036	0,1818	0,1367	0,6474	0,0043	3,8357	3,6947
VY Pup	0,8168	F2	0,35	0,1303	-0,319	0,1761	0,1139	0,6300	-0,1900	3,8329	3,6590
BV Eri	0,5077	F2	0,33	0,1335	-0,347	0,1959	-0,0410	0,6700	-0,0300	3,8330	3,7764
V342 Her	0,8517	F2	0,20	0,1335	-0,569	0,1761	0,0414	0,6300	-0,0300	3,8329	3,7352
VZ CVn	0,8425	F2	0,88	0,1303	0,0792	0,1761	0,1139	0,6300	0,3700	3,8329	3,7990
EU Hya	0,7782	F2	0,63	0,1303	-0,066	0,1761	-0,0269	0,6300	-0,2900	3,8329	3,7044
BS Vul	0,4760	F2	0,36	0,1303	-0,301	0,1761	-0,0458	0,6300	-0,2300	3,8329	3,7288
BZ Eri	0,6642	F2	0,81	0,1303	0,0414	0,1761	0,0792	0,6300	0,2100	3,8329	3,7763
BX And	0,6101	F2V	0,79	0,1303	0,0212	0,1761	0,0792	0,6100	0,1300	3,8279	3,7563
SW Lyn	0,6441	F2V	0,52	0,2345	-0,046	0,2460	0,0860	0,7425	-0,2765	3,8261	3,6513
FT Lup	0,4701	F2V	0,45	0,1303	-0,215	0,1761	-0,0132	0,6300	-0,2300	3,8329	3,7125
UU Lyn	0,4685	F3V	0,42	0,1614	-0,215	0,1614	-0,0555	0,5900	-0,1500	3,8302	3,7537
HL Aur	0,6225	F4	0,37	0,1139	-0,319	0,1614	0,0414	0,5300	-0,0100	3,8152	3,7402
RU Eri	0,6322	F4	0,60	0,1303	-0,086	0,2304	0,1139	0,8100	-0,0100	3,8507	3,7040
IR Cas	0,6807	F4	0,20	0,1139	-0,585	0,1614	-0,0410	0,5300	0,0100	3,8152	3,7864
DD Mon	0,5680	F5	0,45	0,0212	-0,328	0,1335	0,0128	0,4955	-0,1871	3,8195	3,7091
SU Ind	0,9863	F5	0,62	0,0969	-0,108	0,1461	0,2304	0,4900	0,2100	3,8129	3,7007
WZ Cep	0,4174	F5	0,41	0,1987	-0,187	0,1461	-0,0862	0,5100	0,0100	3,8179	3,8090
WZ And	0,6957	F5	0,77	0,1139	0,0000	0,1461	0,0414	0,4900	-0,0300	3,8129	3,7352
CW Sge	0,6604	F5	0,98	0,1038	0,0934	0,1461	0,1367	0,4900	0,4500	3,8129	3,8076
BN Peg	0,7133	F5	0,38	0,1038	-0,319	0,2430	0,0792	0,6900	-0,2700	3,8144	3,6563
CX Aqr	0,5560	F5	0,45	0,0969	-0,252	0,1367	0,0212	0,4900	-0,0700	3,8176	3,7353
FZ Del	0,7832	F5	0,35	0,1038	-0,357	0,1461	0,0792	0,4900	-0,3500	3,8129	3,6363

Çizelge 3.1 Devam

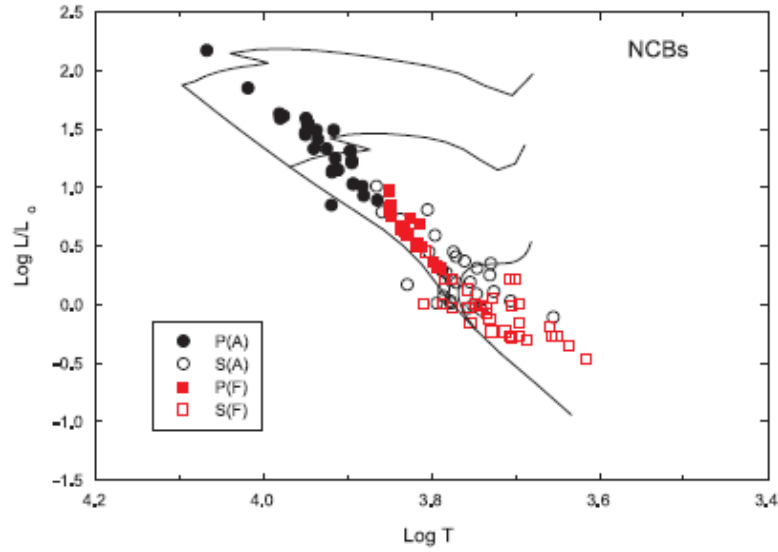
Adı	P (gün)	Tayf türü	q (M ₂ /M ₁)	LogM1 (M _☉)	LogM2 (M _☉)	LogR1 (R _☉)	LogR2 (R _☉)	LogL1 (L _☉)	LogL2 (L _☉)	LogT1 (K)	LogT2 (K)
TZ Lyr	0,5288	F5V	0,42	0,1038	-0,276	0,1461	0,0000	0,4900	-0,3100	3,8129	3,6859
ZZ Cyg	0,6286	F6	0,46	0,0792	-0,26	0,1139	0,0607	0,3700	-0,4700	3,7990	3,6156
RV Psc	0,5540	F8	1,00	0,0607	0,0607	0,1038	0,1038	0,3100	0,3100	3,7890	3,7890
V609 Aql	0,7966	F8	0,86	0,0607	-0,004	0,1038	0,0374	0,3300	0,0100	3,7940	3,7472
BD And	0,4629	F8	0,50	0,0607	-0,237	0,0969	-0,0223	0,3100	-0,2700	3,7925	3,7071
CN And	0,4628	F8	0,55	0,0607	-0,201	0,0969	0,0000	0,3100	-0,1300	3,7925	3,7309
EP Aur	0,5910	F8	0,40	0,0607	-0,347	0,0969	0,0000	0,3100	-0,2700	3,7925	3,6959



Şekil 3.8. NCB'lerde kütle oranına (q) göre bileşenlerin ısıtma oranı değişimi (Oh, 2005).



Şekil 3.9. NCB'lerde kütle – yarıçap ilişkisi (Oh, 2005).



Şekil 3.10. NCB'lerin H-R diyagramındaki dağılımları (Oh, 2005).

3.4 Değmeye Yakın Sistemlerde Yörünge Dönem Değişimleri

NCB'lerdeki görünürdeki dönem değişimlerinin nedenleri diğer örten çiftlerde olduğu gibi beklenebilir. Farklı araştırmacılar tarafından çift yıldızların evriminde geçiş sistemleri olarak düşünülen bu sistemlerde, evrimlerine ilişkin izler yörünge dönemi evriminde aranabilir. Bu nedenle, bu sistemlerin gösterdikleri dönem değişimleri, çift yıldız evrimi açısından önem taşımaktadır.

NCB'lerde yörünge dönem değişimleri farklı araştırmacılar tarafından incelenmiş olup en ayrıntılı ve genel kapsamlı çalışma Qian (2002) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, kısa dönemli bazı NCB'lerin O-C analizlerine dayanılarak yörünge dönem değişimleri incelenmiştir. Çalışılan bütün sistemlerin dönemlerinde uzun zaman ölçeğinde bir azalma olduğu keşfedilmiş ve her sisteme ait azalma oranları bulunmuştur. Önceki çalışmalarda birçok NCB için de buna benzer dönem değişimleri belirlenmiştir. Bunlara örnek olarak; CN And (Çiçek ve ark., 2005), FT Lup (Lipari ve Sistero, 1986), RT Scl (Clausen ve Gronbech, 1979), AK CMi (Samec ve ark., 1995), V1010 Oph (Lipari ve Sistero, 1987), AG Phe (Cerruti, 1994) verilebilir. Bu sistemler arasında yer alan XZ CMi

sisteminin dönemi, karmaşık bir değişim göstermektedir. XZ CMi sisteminin dönemindeki bu değişim, uzun dönemli bir azalma olup, bu değişimin nedeni üçüncü cismin varlığından kaynaklanan ışık zaman etkisi ya da soğuk bileşenin magnetik aktivite çevrimi olabilir.

Çizelge 3.2’de bazı NCB’lerin yörünge dönemlerindeki azalma oranları verilmektedir. Çizelgede verilen bu 22 adet örnek yıldızın yörünge dönemleri 0,34-0,91 gün aralığında olup, ortalama değeri 0,57 gündür. İkinci sütununda yıldızların kütle oranları verilmiş olup V473 Cas için herhangi bir fotometrik veya tayfsal bir çalışma yayınlanmadığından kütle oranı belirlenmemiştir. Çizelgede verilen örnek yıldızlar, dört gruba ayrılmıştır (Qian, 2002a). Bunlar:

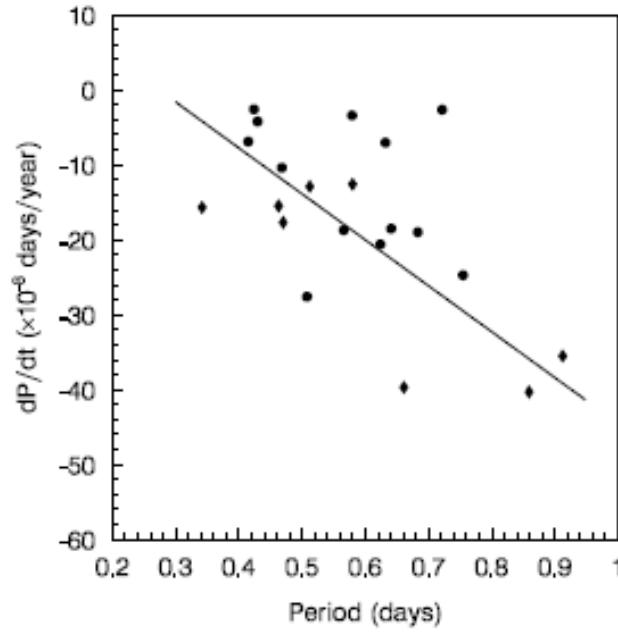
- 1)Yarı ayırık sistemler: RT Scl, V388 Cyg ve TT Her bu gruba örnek olarak verilebilir. Bu grubun özelliği, birincil bileşenlerin kritik Roche loblarını doldurmuş olmalarıdır.
- 2)Yarı ayırık sistemler: CN And, RS Ind, BF Vir ve AV Hya sistemleri bu gruba örnek olarak verilebilir. Sistemlerin ikinci bileşenleri kritik Roche loblarını doldurmuşlardır.
- 3)Her iki bileşeninde kritik Roche loblarına yaklaştığı sistemlere, RU Eri ve UU Lyn örnek verilebilir.
- 4) Her iki bileşeninde Roche lobunu doldurduğu değen çiftlere örnek ise; VW Boo, FT Lup ve BL And gösterilebilir.

Yukarıdaki sınıflamadan sonra şunu söylemek gerekir ki bazı değmeye yakın sistemleri sınıflandırmak oldukça zordur. Ayrıca aynı veriler doğrultusunda yapılan bu gruplama başka araştırmacılara göre değişim göstermektedir. Bunun sebebi de bileşenler arasında gerçekleşen kütle ve enerji transferi yoluyla oluşan ışık eğrilerindeki gözlenen asimetridir.

Çizelge 3.2 Bazı NBC ler için yörünge dönemlerindeki azalma oranları (Qian, 2002a)

Yıldız ismi	Kütle oranı (q=M ₂ /M ₁)	Yörünge dönemi (P – gün)	dP / dt (gün /yıl)	Kaynaklar
VW Boo	0.43	0.3421934	-1.57x 10 ⁻⁷	Qian ve Zhu (2002b)
V473 Cas	-	0.41546073	-6.88x10 ⁻⁸	Qian (2002)
BE Cep	0.68	0.42439438	-2.57x10 ⁻⁸	Samec ve ark.(1999)
GR Tau	0.27	0.4298525	-4.23x10 ⁻⁸	Qian (2002)
CN And	0.39	0.46279372	-1.55x10 ⁻⁷	Samec ve ark.(1998)
UU Lyn	0.41	0.468461	-1.04x10 ⁻⁷	Qian (2002)
FTLup	0.47	0.4700831	-1.77x10 ⁻⁷	Lipari ve Sistero(1986)
BV Eri	0.25	0.5076669	-2.76x10 ⁻⁷	Qian (2002)
RT Scl	0.43	0.51156012	-1.29x10 ⁻⁷	Clausen & Gronbech (1979)
AK CMi	0.65	0.5658968	-1.87x10 ⁻⁷	Samec ve ark.(1995)
XZ CMi	0.42	0.5788095	-3.40x10 ⁻⁸	Qian (2002)
BO Peg	0.53	0.5804301	-1.26x10 ⁻⁷	Qian(2001)
RS Ind	0.30	0.62405763	-2.07x10 ⁻⁷	Marton ve ark.(1990)
RU Eir	0.55	0.63219951	-7.05x10 ⁻⁸	Qian (2002)
BF Vir	0.33	0.6405761	-1.85x10 ⁻⁷	Qian ve ark.(2000)
V1010 Oph	0.49	0.6614373	-3.97x10 ⁻⁷	Lipari ve Sistero (1987)
AV Hya	0.23	0.68334062	-1.90x10 ⁻⁷	Qian(2000)
BL And	0.33	0.72237790	-2.63x10 ⁻⁸	Qian (2002)
AG Phe	0.16	0.75534085	-2.47x10 ⁻⁷	Cerruti(1994)
TT Her	0.44	0.91208023	-3.53x10 ⁻⁷	Milone ve Stagg (1989)
ST Aqr	0.381	0.7809918	-3.05x10 ⁻⁷	Jassur ve ark. (2000), bu çalışma
V388 Cyg	0.37	0.85904774	-2.06x10 ⁻⁷	Kang ve ark. (2001), bu çalışma

Şekil 3.11’de, dP/dt’ye karşı P (yörünge dönemi) grafiği çizilmiştir. (1) ve (4) sınıflamasına ait sistemler, birinci bileşenden ikinci bileşene doğru madde aktarımında bulunurlar (PSMT). Bununla birlikte (2) ve (3) sınıflamasına ait değmeye yakın sistemlerdeki dönem azalmasının nedeni bileşenler arasında meydana gelen kütle transferi ile açıklanamamaktadır. Değmeye yakın sistemler de genellikle birincil bileşen A ya da F tipin de, ikincil bileşen ise G ya da K tipinde soğuk bir yıldızdır. Değmeye yakın sistemlerde dönem azalması, manyetik frenleme yoluyla açısal momentum kaybı ile sonuçlanmaktadır. PSMT yolu ile değmeye yakın sistemlerin dP/dt oranlarındaki değişim diğer sistemlere göre oldukça daha büyüktür. Bu durum açısal momentum kaybından (AML) başka, PSMT ile yani birincil bileşenden ikincil bileşene doğru madde aktarımı olayı ile de açıklanmaktadır. Aşırı değen sistemlerde, kütle oranı yörünge dönem değişimi için anahtar bir değişkendir. Yukarıdaki çizelgede verilen parametreler gösterir ki, kütle oranı ile değmeye yakın sistemlerin yörünge dönem değişimi arasında önemli bir bağlantı yoktur.



Şekil 3.11. Periyotlarında azalma gösteren değmeye yakın sistemler için oluşturulan dP/dt ye karşı çizilen P grafiği. Eşkenar dörtgen şeklinde olan noktalar sistemde ki birincil bileşenden ikincil bileşene doğru akan madde aktarımı gösteren sistemleri (PSMT), dolu noktalar ise diğerlerini göstermektedir.

Aşırı degen çift yıldızların evrim yolu, Hilditch ve ark. (1988) tarafından tartışılmıştır. Bunlardan birincisi ayırık sistemin, doğrudan evrimleşerek aşırı degen sistemlere dönüşmesidir. Bir diğeri ise, kütle aktarımı yoluyla yarı-ayırık sistemlerin aşırı degen sistemlere dönüşmesidir. Yukarıdaki Çizelge 3.2’de verilen NBC’lerin bileşenleri anakol yıldızlarıdır. Bu da yukarıdaki evrim sonucunu doğurur çünkü manyetik yıldız rüzgârları, şiddetli açısal momentum kaybıyla sonuçlanır ve NCB’lerin yörünge döneminde uzun dönemli bir azalmaya sebep olur. Bu azalmanın sebebi de açısal momentum kaybının sürekli olmasıdır. Bu şekilde de aşırı degen çiftlerin oluşması kaçınılmaz olur. Yine yörünge dönemindeki azalma, kritik Roche lobunda daralmaya ve bu da iki yıldız etrafında ortak bir konvektif zarf oluşmasına neden olur (CCE). Konvektif zarf oluşunca, değmeye yakın sistemler, artık aşırı degen sistem haline dönüşür ve her iki bileşende artık aynı konvektif zarfı paylaşır. İki bileşenin de, iki yıldız arasındaki enerji transferi sonucunda yüzey parlaklıkları aynı olur. İşte böyle sistemler EW tipi ışık eğrisine sahip olurlar. Bu nedenle bu tür değmeye yakın sistemler, aşırı-değme döneminin başlangıcı olup, yakın çift yıldızların dinamiksel evrimini çalışmada ve ortak konvektif zarf oluşumunu anlamada önemli kaynaklardır. Yukarıdaki şekilde, yörünge dönemi P ve azalma oranı dP/dt arasındaki, uygun istatistik bağıntı gösterilmiştir. En küçük kareler yöntemi ile bu eşitlik;

$$dP/dt = -5,3(\pm 1,4) \times 10^{-7} \times P + 1,3(\pm 0,7) \times 10^{-7} \quad (3.8)$$

olarak elde edilir. Burada P'nin birimi, gün olup, dP/dt'nin ki ise 10^{-7} gün⁻¹ ile ifade edilmiştir. Buradaki bağıntı gösterir ki, değmeye yakın sistemler aşırı degen çiftlere evrimleştiklerinde dönemleri artacaktır.

Son zamanlarda, 22 tane A ve F tipi aşırı degen çift ($M_1 > 1,35M_{\odot}$) Qian (2001) tarafından araştırılmış olup bu çalışmada en küçük kütle oranına ($q \sim 0,072$) sahip AW UMa dışında, diğerlerinin dönemlerinin arttığı belirlenmiştir. Buradan bulunan bağıntı, A ve F tipi değmeye yakın sistemlerin aşırı degen sitemlere kolayca geçiş yapabileceklerini ve dönem azalması gösteren A ve F tipi NCB'lerin, A ve F tipi aşırı degen çiftlere evrimleştiklerinde dönemlerinde bir artış olacağını göstermektedir. NCB'ler ile ilgili araştırmalarda, A tipi W UMa'ların atası oldukları da önerilmektedir. Qian (2001), W UMa türü aşırı degen çift sistemlerin dönem değişimlerini açıklamak için evrimsel bir açıklama ortaya koydu. Aşırı degen çiftlerdeki değme-derinliği değişimleri magnetik aktivitenin değişmesine yol açar ki bu da açısız momentum kaybı oranını değiştirir (Vilhu, 1981; Smith, 1984). Bu model soğuk aşırı degen çiftlerin ($M_1 < 1,35M_{\odot}$) kritik bir kütle oranı etrafında salınacağını öngörmektedir çünkü dönemdeki artış aşırı degen sistemlerin derinliğinde bir azalmaya sebep olur bu da oldukça yüksek bir açısız momentum kaybı oranı ile sonuçlanır. Bu durumda, dönem yeniden azalacaktır. Sıcak aşırı degen çift sistemler için ise ($M_1 > 1,35M_{\odot}$) açısız momentum kaybı oranı düşüktür. Bu durumda dönemi artan bir sistem beklenir. Eğer aşırı degen sistem birbirinden ayrılırsa, değmeye yakın bir sistem oluşacaktır ve sistem değme durumu etrafında salınacaktır (thermal relaxation oscillation theory-TRO; Flannery, 1976; Lucy, 1976; Robertson ve Eggleton 1977).

BÖLÜM 4 ÖRNEK UYGULAMA

Bu bölümde, seçilen bazı değmeye yakın sistemler için (BX And, ST Aqr, V388 Cyg ve V456 Cyg) yörünge dönem değişimleri incelenecek ve analiz edilerek, bu değişimlerin nedenleri üzerinde durulacaktır. İncelenecek sistemlerin bazı özellikleri ve temel parametreleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Bu çizelgede, sistemlerin maksimum V parlaklığı, tayf türleri, yörünge eğiklikleri (i), Güneş kütlesi cinsinden birinci ve ikinci bileşen kütleleri (M_1 ve M_2), Güneş yarıçapı cinsinden bileşenlerin yarıçapları (R_1 ve R_2) ve ayrıklıkları (a) ve ayrıca bize olan uzaklıkları (d) yer almaktadır. Bunun yanında, O-C analizi yapılarak yörünge dönem değişimi incelenecek dört sisteme ilişkin veri bilgisi de Çizelge 4.2’de yer almaktadır.

Çizelge 4.1 Bu çalışmada incelenen bazı NCB’lerin temel parametreleri

Sistem	V_{mak} (kadir)	Tayf Türü	i (derece)	M_1 (M_{\odot})	M_2 (M_{\odot})	R_1 (R_{\odot})	R_2 (R_{\odot})	a (R_{\odot})	d (pc)
BX And	8 ^m .98 ^a	F2 V ^a	75.73 ^b	1.52 ^b	0.75 ^b	1.68 ^b	1.26 ^b	3.95 ^b	160 ^c
ST Aqr	9 ^m .32 ^a	A7+G8 IV ^d	75.7 ^c	1.50 ^e	0.60 ^e	2.24 ^e	1.19 ^e	4.57 ^e	-
V388 Cyg	8.9 ^a	A3V+G5V ^f	82.4 ^f	-	-	-	-	-	-
V456 Cyg	10 ^m .8 ^a	A2 ^a	-	2.0 ^g	1.7 ^g	1.7 ^g	1.6 ^g	6.03 ^g	600 ^h

^aSIMBAD Veritabanı (<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid>), ^bKermani ve ark. (2005), ^cBell ve ark. (1990), ^dRoman (1956), ^eAl-Naimiy & Fleyeh (1989), ^fKang ve ark. (2001), ^gZakirov & Eshankulova (2006), ^hHIPPARCOS kataloğu (ESA, 1997)

Çizelge 4.2 Bu çalışmada incelenen NCB’lerin O-C analizinde kullanılacak veri dağılımları

Sistem	Toplam Veri sayısı	Toplam birinci minimum	Toplam ikinci minimum	Görsel (v)	Foto-görsel (p)	Fotoğrafik (pg)	Fotoelektrik (pe)	CCD (ccd)
BX And	189	161	28	57	30	1	79	22
ST Aqr	65	56	9	39	-	1	12	13
V388 Cyg	64	56	8	14	2	17	17	14
V456 Cyg	327	266	61	250	17	10	1	49

4.1 BX And

Örten çift sistem olan BX And, F2V tayf türünde olup yaklaşık 0,61 gün yörünge dönemine sahiptir. ADS 1671 görsel çift sisteminin parlak bileşeni olan BX And, 1945 yılında keşfedilmiş olup Solovier (1945) tarafından β Lyrae olarak sınıflanmıştır. Ashbrook (1951), sistemi ışık eğrisinin biçimine göre β Lyr olarak sınıflamıştır. Bu tarihten bu yana BX And, birkaç araştırmacı tarafından gözlenmiş ve analiz edilmiştir. Örten çift sistemin ilk dikine hız eğrileri ve mutlak parametreleri ise Bell ve ark. (1990) tarafından verilmiştir. Bu çalışmada, kütle değerleri dikkat alındığında, Vandenberg (1985) tarafından verilen bağıntıya göre, birinci bileşenin yarıçapı ZAMS'a çok yakın çıkarken, ikinci bileşenin ZAMS'a göre 2-3 kat daha büyük yarıçapa sahip olduğu belirlenmiştir. BX And'a ilişkin son fotometrik çalışma ise Kermani ve ark. (2005) tarafından yapıldı. Dört farklı yılda UBV süzgeçlerinde elde edilen ışık eğrileri çözüldü ve dikine hız eğrileri ile birleştirilen ışık eğrileri analiz edilerek sistemin mutlak parametreleri tekrar elde edilerek M-L ve M-R diyagramlarındaki konumu tartışıldı. Bu çalışmada, her iki bileşeninde Roche loblarını doldurmaya çok yakın olduğu belirlenmiş ve aynı kütledeki anakol yıldızlarına göre daha büyük yarıçapa sahip olduğu ortaya konmuştur. BX And sistemine ilişkin temel bazı parametreler, Çizelge 3.1'de verilmiştir.

BX And'ın yörünge dönemi değişimine ilişkin çalışmalara bakıldığında, ilk kez Chou (1959) ve Ahnert (1975), sistemin 1950 yılı civarında yaklaşık 0,25 s mertebesinde bir dönem artışı gösterdiğini hesaplanmışlardır. Gülmen ve ark. (1988) ise çalışmasında bu artışı doğrulamış ve bunun yanında 1981 yılında da dönem azalması olduğunu rapor etmiştir. Bell ve ark. (1990), O-C değişimlerini 78 yıl dönemli ve 0,015 gün yarı-genlikli bir sinüslü değişim ile temsil etmişlerdir. Son olarak ise Rovithis-Livaniou ve ark. (2005), sistemin yörünge değişimini, parabolik ve üçüncü cismin neden olabileceği 64,2 yıl dönemli sinüslü değişimler yanında "süreklilik yöntemi" olarak adlandırılan başka bir yol ile de analiz etmişlerdir. Yörünge dönemi değişimi üzerine yapılan bu çalışmalardan, dönemin değişimi açık olsa da, detaylı bir analiz yapılmamış ve nedenleri üzerinde durulmamıştır. Bu nedenle, O-C analizinin güncellenmesi ve değişimlerinin kaynakları üzerinde durmak gereklidir.

4.1.1 Yörünge Dönemi Analizi

Örten çift sistem BX And'ın yörünge döneminin analizi için, literatürde yayınlanmış ve ulaşılabilen tüm minimum zamanları toplandı. Sisteme ilişkin minimum zamanları için ilk olarak, Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayınlanan "Örten Çift Yıldızların O-C Atlası" veritabanında bulunan veriler alındı. 2001 yılından sonra yayınlanmış çalışmalar da incelenerek bu tarihten itibaren yeni belirlenen minimum zamanlarının tümü Brát ve ark. (2007) çalışmasından alınarak analiz için birleştirildi. BX And için, O-C analizinde kullanılan verilerin dağılımı Çizelge 4.2'de görülebilir.

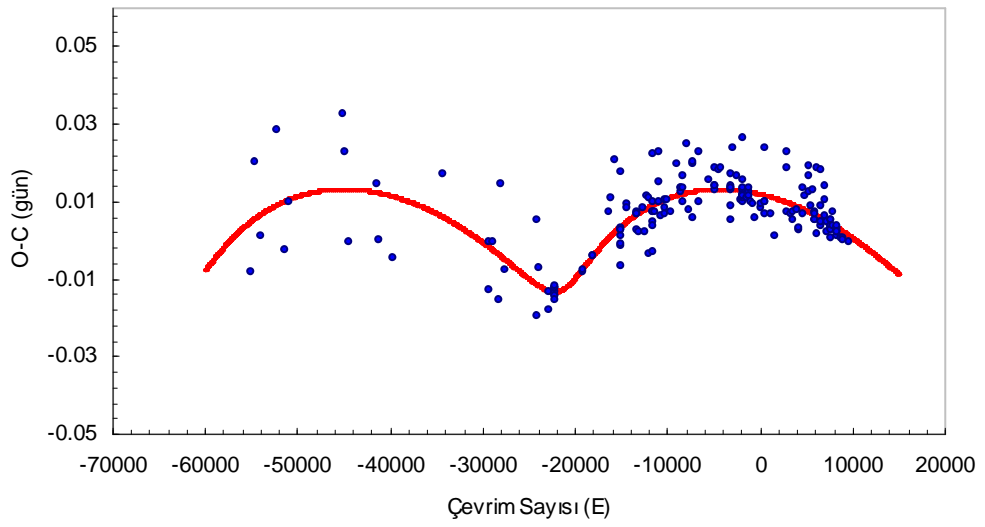
BX And'ın, Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayınlanan O-C atlasındaki O-C diyagramında yörünge döneminde değişim olduğu açıktır. İlk olarak son veri seti ile O-C farklarını hesaplamak için, yine aynı atlasta verilen aşağıdaki ışık elemanları kullanıldı:

$$\text{Min I (HJD)} = 24\,482\,374,893 + 0^d,61011419 \times E \quad (4.1)$$

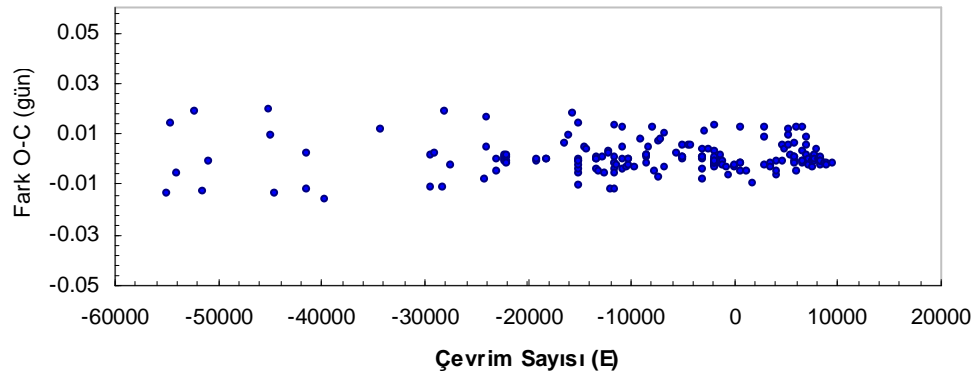
O-C değişiminin biçimi parabolik ve çevrimsel değişimleri gösterdiğinden, ilk olarak parabolik ve basık yörüngeli bir üçüncü cisim etkisini içeren denklem ile veri temsil edilmeye çalışıldı. Ancak, parabolik terim anlamlı bir değere yaklaşmadığından, O-C verisini modellemek için, Irwin (1959)'da verilen (3.3) denklemi kullanıldı: Burada bulunması gereken parametreler; başlangıç minimum zamanı (T_0), yörünge dönemi (P), üçüncü cisim yörüngesi için yarı-büyük eksen uzunluğu (a sini), basıklık (e) ve enberinin boylamı olan (ω)'dır. Burada gerçek ayırlık (v) değerinin bulunuşu önemlidir. Üçüncü cisim etrafındaki basık yörüngenin e , ω ve yörünge eğimine (i) bağlı olarak zamana göre v açısı değişmektedir. Farklı zamanlar için v hesaplanır ve (Denklem 3.3)'de diğer bilinmeyenler ile birlikte diferansiyel düzeltmeli regresyon analizi sonucunda bulunur. Bu çözüm sonunda, (O-C) dağılımına en iyi uyan basık sinüs eğrisine ilişkin hesaplanan parametreler ve bunların yanılığları bulundu. Bu yöntem kullanılarak, BX And'ın O-C değişimi (Denklem 3.3)'de verilen denklem ile temsil edildi. Analiz sonucu bulunan parametreler ve yanılığları Çizelge 4.3'te, O-C verileri ile onları temsil eden kuramsal eğri ise Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. BX And'ın O-C analizinden bulunan üçüncü cismin yörüngesi için parametreler ve çiftin ışık elemanları

Parametre	Değeri	Yanılığısı
T_0 (H JD)	24 48237.4763	± 0.0009
P (gün)	0.61011363	$\pm 4 \times 10^{-8}$
T_s (H JD)	35301	± 1087
P_s (yıl)	67.9	± 2.6
a_{12} sini (AB)	2.35	± 0.14
ω (derece)	294	± 15
e	0.55	± 0.05
$\Sigma (O-C)^2$	0.0179	-



Şekil 4.1. BX And'ın O-C değişimi ve bu veriyi temsil eden ışık-zaman etkisini gösteren kuramsal eğri.



Şekil 4.2. BX And'ın O-C değişimini temsil eden kuramsal eğriden olan O-C artıklarının değişimi.

BX And'ın yörünge dönem değişiminin analizi incelendiğinde, çift sistemin üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında yaklaşık 68 yıl dönemle dolandığı görülmektedir. Olası cisim ve gözlenebilecek etkilere ilişkin bazı parametreler verilebilir. Bu parametreleri hesaplamak için kullanılan formüller farklı kaynaklarda verilmiştir (Soydugan, 1999; Soydugan, 2005; Erdem ve ark., 2007). Bu parametrelerden en önemlisi kütle fonksiyonu ($f(m_3)$) olup, olası üçüncü cismin kütlesini bulmamıza olanak sağlar. O-C analizi sonucunda bulunan parametreler kullanılarak bulunan $f(m_3)$ değeri $0,0028 M_{\odot}$ olup minimum kütle değeri ise $0,25 M_{\odot}$ olarak hesaplanmıştır. Demircan ve Kahraman (1991) tarafından verilen kütle-bolometrik parlaklık bağıntılarından, olası üçüncü cisim ile birinci ve ikinci bileşen arasındaki bolometrik parlaklık farkı sırasıyla, yaklaşık 7^m ve 3^m olarak hesaplanmıştır. Bu parlaklık farkları, böyle bir üçüncü cisim, şu an için, ışık eğrisinde ve tayf verisinde çözmemizin kolay olmayacağını göstermektedir. Ayrıca bu kütlerdeki olası görülemeyen üçüncü cismin, çift sistemin kütle merkezi hızında oluşturacağı değişimin genliği yaklaşık 3 km/s olacaktır ki bu genlikli değişimi elde edebilmek için çok yüksek çözümleme gücünde ve zamana yayılmış tayflara ihtiyaç vardır. Ayrıca, olası üçüncü cisim ile çift arasındaki maksimum açısal ayrıklık değeri de $0'',09$ olarak hesaplanmıştır.

4.2 ST Aqr

ST Aqr (HD 211965, SAO 146035), 1908 yılında Bayan Leavitt tarafından keşfedildi ve Algol türü değişen yıldız olarak sınıflandı. Zacharov (1930) ise yörünge dönemini 0,7810161 gün olarak belirledi ancak sistem bu kez, ışık eğrisinin görünümüne göre, β Lyr olarak sınıflandı. ST Aqr'nın sıcak ve soğuk bileşenlerinin tayf türleri ise sırasıyla, A7 ve G8 IV olarak önerilmiştir (Roman, 1956). Sistemin UBV süzgeçleri ile fotoelektrik olarak ışık değişimleri Gleim (1973) tarafından elde edildi ve bu değişimler Mardirossian ve ark. (1980) tarafından Wood yöntemi ile çözüldü. Bu çözümde, sistemin her iki bileşenin de Roche lobunu doldurduğu belirlendi. Al-Naimiy ve ark. (1988), ST Aqr'yı B ve V süzgeçlerinde gözleyerek ışık eğrilerini Fourier dönüşümlerine dayalı kuramsal yaklaşımı kullanarak çözdüler ve sistemin aşarı-değen olarak belirlediler. Son olarak Jassur ve ark. (2000), sistemi U, B ve V süzgeçlerinde gözleyerek ışık eğrilerini analiz etti ve sistemin soğuk bileşenin Roche lobunu doldurduğunu, sıcak bileşenin ise doldurmak üzere olduğunu belirledi. Ayrıca, her iki bileşenin de anakol evresini geçmiş evrimleşmiş yıldızlar olduğunu ortaya koydular.

ST Aqr'nın yörünge dönemi değişimine ilişkin literatürde yayınlanmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Ancak, Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayınlanan O-C atlasında, yörünge döneminin değişimi açıkça görülmektedir. Bu nedenle ST Aqr, bu çalışma kapsamında incelenecektir.

4.2.1 Yörünge Dönemi Analizi

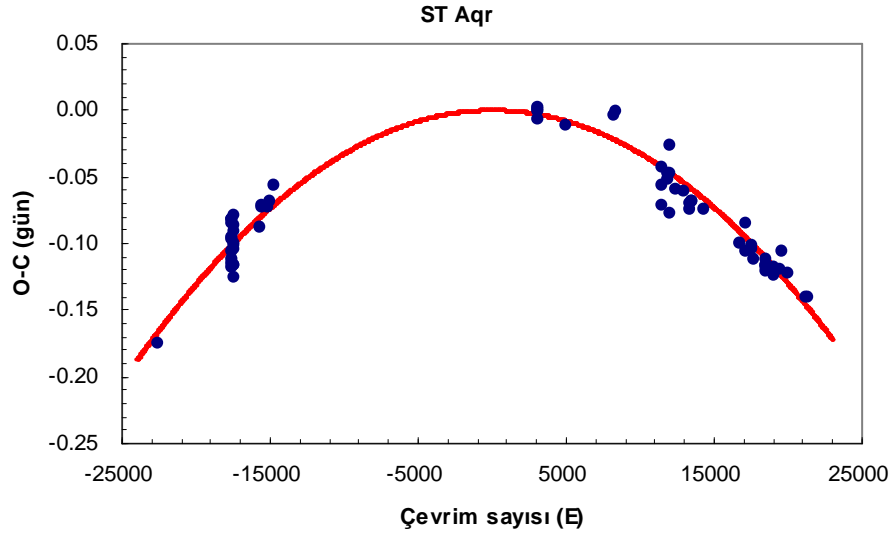
ST Aqr'nın minimum zamanları için yine Kreiner ve ark. (2001) tarafından oluşturulan veritabanı kaynak olarak kullanıldı. Bu kaynakta verilen O-C grafiğinden değişimin parabolik olduğu açıktır. Ancak aynı kaynakta O-C değerlerini hesaplamak için kullanılan başlangıç minimum zamanı değeri ($T_0 = \text{HJD } 41236,2636$), parabolik değişimin tepe noktası civarına gelmediğinden bu T_0 değeri kullanılarak hesaplanan $2437331,2820$ (HJD) değeri başlangıç minimum zamanı olarak alındı. O-C değerlerini hesaplamada kullanılan dönem ise $0,78100243$ gün olup Kreiner ve ark. (2001) tarafından verilen değerdir. Bu ışık elemanları kullanılarak hesaplanan O-C değerlerinin değişimini temsil etmek için parabol ifadesi içeren denklem kullanıldı. Bu denklem şu şekilde verilebilir:

$$\text{Min I} = \text{HJD } T_0 + P_{\text{orb}} \cdot E + Q \cdot E^2 \quad (4.2)$$

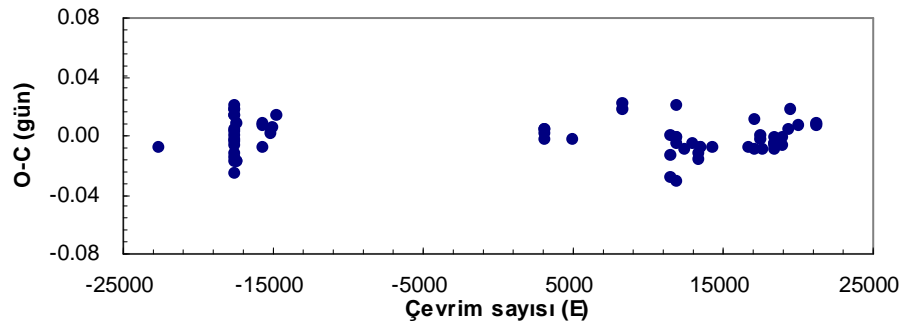
O-C değerleri en küçük kareler yöntemi ile bu denklem yardımıyla temsil edildiğinde bulunan parametreler Çizelge 4.4'te verilmektedir. O-C değerlerinin çevrim sayısına (E) göre değişimi ve onların parabolik-kuramsal ile temsili ise Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Kuramsal temsilden farklar ise Şekil 4.4'te çizdirilmiştir.

Çizelge 4.4. ST Aqr'nın O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim

Parametre	Değeri	Yanlgısı
T_0 (H JD)	24 37331.3226	± 0.0006
P (gün)	0.78100085	$\pm 5 \times 10^{-8}$
Q (gün)	-3.26×10^{-10}	$\pm 3.0 \times 10^{-12}$
$\Sigma (\text{O-C})^2$	0.0265	-



Şekil 4.3. ST Aqr'nın O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri.



Şekil 4.4. ST Aqr'nın kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları.

ST Aqr'nın O-C analizi sonucunda yörünge döneminin azaldığı açıkça görülmektedir. Bu azalma miktarını aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanabilir:

$$\frac{dP}{P} = \frac{2Q}{P} \quad (4.3)$$

Burada, Q terimi, O-C değişimini temsil etmek için kullanılan ve Denklem 4.2'te verilen parabolik terimin katsayısı, P ise yörünge dönemini göstermektedir. Buna göre ST Aqr için dP/P değeri, $8,35 \times 10^{-10}$ olarak hesaplanabilir. Bu değer farklı bir birimde, yörünge dönemindeki azalmanın 2,6 s/yüzyıl olduğunu göstermektedir. Sistem için gözlenen dönem değişimi dP/dt ise $-3,9 \times 10^{-7} \text{ yıl}^{-1}$ olarak hesaplanabilir. Bu yörünge dönemi değişiminin kaynağı için, Roche lobunu doldurmuş büyük kütleli bileşenden küçük

kütleli bileşene doğru kütle aktarımı önerilebilir. Ancak Jassur ve ark. (2000)'nin çalışmasında ST Aqr'nın küçük kütleli bileşenin Roche lobunu doldurduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, gözlenen yörünge dönem değişimi sistemdeki kütle aktarımı ile açıklanamaz. Sistemin bileşenlerinin tayf türü A7 ve G8 IV olarak önerildiği (Roman, 1956) düşünülürse, ikinci bileşenin Güneş türü manyetik etkinlik göstermesi olasıdır. Bu nedenle, manyetik aktivite nedeniyle olası açıl momentum kaybı, ST Aqr'da gözlenen yılda yaklaşık 0,03 s'lik dönem azalmasının nedeni olabilir.

4.3 V388 Cyg

V388 Cyg (HD 332329 = BD +30 4051, $V=8^m.9$), NCB'lerin bir üyesi olup Morgenroth (1935) tarafından değişen yıldız olarak keşfedilmiştir. Işık öğeleri farklı yazarlar tarafından belirlenmiştir (Kwick, 1936; Whitney, 1959, Kreiner ve Tremko, 1986). Fotoğrafik ışık eğrileri Fedorovich (1948) ve Gaposhkin (1953) tarafından elde edilmiştir. Cerruti-Sola ve ark. (1977), ilk fotoelektrik ışık eğrisini V bandında elde etmiştir. Bu ışık eğrisi daha sonra farklı yazarlar tarafından çözülmüştür. İlginç olan farklı araştırmacıların analizleri, V388 Cyg için ayırık, yarı-ayırık ve degen sistem olmak üzere üç farklı Roche geometrisi ortaya koymuştur. Sistem üzerine yapılan en ayrıntılı ve en son çalışmada, elde edilen BVR ışık eğrileri çözülmüş ve ışık eğrilerindeki asimetriden O'Connell etkisi belirlenmiştir (Kang ve ark. 2001). Sistemin ışık eğrileri analiz edilerek ilk kez ayrıntılı bileşen parametreleri belirlenmiş ve soğuk bileşen üzerindeki bir soğuk leke ile ışık eğrisindeki asimetric değişimler açıklanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, sistem yarı-ayırık olarak belirlenmiş olup birinci bileşenin Roche lobunu doldurduğu ortaya konmuştur. Aynı çalışmada sistemin bileşenlerinin tayf türleri ise A3V+G5V olarak önerilmiştir.

V388 Cyg örten çift sisteminin yörünge dönem analizi ilk olarak Cerruti-Sola ve ark. (1977) ve daha sonra Milano ve Russo (1983) tarafından yapıldı. Cerrui-Sola ve ark. (1977), sistemin döneminin, büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene doğru Kelvin-Helmholtz zaman ölçeğinde gerçekleşen kütle aktarımı nedeniyle azaldığını ortaya koydu. Sonraları, Kreiner ve Tremko (1986)'da 36 minimum zamanı kullanarak aynı tür değişimi belirlediler. V388 Cyg'nin yörünge dönem değişimi son kez Kang ve ark. (2001) tarafından 10 minimum zamanı daha eklenerek, toplam 46 minimum zamanı kullanılarak yapıldı. Bu çalışmada da, sistemin yörünge döneminin $dP/dt \approx -2,06 \times 10^{-7}$ gün/yıl oranında azaldığı belirlendi.

4.3.1 Yörünge Dönemi Analizi

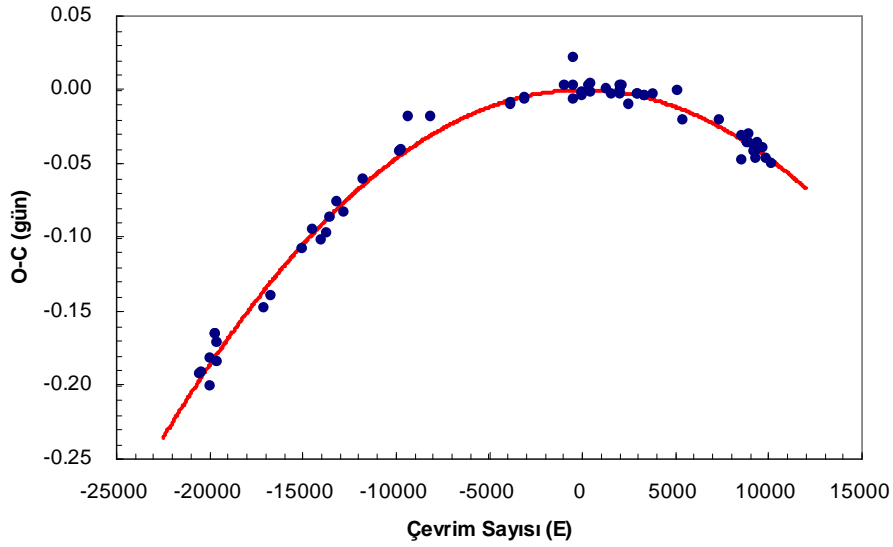
NCB türü sistem V388 Cyg'nin yörünge dönemi değişimi gösterdiği, yaklaşık 40 yıldır, bilinmektedir. Yukarıda belirtilen önceki çalışmalarda, yörünge döneminin azalmakta olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da, sistemin yörünge dönem analizini yenilemek için sistemin minimum zamanları tekrar literatürden derlenerek birleştirilmiştir. Toplanan minimum zamanı sayısı 64 olup bunlardan 56 tanesi birinci minimum, 8 tanesi ise ikinci minimum zamanıdır (Çizelge 4.2).

V388 Cyg için O-C değerlerini hesaplamada, başlangıç minimum zamanı olarak 2445231,4231 (HJD) değeri (Niarchos, 1983), başlangıç yörünge dönemi için ise 0,85903488 gün değeri (Kreiner ve ark., 2001) kullanılmıştır. Bu T_0 ve P ışık elemanları kullanılarak hesaplanan O-C değerlerinin değişimini temsil etmek için parabol ifadesi içeren denklem (4.2) kullanıldı. En küçük kareler yöntemi kullanılarak O-C verisine uygulanan bu denklem ile sonuçta Çizelge 4.5'de verilen parametrelere ulaşıldı. Bu parametreler yardımıyla O-C gözlem verileri ve elde edilen kuramsal parabolik eğri Şekil 4.5'de gösterilirken, kuramsal eğriden olan farklar ise Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Bu analiz sonucunda, O-C değişiminin azalan bir parabol ile iyi temsil edildiği ilgili şekillerden açıkça görülmektedir.

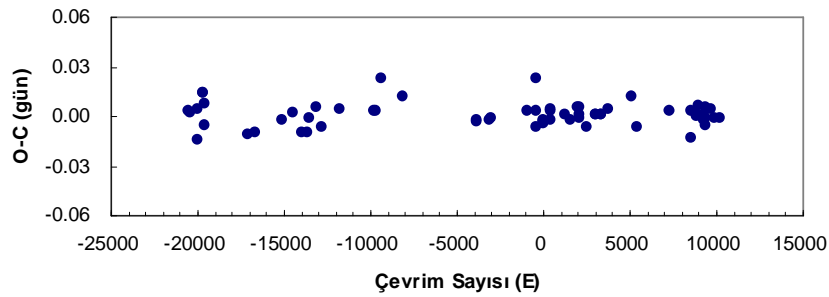
Çizelge 4.5. V388 Cyg'nin O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim

Parametre	Değeri	Yanılıgısı
T_0 (H JD)	24 45231.4231	± 0.0002
P (gün)	0.85903488	$\pm 2 \times 10^{-8}$
Q (gün)	-4.65×10^{-10}	$\pm 2.0 \times 10^{-12}$
$\Sigma (O-C)^2$	0.0106	-

V388 Cyg'nin O-C diyagramı, yörünge döneminin azaldığını göstermektedir. Elde edilen parabolik terim ($Q=-4,65 \times 10^{-10}$ gün), Denklem (4.3)'te kullanıldığında, yörünge dönemindeki azalma miktarı, $-0,034$ s/yıl veya $dP/dt \approx -4,60 \times 10^{-7}$ yıl⁻¹ olarak hesaplanabilir.



Şekil 4.5. V388 Cyg'nin O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri.



Şekil 4.6. V388 Cyg'nin kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları.

V388 Cyg'nin yörünge dönem azalması, Roche lobunu dolduran birinci bileşenden ikinci bileşene doğru olan kütle aktarımı ile açıklanabilir. Bu durumda, aktarılan kütle miktarını hesaplamak için bileşenlerin ayrı ayrı kütlelerine ihtiyaç vardır. Ancak, sistemin mutlak parametreleri henüz elde edilememiştir. Bu nedenle, Kang ve ark. (2001) tarafından

verilen A3V+G5V tayf türlerine karşılık, Budding (1993) tarafından verilen kütle değerleri ($M_1=1,91 M_{\odot}$ ve $M_2=0,90 M_{\odot}$) kütle aktarım oranını bulmada kullanılabilir. Bu durumda, korunumlu kütle aktarımı varsayımı ile, birinci bileşenden ikinci bileşene aktarılan kütle miktarı $dM_1/dt \approx 2,6 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ olarak hesaplanır.

4.4 V456 Cyg

V456 Cyg (BD +38 4107, TYC 3152-323-1), kısa dönemli (Kreiner ve ark. 2001) örten çift sistem olup maksimum V parlaklığı $10^m,8$ olarak verilmektedir (SIMBAD veritabanı). Algol türü sistemin tayf türü de aynı veritabanında A2 olarak verilmektedir. V456 Cyg sistemine ilişkin ilk ve tek çalışma Zakirov ve Eshankulova (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada, sistemin U, B, V ve R süzgeçleri ile elde edilen ışık eğrileri çözülmüş ve salt parametreleri (Çizelge 3.1) tahmin edilmiştir. Ayrıca, sistemin bileşenlerinin henüz ZAMS'a gelmediği ve yaşlarının 10^7 yıl olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, V456 Cyg'nin uzaklığı da yaklaşık 600 pc olarak belirlenmiştir. Bunun yanında, Liakos ve Niarchos (2009) ve Dvorak (2009) tarafından yapılan, seçilen bazı örten çift sistemlerde pulsasyon yapan bileşen araştırmalarında, V456 Cyg'de aday sistem olarak yer almış ancak yapılan ışıkölçüm gözlemlerinde sıcak bileşenine ilişkin zonklama kaynaklı ışık değişimi belirlenememiştir.

V456 Cyg'nin yörünge dönemi değişimi üzerine yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Fakat Zakirov ve Eshankulova (2006), minimum zamanı hesaplanırken parabolik terimin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiş ve bu terimi $\sim 1,5 \times 10^{-10}$ gün olarak vermiştir. Bunun yanında, sistemin O-C grafiğinde yörünge döneminin değiştiği açıktır (Kreiner ve ark. 2001).

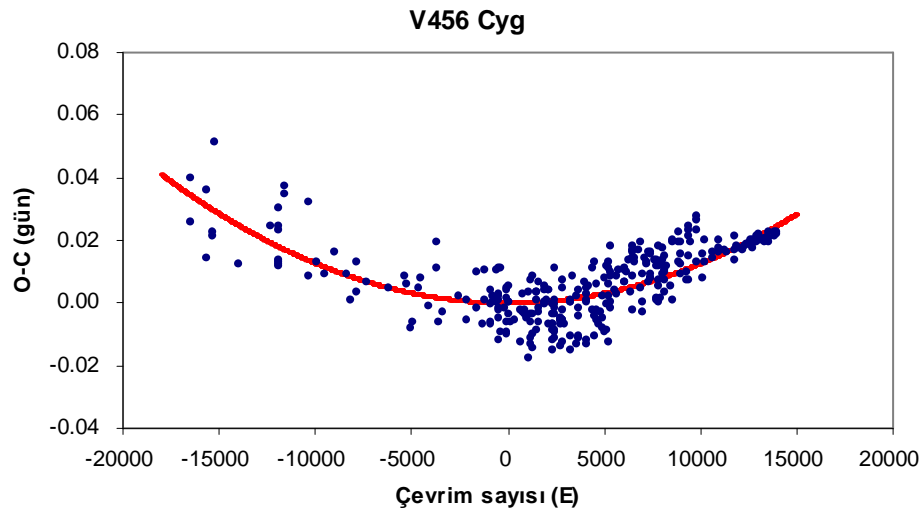
4.4.1 Yörünge Dönemi Analizi

V456 Cyg'nin yörünge dönem analizini yapmak için, minimum zamanlarının derlendiği temel kaynak Kreiner ve ark. (2001) tarafından oluşturulan veritabanıdır. Analizde ayrıca bu tarihten itibaren yayınlanan minimum zamanları da bu listeye eklenerek tüm veriler O-C diyagramını oluşturmak üzere hazırlandı. Toplanan veri sayısı ile bilgi Çizelge 4.2'de yer almaktadır.

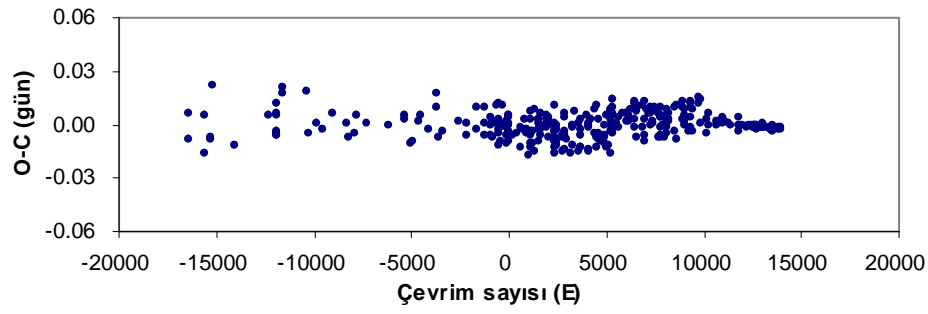
O-C artıklarını hesaplama için kullanılan başlangıç ışık elemanları ise, $T_0 = 24\,41585,429$ (BBSAG Bülten, 1972), ve $P = 0,89119355$ gün (Kreiner ve ark., 2001)'dir. Bu ışık elemanları kullanılarak O-C değerleri hesaplanıp çevrim sayısına (E) karşı grafiğe dökülürse değişimin genel karakterinin parabolik olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle, O-C artıkları ST Aqr sisteminin dönem analizinde yapıldığı gibi parabolik denklem kullanılarak (Denklem 4.2) temsil edilmiştir. Analiz sonucunda bulunan parametreler, Çizelge 4.6'te verilmiştir. Ayrıca, bu parametreler kullanılarak hesaplanan kuramsal eğri ile O-C verilerinin uyumu Şekil 4.7'de, kuramsal eğriden farklar ise Şekil 4.8'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. V456 Cyg'nin O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim

Parametre	Değeri	Yanılıgısı
T_0 (H JD)	24 41585.4238	± 0.0004
P (gün)	0.89119365	$\pm 3 \times 10^{-8}$
Q (gün)	1.26×10^{-10}	$\pm 3.0 \times 10^{-12}$
$\Sigma (O-C)^2$	0.0115	-



Şekil 4.7. V456 Cyg'nin O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri.



Şekil 4.8. V456 Cyg'nin kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları.

V456 Cyg sistemi, Shaw (1994) tarafından değmeye yakın sistem olarak sınıflandırılmıştır. Ancak sistem üzerine yapılan tek çalışmada (Zakirov ve Eshankulova, 2006), bu konuda açık bir bilgi yer almamaktadır. Sistemin dönem artışı gösterdiği açıktır. Bu değişim miktarı, (Denklem 4.3 ile) hesaplandığında $dP/P \approx 1,03 \times 10^{-7}$ gün/yıl veya 0,9 s/yüzyıl olarak bulunur. Farklı bir birimle gözlenen dönem değişim miktarı ise, $dP/dt \approx 1,16 \times 10^{-7}$ yıl⁻¹ olarak verilebilir. Sistemin küçük bileşeni eğer Roche lobunu doldurmuş ise bu dönem artışı küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene kütle aktarımı sonucu ortaya çıkabilir. Korunumlu kütle aktarım miktarını hesaplamak için Soydugan (2005) tarafından verilen formül kullanılırsa, $dM_2/dt \approx 4,4 \times 10^{-7} M_{\odot}/yıl$ olarak hesaplanır. Bunun doğrulanması için sistemin Roche geometrisi ve doldurma durumu iyi bilinmeli ve kütle aktarımına ilişkin kanıt bulunmalıdır. Ayrıca, bu O-C değişiminin, olası üçüncü bir cisimden kaynaklanabilecek çok uzun dönemli (>75 yıl) bir sinüslü değişimin parçası olabileceği de düşünülerek ilerleyen yıllarda minimum zamanları gözlenerek bu olasılık da test edilmelidir.

BÖLÜM 5 SONUÇLAR

Değmeye yakın çift sistemler, çift yıldızların evrim senaryosu içinde kilit bir rol oynamaktadır. β Lyr türü ışık eğrisi gösteren bu sistemlerin, yörünge dönemleri bir günden küçüktür. Birinci bileşenleri, A-F ve ikinci bileşenleri de genellikle G-K tayf türünden olmaktadır. NCB'lerin bir ilginç özelliği de, sistemlerin bileşen(ler)i her ne kadar değmeye yakın veya değişiyor ise de, ışık eğrisi analizlerinde, NCB'ler ayırık, yarı-ayırık ve değen sistem olarak bulunabilmektedirler. Bu sistemlere ilişkin araştırmaların bir önemi de, onların A-türü W UMa çift yıldız sistemlerinin atası olduklarının düşünülmesidir. Bunun kanıtlarından biri olarak da, NCB'lerin büyük olasılıkla kütle aktarımı evresinin erken evrelerinde olmasındandır (Kang ve ark., 2001).

NCB'lerin yörünge dönem değişimleri incelendiğinde, bu tür içinde bir grubun dönem azalması gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuçta onların W UMa türü değen sistemlerin A türüne doğru evrimleştiklerini gösteren kanıtlardan biri olabilir. Bu nedenle, NCB'lerin dönem değişimlerinin araştırılması, evrimleri ile ilgili sonuçlara ulaşmada önemli sonuçlar vermektedir. Bu tez çalışmasında da, dört NCB'nin (BX And, ST Aqr, V388 Cyg ve V456 Cyg) yörünge dönem değişimleri incelenmiş ve nedenleri üzerinde durulmuştur. Seçilen bu aday dört sistemden biri F türü olup diğerleri A türü değmeye yakın çift sistemlerdir. Bu sistemlerin yörünge dönem analizleri ve nedenleri üzerindeki çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

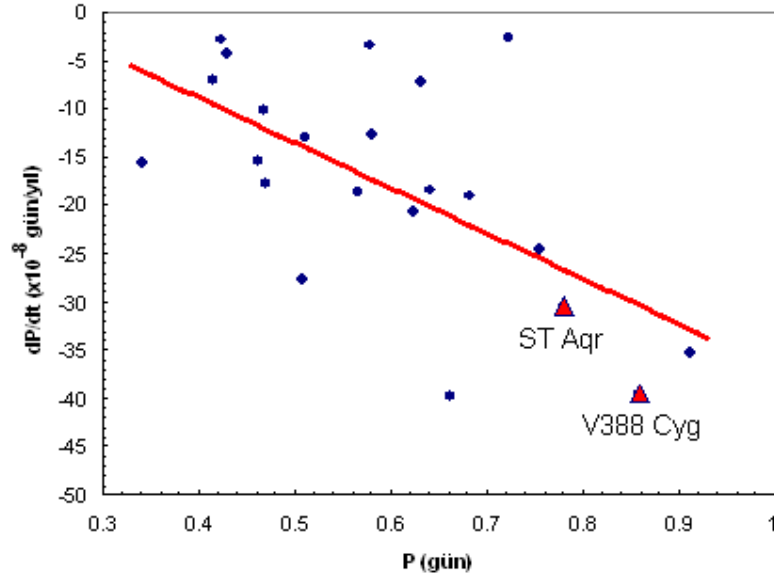
- i) BX And sistemi F2 V tayf türünden olup yörünge dönemi 0,61 gün olan ve bileşenlerinin her ikisi de Roche loblarını doldurmaya yakın bir NCB türü sistemdir (Kermani ve ark., 2005). O-C diyagramı, yaklaşık 100 yıllık aralığa yayılmış veri içermektedir. O-C verileri, dönemli bir değişim göstermekte olup, bunun da sistemde görülemeyen olası bir üçüncü cisimden kaynaklanabileceği önerilmiştir. Çift sistemin üçlü sistemin kütle merkezi etrafındaki dolanma dönemi yaklaşık olarak 68 yıl bulunmuştur. Olası üçüncü cismin minimum kütlelerinin değeri ise $0,25 M_{\odot}$ olup gözlemlerden çıkarılması oldukça güçtür. Sistemin O-C diyagramında herhangi bir parabolik değişime rastlanmamıştır. Bunun nedeni olarak, bileşenlerin henüz Roche loblarını doldurmamış oldukları

gösterilebilir. Bu durumda, BX And, henüz kütle aktarımı evresine başlamamış erken evredeki bir F sınıfı NBC olarak önerilebilir.

- ii) ST Aqr, örten çift sistemi, A7+G8IV tayf türünde ve yaklaşık 0,78 gün yörünge dönemli NCB türü bir sistemdir (Roman, 1956). Sistemin soğuk bileşeni Roche lobunu doldurmuş iken sıcak bileşeni ise doldurmaya yakındır (Jassur ve ark., 2000). Bu çalışmada, sistemin yörünge dönem analizi ilk kez yapılmıştır. ST Aqr'nın O-C verilerinin, azalan bir parabolik değişim gösterdiği belirlenmiştir. Bu sonuç da, sistemin yörünge döneminin azaldığını gösterir. Dönemdeki azalma oranı, -2,6 s/yüzyıl olarak hesaplanmıştır. Sistemdeki dönem azalması, kütle aktarımı ile açıklanamadı çünkü sistemde Roche lobunu dolduran bileşen küçük kütlelidir. Bu durumda, yörünge dönem azalmasının nedeni olarak, geri türden ikinci bileşenin (G8IV) olası manyetik etkinliğinin neden olduğu açıl momentum kaybı gösterilebilir. ST Aqr, dönem azalması gösteren evrimleşmiş ve yarı-ayrık bir NCB olarak sınıflanabilir.
- iii) V388 Cyg çift sistemi, yaklaşık 0,86 gün dönemli A3V+G5V tayf türünde yarı-ayrık bir NCB türü sistemdir (Kang ve ark., 2001). Bu çalışmada sistemin yörünge dönemi, O-C yöntemi ile analiz edilmiş ve yörünge döneminin azaldığı belirlenmiştir. Yörünge döneminde azalma miktarı ise $dP/dt \approx -4,6 \times 10^{-7} \text{ yıl}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. V388 Cyg'nin bu dönem azalmasının nedeni olarak, Roche lobunu doldurmuş olan büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene olan kütle aktarımı gösterilebilir. Sistemdeki dönem azalma miktarı ve bileşen kütleleri kullanılarak, korunumlu kütle aktarımı kabulünde, kütle aktarım oranı, $dM_1/dt \approx 2,6 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ olarak belirlenmiştir.
- iv) V456 Cyg örten çift sistemi, A2 tayf türünde henüz anakola ulaşmaya çalışan yaklaşık 0,89 gün dönemli genç bir NCB türü sistemdir (Zakirov ve Eshankulova, 2006). Sistemin literatürde ayrıntılı bir yörünge dönem değişimi çalışması olmamasına rağmen parabolik değişim olabileceği önerilmiştir (Zakirov ve Eshankulova, 2006). Bu çalışmada, sistemin O-C verileri yaklaşık 70 yıllık bir zaman aralığına yayılmış olup, artan bir parabolik değişim göstermektedir. Bu parabolik değişim, sistemin yörünge döneminin $dP/P \approx 1,03 \times 10^{-7} \text{ gün/yıl}$ mertebesinde bir dönem artışına karşılık gelir. V456 Cyg'nin Roche geometrisine ilişkin açık bir çalışma veya bilgi bulunmadığından kütle aktarımına ilişkin bilgi vermek zordur. Ancak küçük

kütleli bileşenden diğer bileşene doğru bir kütle aktarımı bu dönem artışını doğuruyorsa, yine korunumlu kütle aktarımı kabulünde, kütle aktarım oranı, $dM_2/dt \approx 4,4 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{yıl}$ olarak verilebilir.

NCB'lerin yörünge dönem değişimlerine ilişkin çalışmalarda, bazı sistemlerin dönemlerinde azalma olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da, yörünge dönem analizi yapılan ST Aqr ve V388 Cyg'de dönem azalması belirlenmiştir. Bu durumda, Qian (2002) tarafından verilen listedeki (Çizelge 3.2) NCB'lere bu çalışmada dönem azalma miktarları hesaplanan ST Aqr ve V388 Cyg'nin eklenmesi ile, $dP/dt - P$ ilişkisi yenilenmiş ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. NCB'lerde dönem azalması gösteren sistemler için $dP/dt - P$ grafiği.

Bu durumda, dönem azalması gösteren NCB'ler ile onların yörünge dönemleri arasındaki bağıntı:

$$\frac{dP}{dt} = -4,7(\pm 1,3) \times 10^{-7} \times P + 1,0(\pm 0,8) \times 10^{-7} \quad (5.1)$$

denklemleri ile verilebilir. Burada, P yörünge dönemi olup birimi gün iken dP/dt ise dönemdeki değişim miktarı olup birimi gün/yıl olarak kullanılmıştır. Bu çalışmadaki aday

sistemler olan ST Aqr ve V388 Cyg'nin de NCB'lerin dönem azalması gösteren sistemleri ile uyumluluk gösterdiği açıkça görülmektedir.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, farklı evrim aşamalarında olan dört NCB türü sistemin yörünge dönem değişimi incelenmiş ve nedenleri araştırılmıştır. Bu tür sistemlerin mutlak parametrelerini duyarlı olarak belirlenmesi ve yörünge dönem değişimlerinin daha fazla sistem ile birlikte değerlendirilmesi çift yıldız evrimi açısından önemli bilgiler kazanılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahnert P., 1975. Die Periodenänderung von BX Andromedae. *Mitt. Veränderliche Sterne*, 6: 189: 193.
- Al-Naimiy H. M., Fleyeh H. A., 1988. Photoelectric Observations of ST Aquarii. *IBVS* 3277: 1.
- Al-Naimiy Hamid M. K., Fleyeh Hasan A., 1989. Photometric Observations and Light Curve Analysis of ST Aquarii. *Ap&SS* 151: 29.
- Ashbrook J., 1951. The Eclipsing Variable SVS 995 Andromedae. *Astronomical Journal*, 56: 54-55.
- Applegate J.H., 1992. A Mechanism for Orbital Period Modulation in Close Binaries. *Astrophysical Journal*, 385: 621-629.
- Bell S.A., Rainger P.P., Hilditch R.W., Hill G., 1990. A Photometric and Spectroscopic Study of BX Andromedae. *Monthly Royal Astronomical Society, Monthly Notices*, 244: 328-340.
- Bradstreet D.H., 1993. An Interactive Graphical Tool for Preliminary Light Curve Analysis, E.F.Milone (editör) *Light Curve Modeling of Eclipsing Binary Stars*. 151p.
- Bradstreet D.H., Steelman D.P., 2004. Binary Maker 3.0, *Contact Software, Norristown PA*, 19087.
- Brát L., Zejda M., Svoboda P., 2007. B.R.N.O. Contributions #34. *Open European Journal on Variable Stars*, vol. 0074, Issue 1: 1p.
- Budding E., 1993. Introduction to Astronomical Photometry, Second Edition, *Cambridge University Press*, 1993, 53p.
- Budding E., Demircan O., 2007. Introduction to Astronomical Photometry, Second Edition, *Cambridge University Press*, 2007, 279-307p.
- Caroll S.M., Guinan E.F., Mc Cook G.P., Donahue R.A., 1991. Interpreting Epsilon Aurigae. *ApJ*, 367: 278.
- Cerruti M.A., 1994. The Period of AG Phoenicis has Decreased. *IBVS*, 4052: 1.
- Cerruti-Sola M., Lorenzi L., Scaltriti F., 1977. Photoelectric Observations of The Eclipsing Binary V388 CYG. *A&AS*, 27: 435.
- Chou C.-K., 1959. New Light Elements of Five Eclipsing Variables. *AJ*, 64: 468.
- Clausen J.V., Jensen K.S., 1979. Classification Based on 102/A/mm Objective Prism Spectra. *RA*, 9: 479.

- Çiçek C., Erdem A., Soyduğan F., 2005. A Near-Contact Binary: CN Andromedae. *AN*, 326: 127.
- Davidge T.J., Milone E.F., 1984. A Study of The O' Connel Effect in the Light Curves of Eclipsing Binaries. *ApJ Suppl.*, 55: 571.
- Değirmenci Ö.L., Bozkurt Z., Yakut K., Demircan O., Erdem A., Çiçek C., Bulut I., Soyduğan F., Soyduğan E., Esenoğlu H., 2007. The First BVR Light Curves and Period Analysis of The Eclipsing Binary V821 Cas. *NewA*, 12: 322.
- Demircan O., Kahraman G., 1991. Stellar Mass-Luminosity and Mass-Radius Relations. *Ap&SS*, 181: 313.
- Dvorak S., 2009. Survey of Candidate Pulsating Eclipsing Binaries – I. *Communications in Asteroseismology*, Vol. 160: 64p.
- Erdem A., Soyduğan F., Doğru S. S., Özkardeş B., Doğru D., Tüysüz M., Demircan O., 2007. First Period Analyses of Five Neglected Algol-Type Eclipsing Binaries: TT And, V342 Aql, RW Cap, BZ Cas and TW Lac. *New Astronomy*, 12: 61.
- ESA, 1997. The Hipparcos & Tycho Catalogues, ESA SP-1200.
- Fedorovich V., 1948. *Variable Stars*, 6: 213.
- Flannery Brian P., 1976. A Cyclic Thermal Instability in Contact Binary Stars. *ApJ*, 205: 217.
- Gaposhkin S., 1953. *Ann. Har. Coll. Obs.*, 113, No.2.
- Gleim J. K., 1973. Photoelectric Photometry of ST Aquarii. *AJ*, 78: 622.
- Gray Jamison D., Samec Ronald G., Carrigan Brian J., 1997. Photometric Analysis of a Near-Contact Binary, HL Aurigae: Evidence for a Third Body. *AJ*, 113: 2270.
- Gulmen O., Gudur N., Sezer C., Eker Z., Keskin V., Kilinc B., 1988. A New Period Change of BX And. *IBVS*, 3266: 1.
- Hall D.S., Neff S.G., 1976. Mass Transfer Rates in Algol Binaries Deduced from Their Period Changes. *IAUS*, 73: 283.
- Hilditch R. W., King D. J., McFarlane T. M., 1988. The Evolutionary State of Contact and Near-Contact Binary Stars. *MNRAS*, 231: 341.
- Hilditch R. W., 2001. An Introduction to Close Binary Stars(1st ed.). *Cambridge University Press*, USA. 157-169.
- Hut P., 1981. Tidal Evolution in Close Binary Systems. *A&A*, 99: 126.
- Irwin John B., 1959. Standard Light-Time Curves. *AJ*, 64: 149
- İbanoğlu Cafer, 1989. Active Close Binaries, Ege University Science Faculty, Astronomy and Space Sciences Department, Bornova, İzmir, vol.319, 138-155p.

- Jasef Kallrath, Eugene F. Milone, 2009. Eclipsing Binary Stars: Modeling and Analysis. *ebs, book, K.*
- Jassur D. M. Z., Soltani A., Ermani M. H. K., 2000. 1998 UBV Observations of ST Aquarii and Light Curve Analysis. *Ap&SS*, 272: 319.
- Kang Young Woon, Kim Ho-il, Lee Woo-Baik, Oh Kyu-Dong, 2001. Charge-Coupled Device Observations of V388 CygQ1. *MNRAS*, 325: 707.
- Kermani M. H., Jassur D. M. Z., Rahimi-Ardabili M. Y., 2005. UBV Photometry And Light Curve Analysis Of Bx And. *Ap&SS*, 299: 307.
- Kim H.-I., 1989. BV Light Curve Analysis of Algol. *ApJ*, 342: 1061.
- Kim Ho-II, Lee Jae Woo, Kim Chun-Hwey, Youn Jae-Hyuck, Kwon Sun-Gil, Lee Dong-Ju, Koch Robert H., 2004. Photometric Studies of the Near-Contact Binary AX Draconis. *PASP*, 116: 931.
- King A. R., Watson M. G., 1987. Mass Transfer Rates and The Soft X-ray Excess in AM Herculis Binaries. *MNRAS*, 227: 205.
- Kopal Z., 1959a. Semi-detached Binaries and Stellar Evolution. *ASPL*, 8: 81.
- Kopal Z., 1959b. Close binary systems. *cbs. book. K.*
- Kreiner Jerzy M., Kim Chun-Hwey, Nha Il-Seong, 2001. An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars. *aocd. book. K.*
- Kreiner J.M., Tremko J., 1986. Study of The Eclipsing System V388 Cyg. *CoSka*, 14: 145.
- Kwiek A., 1936. *Beob, Zirc. AN*, 18: 61.
- Latham D.W., Mazeh T., Torres G., Carney B.W., Stefanic R.P., Davis R.J., 1992. Spectroscopic Binaries in the Halo, A. Doquennoy ve M.Major (editör), Binaries as Tracers of Stellar Evolution. *Cambridge University Press, Cambridge, UK*, 139p.
- Leavitt Henrietta S., Pickering Edward C., 1908. 28 New Variable Stars in Harvard Map, Nos. 30 and 33. *Harvard Coll. Obs. Circ.*, No:142:1.
- Liakos A., Niarchos P., 2009. Observations of Candidate Oscillating Eclipsing Binaries and Two Newly Discovered Pulsating Variables. *CoAst*, 160: 2
- Lipari S. L., Sistero R. F., 1986. FT LUPI - UBV Photometry and Synthetic Solution. *MNRAS*, 220: 883.
- Lipari Sebastian L., Sistero Roberto F., 1987. Studies of Period Variation in Close Binary Systems. *AJ*, 94: 792.
- Lucy L.B., 1976. W Ursae Majoris Systems with Marginal Contact. *ApJ*, 205: 208.
- Maceroni C., van't Veer F., 1992. The Synchronization of Binary Components from the Motion of Starspots. *LNP*, 397: 85.

- Maceroni C., 1999. Angular Momentum Loss and Transfer in Close Binaries: Effects on A Human Time-Scale?. *NewAR*, 43: 481.
- Mardirossian F., Predolin F., Giuricin G., 1980. Revised Photometric Elements of ST Aqr. *IBVS*, 1790: 1.
- Marton S. F., Grieco A., Lapasset E., Sistero R. F., Claria J. J., 1990. RS INDI – A Photometric Analysis Using The Grid Technique. *A&A*, 237: 73.
- Martynov D. Ya., 1973. Reviews of Topical Problems: Close Binary Stars and Their Significance for The Theory of Stellar Evolution. *vPhU*, 15: 786.
- Milone E. F., Stagg C. R., 1989. Improvements to Eclipsing Binary Synthetic Light Curve Modelling on the Cyber 205. *BAAS*, 21: 746.
- Milone L., Russo G., 1983. V388 Cygni - A Binary System in The Rapid Phase of Mass Exchange. *Monthly Notices Royal Astronomical Society*, vol. 203: 235-243.
- Morgenroth O., 1935. 23 neue Veränderliche. *AN*, 255: 425
- Niarchos P. G., 1983. Photoelectric Times of Minima of Eclipsing Variables. *IBVS* 2451: 1.
- Oh Kyu- Dong, 2005. Statistical Survey for The Physical Characteristic of Near Contact Binary. *JASS*, 233-242.
- Oh Kyu-Dong, Kim Chun-Hwey, Lee Woo-Baik, Kim Ho-il, Kang Young Woon, 2006. BVR Observations and Period Variation of The Near-Contact Binary ZZ Aurigae. *MNRAS*, 366: 1243.
- Popper D.M., 1980. Stellar Masses. *Am. Rev. Astron. Astrophys*, 18: 115.
- Qian Shengbang, Liu Qingyao, Yang Yulan, Yuan Lili, 2000. Changes in The Orbital Period of The Near-Contact Binary BF Vir. *AcASn*, 41: 36.
- Qian S.B., 2001. A Possible Relation between The Period Change and The Mass Ratio for W-Type Contact Binaries. *MNRAS*, 328: 635.
- Qian S.B., 2002a. Short-Period Near-Contact Binary Systems at The Beginning of The Overcontact Phase. *MNRAS*, 336: 1247.
- Qian S.B., Zhu L.Y., 2002b. VW Bootis: The Shortest Period Close Binary System at The Beginning of the Overcontact Phase. *Astrophysical Journal*, 568: 1004.
- Ribas Ignasi, Arenou Frédéric, Guinan Edward F., 2002. Astrometric and Light-Travel Time Orbits to Detect Low-Mass Companions: A Case Study of the Eclipsing System R Canis Majoris. *AJ*, 123: 2033.
- Robertson J.A., Eggleton P. P., 1977. The Evolution of W Ursae Majoris Systems. *MNRAS*, 179: 359.

- Roche Ed., 1849. La Figure d'une Masse Fluide Soumise à l'Attraction d'un Point Éloigné (Première Partie) *Academie des Sciences et Lettres de Montpellier, Memoires de la Section des Sciences Tome Premier* (1847–1850), 243p.
- Roche Ed., 1850. La Figure d'une Masse Fluide Soumise à l'Attraction d'un Point Éloigné (Seconde Partie), *Academie des Sciences et Lettres de Montpellier, Memoires de la Section des Sciences Tome Premier* (1847-1850), 333p.
- Roche Ed., 1859. Recherches Sur Les Atmospheres Des Cometes. *AnPar.*, 5: 353.
- Roman Nancy G., 1956. Spectral Types of Some Eclipsing Binaries. *ApJ*, 123: 246.
- Rovithis-Livaniou H., Tsantilas S., Kalimeris A., Rovithis P., Djurasevic G., Voloshina I., 2005. Period Study of the Contact Binary AW UMa. *ASPC*, 335: 251.
- Rovithis-Livaniou H., Tsantilas S., Rovithis P., Chochol D., Skopal A., Pribulla T., 2005. The Eclipsing Binary BX Andromedae and Its Orbital Period Behaviour. *Ap&SS*, 296: 101.
- Rüdiger G., Küker M., 2002. Angular Momentum Transport in The Solar Supergranulation Layer. *ESASP*, 505: 557.
- Samec Ronald G., McDermith Richard J., Carrigan Brian J., 1995. UVB Light Curves of the Near-Contact Binary AK Canis Minoris. *IBVS*, 4186: 1.
- Samec Ronald G., Carrigan Brian J., Gray Jamison D., French Julie A., McDermith Richard J., Padgen Erik E., 1998a. Analysis of UVB Photometry of The Near-Contact Binary AK Canis Minoris. *AJ*, 116: 895.
- Samec Ronald G., Carrigan Brian J., McDermith Richard J., 1998b. HW Persei: An Eclipsing Binary at Critical Contact. *AJ*, 116: 2549.
- Samec Ronald G., Gothard N.W., Parker B.C., Savage T.W., Anderson S.D., Faulkner Danny R., 1999. UVB Observations of The Mass Exchanging Solar-Type Binary, BE Cephei. *IBVS*, 4753: 1.
- Samec Ronald G., Laird Heidi Mutzke Matthias, Faulkner Danny R., 1998. UVB Observations of The Solar-Type Near Contact Binary, CN Andromedae. *IBVS*, 4616: 1.
- Shaw J.S., 1994. Near-Contact Binaries. *MmSAI*, 65: 95.
- Shaw J. Scott, Caillault Jean-Pierre, Schmitt J. H. M. M., 1996. Near-Contact Binary Systems in the ROSAT All-Sky Survey. *ApJ*, 461: 951.
- Slavenas P., 1927. The Stellar Case of The Problem of Three Bodies. QB4.Y2v6p3.
- Smith R.C., 1984. The Theory of Contact Binaries. *QJRAS*, 25: 405.
- Soloviev A., 1945. *Astron. Circ. Acad. Sci. U.S.S.R.*, 44: 3.

- Soydugan F., 1999. Değişen Yıldızlarda Dönem ve Dönem Analizi (*Yüksek Lisans Tezi*). Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE.
- Soydugan F., 2005. Algol Türü Çift Sistemlerde Kütle Aktarımı (*Doktora Tezi*). Ege Üniversitesi, İzmir, TÜRKİYE.
- Stepien K., 1995. Loss of Angular Momentum of Cool Close Binaries and Formation of Contact Systems. *MNRAS*, 274: 1019.
- Terrel D., Mukherjee J.D., Wilson R.E., 1992. Binary Stars ve A Pictorial Atlas, *Kreiger Publishing Company, Malabar, FL*.
- Tout Christopher A., Hall Douglas S., 1991. Wind Driven Mass Transfer in Interacting Binary Systems. *MNRAS*, 253: 9.
- Vandenberg D. A., 1985. The Ages of Globular Clusters from Stellar Models. *JRASC*, 79: 230.
- Vilhu O., Rahunen T., 1981. Contact Binary Evolution and Angular Momentum Loss. *IAUS*, 93: 181.
- von Zeipel H., 1924. Radiative Equilibrium of A Double-Star System with Nearly Spherical Components. *MNRAS*, 84: 702.
- Whitney B.S., 1959, Minima and Periods of Eclipsing Stars. *Astronomical Journal*, 64: 258.
- Zacharov G., 1930. The Brightness of Comet 1929 d (Wilk). *AN*, 238: 367.
- Zakirov M. M., Eshankulova M. U., 2006. Close Binary Systems in OB-Associations Regions. V. The Star V456 Cyg in Direction of Cyg OB1. *KFNT*, 22: 363.
- Zhu L., Qian S., 2009. Photometric Study of Near Contact Binaries. *ASPC*, 404: 189.
- <http://www.astro.uu.nl/~pols/education/binaries>
- <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-fid>

ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
3.1 Değmeye yakın sistemlerin temel parametreleri.....	28
3.2 Bazı NBC ler için yörünge dönemlerindeki azalma oranları.....	32
4.1 Bu çalışmada incelenen bazı NCB'lerin temel parametreleri.....	35
4.2 Bu çalışmada incelenen NCB'lerin O-C analizinde kullanılacak veri dağılımları.....	35
4.3 BX And'ın O-C analizinden bulunan üçüncü cismin yörüngesi için parametreler ve çiftin ışık elemanları.....	38
4.4 ST Aqr'nın O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim.....	40
4.5 V388 Cyg'nin O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim.....	43
4.6 V456 Cyg'nin O-C analizinden bulunan ışık elemanları ve parabolik terim.....	46

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
1.1	Algol türü bir sistemin V bandında elde edilen sentetik ışık eğrisi..... 5
1.2	Algollerin U, V ve kızılöte bölgedeki ışık eğrileri..... 5
1.3	β Lyrae türü sistemlerin V bandında elde edilmiş, sentetik ışık eğrisi..... 6
1.4	W UMa türü bir sistemin V bandında elde edilen sentetik ışık eğrisi..... 7
2.1	Kütle oranı $M_1/M_2 = 2$ için, Roche lobunun geometrisi..... 9
2.2	Yörünge düzlemi üzerinde tasarlanan eş potansiyel Roche yüzeylerinin gösterimi..... 13
2.3	YZ Cas ayrık örten çift yıldız sisteminin Roche gösterimi..... 14
2.4	Yarı-ayrık çiftlerin biçimi ve Roche potansiyeli..... 14
2.5	TY Bootis örten çift yıldız sistemi için, Roche potansiyeli..... 15
3.1	Işık öğelerinin (P ve T) yanlış belirlenmesinden (b,c ve d doğruları) ortaya çıkan O-C değişimleri..... 17
3.2	Örten çift yıldız V821 Cas'ın O-C diyagramı..... 18
3.3	R CMa'nın ışık-zaman etkisinden kaynaklanan O-C değişimi..... 20
3.4	RS CVn aktif çift yıldızının O-C diyagramı..... 21
3.5	U Cep'in O-C diyagramı..... 23
3.6	Değmeye yakın sistemlerin 4 alt sınıfına ilişkin Roche geometrileri..... 26
3.7	NCB'lerde kütle oranı (q) -tayf türü ilişkisi..... 27
3.8	NCB'lerde kütle oranına (q) göre bileşenlerin ısıtma oranı değişimi..... 29
3.9	NCB'lerde kütle – yarıçap ilişkisi..... 29
3.10	NCB'lerin H-R diyagramındaki dağılımları..... 30
3.11	Periyotlarında azalma gösteren değmeye yakın sistemler için oluşturulan dP/dt ye karşı çizilen P grafiği..... 33
4.1	BX And'ın O-C değişimi ve bu veriyi temsil eden ışık-zaman etkisini gösteren kuramsal eğri..... 38
4.2	BX And'ın O-C değişimini temsil eden kuramsal eğriden olan O-C artıklarının değişimi..... 38
4.3	ST Aqr'nın O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri..... 41
4.4	ST Aqr'nın kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları..... 41
4.5	V388 Cyg'nin O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri.... 44
4.6	V388 Cyg'nin kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları..... 44

4.7	V456 Cyg'nin O-C değişimi ve onu temsil eden kuramsal parabolik eğri....	46
4.8	V456 Cyg'nin kuramsal parabolik eğriden olan O-C farkları.....	47
5.1	NCB'lerde dđnem azalması gđsteren sistemler için dP/dt - P grafiği.....	50

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Neslihan TANRIÖVER

Doğum Yeri: Gaziantep

Doğum Tarihi: 11/03/1978

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü.

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Fizik Anabilim Dalı.

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce.

İLETİŞİM

E-posta Adresi: neslihan_tanriover@mynet.com