

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**KEPLER GÖZLEMLERİ İLE
ÇİFT YILDIZLARDA YAKINLIK ETKİSİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Tuğçe ERENLER

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kadri YAKUT

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 402.01.01

Sunuş Tarihi : 03.08.2015

Bornova – İZMİR

2015

Tuğçe Erenler tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “Kepler Gözlemleri ile Çift Yıldızlarda Yakınlık Etkisinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi’ nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 03.08.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

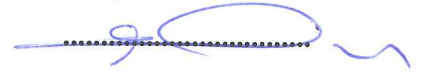
Jüri Başkanı : Prof. Dr. Can BATTAL KILINÇ

Raportör Üye : Prof. Dr. Kadri YAKUT

Üye : Prof. Dr. Faruk SOYDUGAN

.....

.....

.....

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Kepler Gözlemleri ile Çift Yıldızlarda Yakınlık Etkisinin Araştırılması" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlamasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

03/08/2015

Tuğçe Erenler

ÖZET

KEPLER GÖZLEMLERİ İLE ÇİFT YILDIZLARDA YAKINLIK ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

ERENLER, Tuğçe

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadri YAKUT

Ağustos 2015, 49 sayfa

Çift yıldız evrimin önemli aşamalarından biri, yakın çift sistemlerin etkileşimleridir. Yakınlık etkisi çift sistemi oluşturan bileşen yıldızların ömrünü etkiler. Bu çalışmada yakın çift sistemlerin türleri, geometrik yapısı, evrimi ve fiziksel öğelerinin nasıl elde edildiği bilgisine değinilmiştir. Son bölümde ise Kepler uydusundan alınmış veriler kullanılarak yakın ve etkileşen bir çift sistem olan KIC 3104113 sisteminin analizleri yapılmış ve bazı yörünge elemanları ile bileşenlerin fiziksel ve geometric parametreleri detaylı ve hassas olarak ilk kez elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Yakın çift yıldızlar, değen çift sistemler, Kepler uydusu, KIC 3104113

ABSTRACT**INVESTIGATION OF PROXIMITY EFFECT ON BINARY STARS
USING KEPLER OBSERVATIONS**

ERENLER, Tuğçe

MSc in Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Kadri YAKUT

August 2015, 49 pages

One of the important stage of stellar evolution is the interaction of close binary systems. Proximity effect, affects the life span of component stars in a binary system. In this study, the sub-types of close binaries, their geometric structures, evolution and determination of their physical parameters have been discussed in details. In the last chapter using Kepler satellite data the system KIC 3104113, close interacting binary system, has been analysed and some of properties, physical and geometrical parameters have been estimated accurately for the first time.

Keywords: Close binary stars, contact binary systems, Kepler data, KIC 3104113

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca paylaştığı bilgisi, yardımları, sabrı ve TÜBİTAK bursuyla sağladığı desteği için danışmanım Prof. Dr. Kadri YAKUT' a, eğitimime her daim destek veren babam Adnan ERENLER' e, bana olan inancını uzaklardan hissettiren ablam Beyza Başak AKÇAM' a, maddi manevi desteği, sevgisi, bana verdiği cesaret, güç ve güven duygusu için Berk ERGÜNEY' e, lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca tanıştığım her zaman yardımına koşan dostlarım Tayfun KARABACAK, Salim DER ve Hakan ESER' e sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca Kepler uydu verilerini bize sağlayan tüm proje çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Bu tez çalışması 113F097 nolu TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇİFT YILDIZLAR	3
2.1 Çift Yıldız Sistemleri	3
2.2 Roche Modeli	5
2.4.1 Roche modeline göre sınıflama	11
3. YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN EVRİMİ	13
3.1 Düşük Sıcaklıklı Değen Çiftler (LTCB)	14
3.2 Yakın Değen Çiftler ve Ayrık Yakın Çiftler (NCB ve DCB)	20
3.3 Kuramsal Evrim Süreçleri	24
3.4 Bazı Korunumsuz Evrim Modelleri	27

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. KEPLER UZAY ARACI	31
4.1 Kepler Görevinin Detayları ve Amaçları	33
4.2 Kepler ile Elde Edilen Çeşitli Veriler	33
4.2.1 KOI 72.01 (Kepler-10b)	33
4.2.2 KIC 9472174 (2M1938+4603)	35
5. YAKIN ÇİFT SİSTEM KIC 3104113	37
5.1 Tarihçe	37
5.2 Yeni Kepler Uydu Gözlemleri ve Işık Değişimi	37
5.3 Sistemin Yörünge Öğeleri	40
6. TARTIŞMA VE SONUÇ	43
KAYNAKLAR DİZİNİ	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Ortak kütle merkezi etrafında dolanan A ve B bileşenli bir çift yıldız	3
2.2 Örtünme çift yıldız sisteminde evreye göre ışık değişimi	5
2.3 Kısıtlı üç cisim problemi gösterimi (Hilditch' den 2001)	7
2.4 $q = 0.4$ kütle oranına sahip bir çift sistem için eşpotansiyel yüzeyleri (Cornish' den 1999)	9
2.5 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki ϕ_n normalize potansiyel değerinin ızgara yüzeyli gösterimi (Guidry' den 2014)	10
2.6 Roche modeline göre çift yıldız sistemleri (Hilditch' den 2001)	12
3.1 LBTC' lerin kütle, yarıçap, sıcaklık, ısıtma ilişkilerinin grafikleri (Yakut and Eggleton' dan 2005)	19
3.2 LTCB, NCB ve DCB' lere ait H-R diyagramı (Yakut and Eggleton' dan 2005)	20
3.3 NCB ve DCB' lere ait grafikler (Yakut and Eggleton' dan 2005)	23
3.4 Bileşenlerin korunumlu evrimi (Yakut and Eggleton' dan 2005)	26
3.5 Bileşenlerin korunumsuz evrimi (Yakut and Eggleton' dan 2005)	28
4.1 Kepler' in yörüngesi (NASA' dan 2015)	32
4.2 Kepler-10b' ye ait ışık eğrisi (NASA' dan 2009)	34

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.3 KIC 9472174' ün gözlemsel ve sentetik ışık eğrisinin karşılaştırılması (Zola and Baran' dan 2013)	36
5.1 Sistemin Kepler uydusundan 17 çevrim boyunca alınmış ham verileri	38
5.2 Sistemin 17 çevrim boyunca elde edilmiş verilerinin normalize edilmiş biçimi	39
5.3 Sistemin ışık eğrisi	40
5.4 KIC 3104113 çift sisteminin ışık eğrisi analiz sonucu	41
5.5 Sistemin gözlem ve sentetik modelinin farkı	42
5.6 KIC 3104113 sisteminin geometrik görünümü	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Düşük sıcaklıklı değen çiftler (LTCB) (Yakut and Eggleton, 2005)	16
3.2 Bazı yakın değen sistemler (NCB) (Yakut and Eggleton, 2005)	21
3.3 Bazı ayrık çift sistemler (DCB) (Yakut and Eggleton, 2005)	22
4.1 Kepler uzay aracına ait parametreler (NASA' dan, 2005)	32
5.1 KIC 3104113 sistemine ilişkin fotometrik veriler	38
5.2 Sisteme ilişkin Kepler uydu gözlem bilgileri	39
5.3 Sistemin Q1, Q10 ve Q17 dönemlerine ilişkin ışıık eğrisi analiz sonuçları	41

1.GİRİŞ

Yıldızların hayatı, onların başlangıç bulutunun koşullarına bağlıdır. Bulutun sahip olduğu kütle ve kimyasal yapı ileride oluşacak sistemin evrimini etkiler. Tek yıldız olma durumunda evrim en çok kütleinin kontrolünde iken çift olma durumunda daha farklı parametreler de önem kazanmaktadır. Yıldızların evrimi bize birçok fiziksel olayın işleyişini çalışmamıza olanak sağlar. Çok sayıda gözlemsel çalışma olmasına karşın hem tek hem de çift yıldızların evrimi hakkında bilinmeyen çok sayıda fiziksel süreç vardır.

Gözlemsel verilerin sayısının artması hem istatistiki açıdan çalışmaların yapılmasına olanak sağlar hem de kuramsal evrim modellerinin testi için bize çok sayıda denek sunar. Bu bağlamda gözlemsel verilerin artması çift yıldızların olabildiğince yörünge ve fiziksel öğelerinin elde edilmesi için önemlidir. Hem fotometrik hem de tayfsal gözlemlerin bir arada analiz edilmesi çift yıldızların fiziksel ve yörünge öğelerinin elde edilmesi açısından çok önemlidir. Fotometrik gözlemlerle çift sisteminin yörünge eğimi ve görelî yarıçapları ile tayfsal gözlemlerden elde edilen kütle fonksiyonunun birlikte kullanılması bize kütle ve yarıçap gibi fiziksel değerleri türetmemize olanak sağlar.

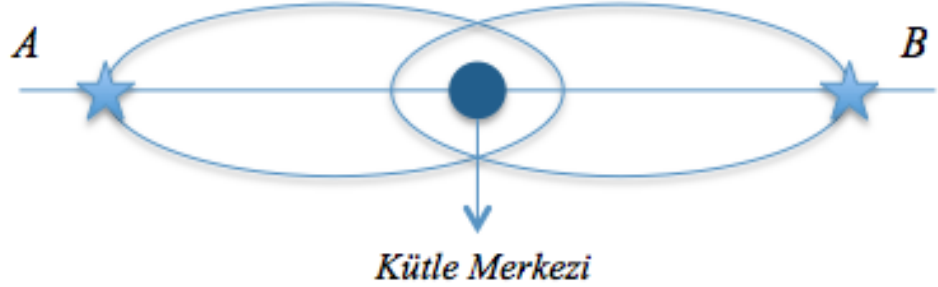
Yakın çift yıldızları çalışarak yıldız astrofiziğindeki birçok problemi ele almamız ve test etmemiz mümkündür. Yıldız aktivitesi, yakınlık etkisi ile yıldız geometrisindeki bozulmalar, çift yıldızların yörünge dönemindeki artma ya da azalmalara neden olan fiziksel süreçler, yıldızlarda zonklama, madde aktarımı ve kaybı gibi süreçlerin araştırılması için çift yıldızlar çok iyi kaynaklardır. Bu tez kapsamında geri tür sistemler dikkate alınmıştır. Geri tür sistemler Güneş benzeridir ve Güneş’te gördüğümüz birçok değişim (leke, yıldız rüzgarı) bu tür sistemlerde de görülmektedir. Güneş, yakın ve etkileşen bir çift sistem ögesi olan yıldızlara göre oldukça sakin ve sıradan bir yıldızdır. Yakın ve etkileşen sistemlerde hem leke boyutları hem de diğer etkinlikler çok daha şiddetlidir ve bileşen yıldızların evrimi Güneş’e göre farklılık gösterir.

Gelişen teknoloji ile çok daha hassas gözlemler yapılmakta ve farklı dalgalarda gözlem yapabilen birçok uydu projeleri geliştirilmektedir. İleride

bu uydulardan gelebilecek gözlemler ile evrim çalışmaları ivme kazanacaktır. Bu tez çalışmasında yakın çift sistemlerin tanımı ve türleri irdelenmiş, Roche geometrisi yakınlık etkileri araştırılmıştır. Tezin ikinci bölümünde çift yıldızlar ele alınmış ve çift yıldızların öğelerinin nasıl elde edileceği sunulmuştur. Üçüncü bölümde ise ilgili kaynaklar verilerek geri-tür bileşenlere sahip yakın çift sistemlerin listesi verilmiştir. Farklı türdeki çift sistemlerin evrimleri arasındaki bağlantı yine uygun kaynaklar kullanılarak anlatılmıştır. Dördüncü bölümde Kepler uydusu hakkında kısa bilgiler verilmiş ve bu uydu gözlemleri ile elde edilen bazı gözlemlerin sonuçları sunulmuştur. Beşinci bölümde ise bu tez kapsamında analizleri ilk kez yapılmış olan KIC 3104113 sistemine ilişkin yapılmış çalışma özetlenmiştir.

2.ÇİFT YILDIZLAR

Çift yıldız terimi ilk olarak 1802 yılında Sir William Herschel tarafından kullanılmış ve kendisi yaklaşık 703 çiftten oluşan bir katalog derlemiştir. Bu sistemler birbirlerine kütleçekimsel olarak bağlı olup ortak kütle merkezi etrafında Kepler kanununa göre yörünge hareketlerini (Şekil 2.1) gerçekleştirirler. İstatistiklere göre gözlenen yıldızların yaklaşık olarak %50' si çift yıldız sistemleridir. Yörünge dönemleri ve uzaklıkları çok değişir. Bazı sistemlerin bazılarının yüzeyleri hemen hemen birbirine değer ve böylece kütle alışverişi gerçekleşebilir. Yakın çift yıldızlar olarak adlandırdığımız bu yıldızların yakınlık etkisiyle dış katmanları deforme olabilir ve evrimleri büyük ölçüde değişebilir. Bazı çift sistemler ise birkaç bin AB (Astronometrik Birim) uzaklıkla ayrılmış olup yörünge dönemleri yüzlerce yıl olabilir. Bir yıldızın en önemli özelliği hiç kuşkusuz kütlesidir. Yıldızların kütleleri diğer nesnelerle kendi çekimsel etkileşimini inceleyerek doğrudan belirlenebilir. Bu yüzden çift yıldızlar, yıldızların kütlelerinin belirlenebilmesi için astronomlar adına büyük önem taşımaktadır.



Şekil 2.1 Ortak kütle merkezi etrafında dolanan A ve B bileşenli bir çift yıldız.

2.1 Çift Yıldız Sistemleri

Çift yıldızlar gözlenme yöntemlerine göre sınıflandırılırlar. Aynı doğrultuda hizalanmaları nedeniyle çift yıldızmış gibi gözüken fakat fiziksel olarak birbirlerine bağlı olmayan, birbirlerinden çok uzakta olan çift yıldızlara *optik çift yıldızlar* adı verilir (Podsiadlowski, 2003).

Çoğu çift sistemler mevcut olan teleskoplar tarafından görülemeyecek kadar çok uzakta ve birbirlerine çok yakındırlar. Tayf çizgilerindeki Doppler kayması ile tespit edilen bu sistemlere *tayfsal çift yıldızlar* denilmektedir. Zamana karşı tayf çizgilerindeki kayma bileşenlerin radyal hızları hakkında bilgi verir. Birbirlerine yakın olduklarından yörünge hızları büyüktür. Tek çizgili tayfsal çift gözlediğimizde sistemin toplam kütlesine ulaşabiliriz. Ancak çift çizgili bir tayfsal çifti incelediğimizde bileşenlerin ayrı ayrı kütlelerine ulaşabiliriz.

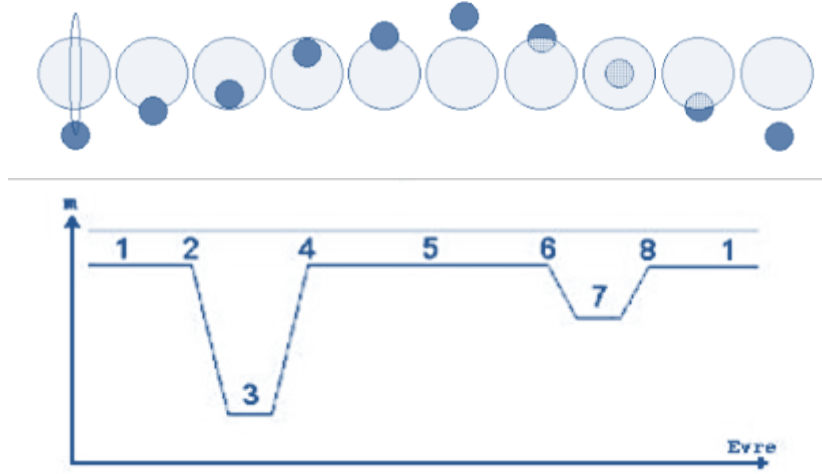
Çift sistemlerin bileşenleri teleskoplarla görülebilen ve uzun süreli gözlemler yapılarak sistem üyelerinin konumlandırıldığı çift yıldızlara *görsel çift yıldız* adı verilir. Zamanla biriken bu veriler yıldızların yörüngelerini hesaplamak için kullanılır. Bu tür çiftler kütleçekimsel olarak birbirine bağlı olsalar da diğer yakın çiftler gibi yıldız yüzeyinden madde akışı olacak bir etkileşimleri yoktur. Daha parlak olan bileşene *baş yıldız*, diğer bileşene ise *yoldaş yıldız* denir. Yoldaşın baş yıldız etrafındaki yörüngesi bulunursa, a (bileşenler arası en büyük açısal ayrıklık) ve P (yörünge dönemi) bulunabilir. Çift yıldızın uzaklığının da bilinmesi halinde M_1+M_2 (bileşen yıldızların kütlelerinin toplamı);

$$M_1 + M_2 = \frac{a^3}{P^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

şeklindeki Kepler yasası ile elde edilebilmektedir.

Zamanla ard arda gözlenen bazı yıldızlar hareketlerinde bir salınım gösterirler. Bu periyodik olayın görülemeyen başka bir cismin uyguladığı çekimsel hareketten kaynaklandığı sonucunu çıkarabiliriz. Bu tür astrometrik araçlarla tespit edilen ikili sistemler, *astrometrik çift yıldız* olarak adlandırılır.

Yörünge düzlemi uygun bir açıda olduğu zaman gözlemciye göre bileşenlerinin birbirlerini dönemli olarak örttüğü sistemlere *örten çift yıldızlar* diyoruz. Bu sistemler tutulma olayları sonucunda dönemli olarak ışık değişimlerine uğrarlar. Işık eğrilerinde farklı derinlikleri olan iki minimum gözleriz (Şekil 2.2). Parlak yıldızın örtülmesi ile baş minimum, sönük olan bileşenin örtülmesiyle yan minimum oluşur. Minimumlardaki derinlik farkı ise yıldızların sıcaklıklarıyla ilgilidir.



Şekil 2.2 Bir örten çift yıldız sisteminde evreye göre ışık değişimi.

Tutulma olayını gözleyebilmemiz için (2.2) bağıntısındaki parametrelerin uygun değerlere sahip olması gereklidir.

$$| \sin(90 - i) | = | \cos(i) | \leq \frac{R_1 + R_2}{a} \dots \dots \dots (2.2)$$

Bu bağıntının sağlandığı durumlarda, bir çift sistemde tutulmalar oluşur ve bileşenler örtme ve örtülme olayını yaşayabilirler. Işık değişiminin dönemi çoğunlukla çift sistemin yörünge dönemi ile çakışaktır.

2.4 Roche Modeli

Legendre polinomları küresel yapıda, küçük tedirginliklere sahip çift yıldızları tanımlamak için başarılı sonuçlar verir. Bu tür çift yıldızlardan bahsettiğimizde Legendre polinomlarını kullanmak yeterli olur. Fakat HR diyagramında sıfır yaş anayolu üzerinde bulunan bazı V701 Sco gibi yıldızların yüzeyleri birbirine değer ve ışık eğrileri gösterir ki, yıldızların yapıları kesin olarak küresellikten ayrılmıştır. Yıldızlar evrimlerinin değişik basamaklarında yarıçaplarını oldukça arttırlar ve zamanla karakterleri değişir. Sonuç olarak, her yakın çift sistem evriminin bir basamağında eninde sonunda bu yüksek bozulmalardan dolayı tahminen elipsoit şekile sahip olacaklardır. Bundan dolayı elipsoit şekile yakın, tedirginlik etkilerini tanımlayabilen alternatif bir

formülasyona ihtiyaç vardır. Kütle merkezi etrafında dolanan iki noktasal kütleden oluşan sistemin toplam çekimsel potansiyeline dayalı olan bu formülasyon *Roche Modeli*’ dir.

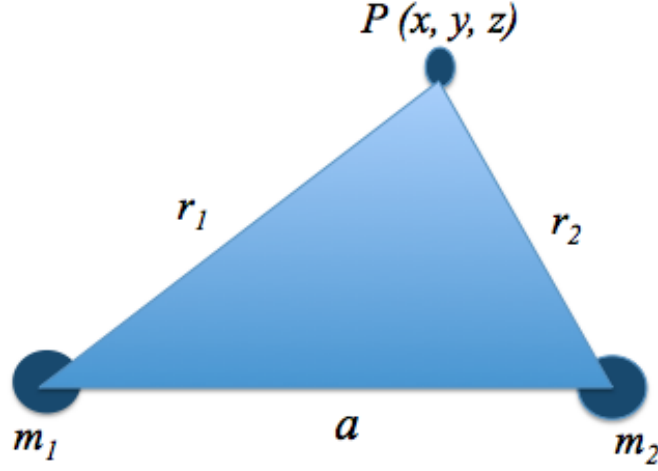
Roche Modeli, kısıtlanmış üç cisim problemini araştıran 19. yüzyıl ünlü Fransız matematikçi Edouard Roche’ un adını almıştır. Ortak çekim alanlarının etkisi altındaki üç cismin hareketine ait genel bir analitik çözüm bulunamamıştır. Böyle bir çözüm için üç cisim probleminden yararlanılmaktadır. Ortak kütle merkezi etrafında iki cismin dairesel yörüngelerde dolanması sırasında bu iki cismin kütleçekim alanı içinde hareket eden bir üçüncü cisimden yararlanılır. Üçüncü cismin maruz kaldığı φ ’ nin (toplam kütleçekim potansiyeli) bir değeri için, iki noktasal kütle etrafındaki üç boyutlu kuramsal bir yüzeyin, üçüncü cismin hareketinin sıfır olduğu bir bölgeyi, yani sıfır hız yüzeylerini temsil ettiği bulundu. Bu sıfır hız yüzeyleri, iki cisim sistemindeki sabit kütleçekim potansiyel yüzeylerine benzemektedir. Bu yüzey bir eşpotansiyel yüzeydir ve bu yüzeylerin açıklaması, bir çift sistemin yıldız yüzeylerinin şekillerini anlamaya aracı olmaktadır (Hilditch, 2001).

Ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan iki nokta kütleli saran eşpotansiyel yüzeylerin hesabını belirlemek için yörüngenin dairesel olduğu varsayılır. Büyük kütleli m_1 bileşeninin kütle merkezindeki bir referans noktası, çift sistemle birlikte sabit bir ω açısal hızı ile dönsün. Daha düşük kütleli m_2 yıldızının merkezden uzaklığı $a \equiv 1$ ’ dir. Bu dönen koordinat sisteminde iki yıldız sırası ile $(0, 0, 0)$ ve $(1, 0, 0)$ konumlarındadır. Ortak kütle merkezine sahip m_1 ve m_2 kütlelerinin birbirlerine uzaklığı a birim olarak gösterilir. y eksen ve z eksen yörünge düzlemine diktir. $P(x, y, z)$ noktası m_1 ’ den r_1 , m_2 ’ den r_2 kadar uzaktadır (Şekil 2.3).

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

$$\varphi = -\frac{Gm_1}{r_1} - \frac{Gm_2}{r_2} - \frac{\omega^2}{2} \left[\left(x - \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 + y^2 \right] \quad (2.3)$$

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



Şekil 2.3 Kısıtlı üç cisim problemi gösterimi (Hilditch' den 2001).

Dairesel yörünge içindeki eşzamanlı dönme ve $a \equiv 1$ ile,

$$\omega^2 = \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 = \frac{G(m_1+m_2)}{a^3} = G(m_1+m_2) \quad (2.4)$$

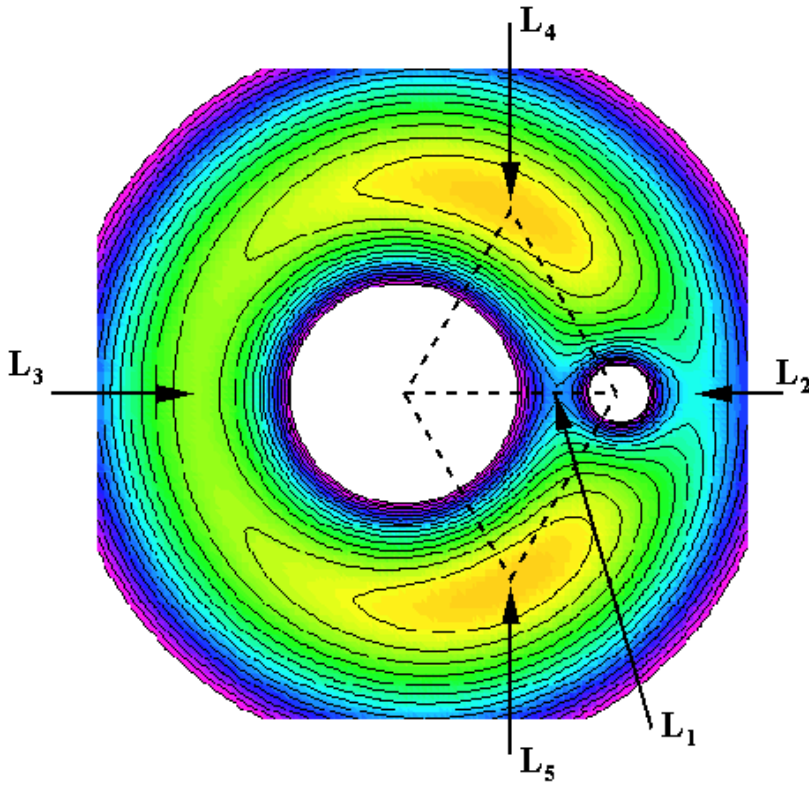
Kütle oranı $q = m_2/m_1$ ($0 < q \leq 1$) ve $\varphi_n = -2\varphi / G(m_1+m_2)$ ise,

$$\varphi_n = \frac{2}{(1+q)r_1} + \frac{2q}{(1+q)r_2} + \left(x - \frac{q}{(1+q)}\right)^2 + y^2 \quad (2.5)$$

bağıntısı elde edilir.

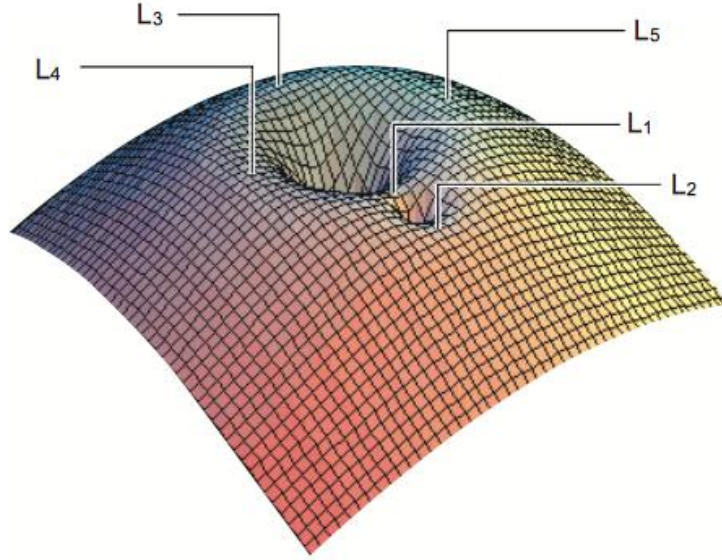
φ_n , bir normalizasyon potansiyelidir ve iki kütle noktası civarında herhangi bir (x, y, z) konumu için hesaplanabilir. Bu nedenle, uzaklık birimi olarak kabul edilmiş a ayrıklığı cinsinden ifade edilen sabit potansiyelin yüzeyler ya da eşpotansiyel yüzeyleri dönen çerçeve içerisinde bulunabilir ve q kütle oranına bağlıdır. Şekil 2.4, $q = 0.4$ olan bir kütle oranı için $z = 0$ ' da çift sistemin yörünge düzlemindeki bu yüzeylerin bir bölümünü resmeder. Her bir $m_{1,2}$ kütle noktasına yakın yüzeylerin şeklinin, bu (x, y) enine kesitinde daireler olduğu dikkate alınmalıdır ve aynısı (y, z) ve (x, z) düzlemlerinde de geçerlidir. Oldukça

ayrık çiftlerdeki yıldızlar küresel şekillere sahiptir. Biri yıldız merkezlerinden çok uzağa hareket ettikçe, önlenen yarıküreler yaklaşık küresel olarak kaldığı halde, özellikle iki kütleye birleşen merkezlerin çizgisi boyunca, yüzeyler daha bozuk hale gelir. Sonuç olarak, iki kütle noktasını çevreleyen bağımsız yüzeyler, Şekil 2.4’ de L_1 olarak etiketlenmiş konumda birbirlerine değerkler. Bu nokta *İç Lagrange Noktası* adını alır. L_1 ’ de değen iki yüzey, çift sistemin iki bileşenine yönelik Roche limitleri olarak anılır. Bu yüzeyler, genellikle Roche lobları olarak adlandırılan iki üç boyutlu sınırlı hacmi tanımlar. Bu hacimlerin limit olmasının nedeni, bir yıldızın bir çift sisteminde bulunabildiği ve hala tüm bileşenlerine (atomlar, iyonlar, vb.) kendi çekim kontrolü altında sahip olabildiği maksimum hacimleri tanımlamalarıdır. Her kısıtlı hacmin fiziksel boyutu a bileşenler arası uzaklığa ve q kütle oranına bağlıdır. Kütle oranı bir birim olduğunda , iki Roche sınır hacmi cismen eşit olur. Eşit olan bir çift sistemde her iki bileşene ait Roche lobları da aynı büyüklüğe sahip olacaktır. Kütle oranı düştükçe büyük kütleli bileşenin Roche lobu genişler (Hilditch, 2001).



Şekil 2.4 $q = 0.4$ kütle oranına sahip bir çift sistem için eşpotansiyel yüzeyleri (Cornish’ den 1999).

Şekil 2.4 Roche limitinin hemen dışında yer alan eşpotansiyel yüzeye temas eden ikili sistemden alınmıştır. Bu sistemlerde, iki yıldız birbirlerine boyun bölgesinden temas halindedir ve bunlar Roche limiti arasındaki bölgeyi kapsayan, sistemin eşpotansiyel yüzeyine uygun ortak bir zar tarafından çevrilmişlerdir. Bu bölgenin ötesinde, ikinci eşpotansiyel yüzey olan L_2 , maddenin çekim alanından en kolay kaçabilmesini sağlayan dış Lagrange noktasıdır. L_3 noktası ise L_2 ' den daha yüksek bir potansiyel üzerinden kaçış sağlar. L_4 ve L_5 , potansiyel maksimumları olarak adlandırılır ve daha da uzakta ve iki kütleyle eşkenar üçgen yapabilecek pozisyonadırlar. φ_n ' in aldığı değerler sırasıyla: 5.0, 3.9075 (L_1 ' de), 3.8, 3.559 (L_2 ' de), 3.2, 3.0, 2.8 ($L_{4,5}$ ' de) (Hilditch, 2001).



Şekil 2.5 Bir çift sistemin yörünge düzlemindeki φ_n normalize potansiyel değerinin ızgara yüzeyli gösterimi (Guidry' den 2014) .

Şekil 2.5' de (x, y) düzleminde görülen ve iki noktasal kütleli saran normalize potansiyel değeri ızgara-yüzeyler şeklinde gösterilmektedir. Yıldızların potansiyel çukurları ile birlikte iç Lagrange noktası L_1 , L_3 ve L_4 , L_5 potansiyel maksimumları görülmektedir. L_2 noktası merkez doğrultusunda, şeklin arkasında yer almaktadır. L_1 noktası iki bileşen arasındaki yarıktadır (geçitte) bulunmaktadır. Her yıldız hacmini genişlettikçe kendisine ait yüzey potansiyel çukurunu doldurmaya başlar. Yıldız yüzeyi bir kere Roche lobuna ulaştığında, madde L_1 üzerinden herhangi bir yerde olduğundan daha kolay taşabilir ve bileşen yıldızın potansiyel duvarına düşer. Tüm diğer doğrultulardaki potansiyel bariyer genişler.

Bu nedenle madde, bu bariyeri aşmak için L_1 doğrultusundan daha fazla enerjiye ihtiyaç duyar. Şekil 2.5, (x, y) düzleminde görülen bu potansiyeli temsil etmektedir. Benzer çapraz kısımlar (y, z) ve (x, z) düzlemlerinde üretilmiştir. Tüm üç boyutlu etki, L_1 noktasının, çiftin bileşenlerinin birinden yoldaşına, herhangi bir yerden daha kolay geçebilmesini sağlayan bir geçit gibi davranmasıdır. Aynı tanım L_2 noktasına da uygulanmıştır ve çift sistemden madde atımı, potansiyel bariyerin en düşük kesimi aracılığıyla olur.

Özet olarak, çift sistemdeki yıldızın şekli, yıldız için uygun olan eşpotansiyel yüzeyi tarafından tanımlanacaktır. R/a oranı yaklaşık olarak 0.1 veya daha düşük olan tam ayırık çift sistemlerde yıldızlar küreseldir, çünkü eşpotansiyel yüzeyler bu şekildeki her kütle noktasına yakındır. Birbirlerine nispeten daha yakın yıldızlardan oluşan çift sistemler için R/a oranı yaklaşık olarak 0.2 - 0.3'tür. Bu yıldızlar küresel değildir ve eninde sonunda kendi Roche loblarını dolduracaklardır. Özellikle çift yıldız evrimi yönünden önemli bir nokta, yıldız Roche lobunun hacmi ve bunun sonucu olarak lobun “*etkin yarıçapı*”, r_L ’dir. Etkin yarıçap “*hacim yarıçapı*” olarak da adlandırılır, çünkü bu, Roche lobuyla aynı yarıçapa sahip kürenin yarıçapıdır. Roche geometrisi detaylarının en yaygın listelemesi, özellikle çift yıldız çalışmaları için, Mochnacki (1984) tarafından sağlanmıştır (Hilditch’den, 2001). Etkin yarıçap için uygun olan formülasyon (Eggleton, 1983; Hilditch’den 2001):

$$r_L = \frac{0.49q^{2/3}}{0.69 q^{2/3} + \ln(1+q^{1/3})} \quad (2.6)$$

Küçük kütleli yıldız için, $r_{L,2}$ değeri $q \leq 1$ olduğundan, q değeri için $q = m_2/m_1$ koyulur. Büyük kütleli yıldız için $r_{L,1}$ hesaplarken $q \geq 1$ olduğundan $q = m_1/m_2$ olur.

Eş olmayan dönme durumunda (2.3) denklemini F^2 niceliği ile çarpmak gerekmektedir. Burada F eksen etrafında dönme hızının yörünge hızına oranıdır (Wilson, 1979; Hilditch’den 2001).

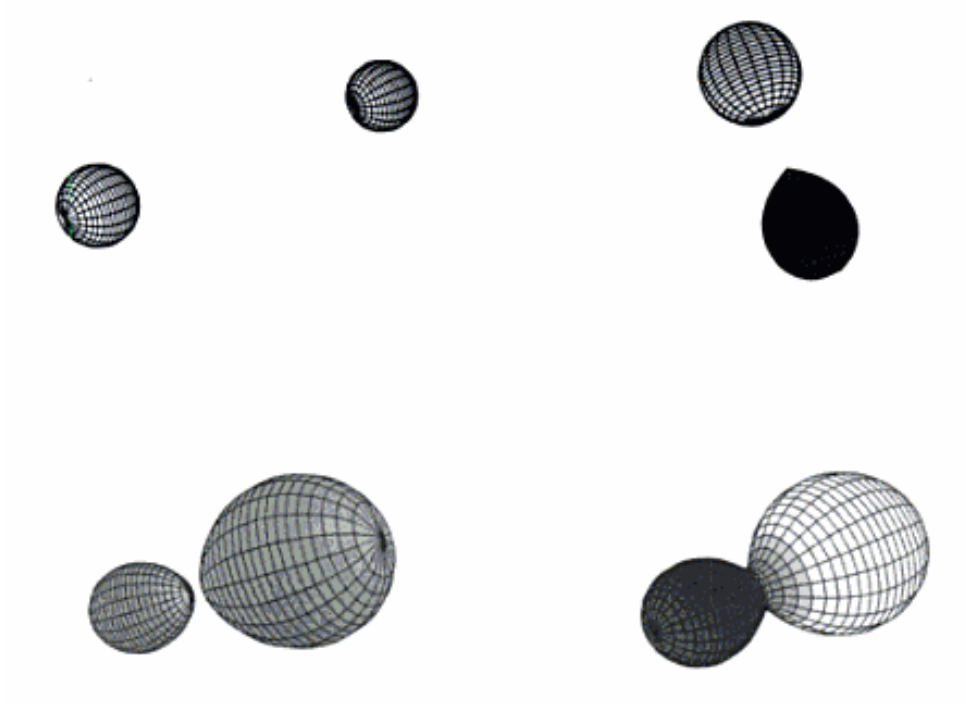
2.4.1 Roche modeline göre sınıflama

Roche lobu bileşenlerin yörüngesindeki onlara kütleçekimsel olarak bağlı olan etrafındaki yüzey bölgeleridir. Çift sistemler bileşenlerinin Roche şişimlerine göre dört sınıfa ayrılırlar.

Eğer iki yıldızın da yüzeyleri kendi Roche lobları içindeyse *ayrık çiftler*' dir. Kütle aktarımı söz konusu değildir. Daha büyük, birinci bileşen hızlı evrimleşir. Anakoldan uzak evrimleşince, boyutu büyür ve daha sonra Roche lobunu doldurmak için gelebilir.

Bileşenlerden birinin Roche lobunu doldurup diğerinin henüz doldurmadığı sistemler *yarı-ayrık çiftler*' dir. Kütle aktarımı söz konusudur ve bu aktarım kütle oranına, Roche lobunun büyüklüğüne göre değişir.

Her iki bileşen de Roche lobunu doldurduysa *değen çiftler* olarak adlandırıyoruz. Eğer yıldız maddeleri şişimlerden taşıp iki yıldız için ortak bir zarf oluşturuyorsa böyle sistemler *aşırı değen çiftler*' dir. W Uma türü ışık eğrilerine sahip sistemler aşırı değen çiftlerin prototipidir. Bileşenler birinci Roche şişimini tamamen doldurduktan sonra taşan madde ikinci Roche yüzeyine ulaşmıştır. Bu durumda; L_2 noktasına ulaşan gaz, yanında büyük miktarda açısal momentumu da taşıyarak sistemi tamamen terk edebilir (University of London Observatory, 2013).



Şekil 2.6 Roche modeline göre çift yıldız sistemleri. Saat yönünde sırasıyla: ayrıık çiftler, yarı ayrıık çiftler, değen çiftler ve aşırı değen çiftler (Hilditch' den 2001).

3.YAKIN ÇİFT YILDIZLARIN EVRİMİ

Yıldız evrimi hakkında bize bilgi veren kütle, yarıçap, parlaklık ve kimyasal yapı gibi parametrelerin iyi bir şekilde belirlenebilmesi evrim hakkında daha doğru bilgiler edinmemiz için oldukça önemlidir. Bileşenlerin parametrelerini doğru bir şekilde belirlemek için çift yıldızların tayfsal ve fotometrik gözlemleri önemlidir.

Örten çiftlerin sınıflamasını yaparken ışık eğrilerine göre onları Algol (EA), β Lyrae (EB) ve W UMa (EW) türü sınıflara ayırırız. Bu sınıflama ışık eğrisinin şeklini baz alarak oluştururlar ancak çok kullanışlı değildir. Roche geometrisini baz alan başka bir sınıflama Kopal (1955) tarafından ileri sürülmüştür. Bu sınıflama bir önceki bölümde de bahsettiğimiz gibi ayırık sistemler (D), yarı ayırık sistemler (SD) ve değen sistemlerden (C) oluşur.

EA, EB, EW tam olarak ayırık, yarı ayırık ve değen sınıflamasına girmese de yine de kısa dönemlerde ilk yaklaşım için dikkate alınabilir. Çift yıldızlar, bileşenlerinin birbirine yakın olduğu, çekim kuvvetlerinin ve Roche lobu taşmalarının evrimlerinde önemli rol oynadığı sistemlerdir. Bu bölümde yakın çiftlerin üç alt başlığının evrimine ve yapısına değinilecektir. Yakın kelimesini kullanarak dönemlerini bir günden az olmasıyla sınırlandırıyoruz. Evrimleşmiş olan kara delikleri, nötron yıldızlarını, beyaz cüceleri ve sıcak alt cüceleri ayrıca çoğunun kısa dönemli olmamasından dolayı OB yıldızlarını katmıyoruz. Odaklandığımız yıldızların hepsi anakol yakını, A0 veya daha geç tür yıldızlardır. Üzerinde duracağımız üç sınıflama düşük sıcaklıklı yakın sistemler (LTCB), kısa dönemleriyle bileşenine değmeye yakın olan yarı ayırık sistemler ki bunlara yakın değen sistemler (NCB) diyeceğiz ve son olarak da ayırık yakın sistemlerden bahsedeceğiz (DCB). Bu sınıflamaların arasında güçlü evrimsel bağlantılar beklenir.

Özellikle son yıllardaki Güneş çalışmaları, geri tür anakol yakını yıldızlarını kapsayan LTCB, NCB, ve DCB' lere dair görüşleri genişletmiştir (Schou et al., 1998; Thompson et al., 2003). Bu çalışmalar diferansiyel dönme ve yüzey konvektif bölgelerinin iç kenarı hakkında önemli bilgi sağlar ve sonuçları Güneş benzeri yıldızlara uygulanabilir. Konvektif bölgenin tabanı ve fotosferi

heliosismik çalışmaları rotasyonel bir katmanın varlığına işaret etmektedir. Yakut and Eggleton (2005) Güneş'in konveksiyonel bölgesinde bulunan ama daha küçük ve bileşenler arası enerji transferinden sorumlu bir diferansiyel dönme önerirler. Uzun dönemli evrim sonuçları bu özel yöntemle bağlı olmazken sadece iyi bilinen verimli ısı transferi yöntemlerinde olabilir. Bu rotasyonel kayma tahminen Güneş'in manyetik aktivitesi kaynaklı ve böylece muhtemelen yüzey konveksiyon bölgeleriyle diğer soğuk yıldızlarla alakalıdır. Manyetik aktivite, kütle kaybı ve açısal momentum kaybına yol açar ve hızla dönen yıldızların bu süreçleri belki de evrimdeki nükleer olaylarla karşılaştırılabilir. Bu gelişmelere rağmen yıldızlardaki kimyasal bolluk hala bir sorun olarak kalır. Bu yüzden yakın yıldızlar için Güneş benzeri bollukları göz önünde bulundurabiliriz.

3.1 Düşük Sıcaklıklı Değen Çiftler (LTBC)

Değen çiftlerin bileşenleri fiziksel etkileşim halindedir. Dolayısıyla bu bileşenlerin etkileşimleri ayırık çiftlerden daha etkilidir. Özellikle, kütleleri arasında faktör olarak 5 ya da daha fazla fark olmasına rağmen, iki bileşenin sıcaklığının eşite yakın olması ($< \sim 5\%$) LTBC'lerin dikkate değer bir özelliğidir. Buradan da iki bileşen arasında, yeterli miktarda ısı transferi gerçekleştiği anlamı çıkar ki bu da, bileşenlerin ortak bir zarf paylaştığının göstergesi olarak anlaşılabilir.

İki çeşit değen çift vardır; birinci grup, W UMa sistemleri olarak bilinir, kapsamlı olarak çalışılan, ortak bir konvektif zarfa sahip düşük sıcaklıklı değen çiftlerdir (LTBC). Diğer grup ise, ortak bir radyatif zarfa sahip yüksek sıcaklıklı değen çiftlerdir. (HTBC). LTBC'ler Binnendijk (1970) tarafından A ve W tipleri olmak üzere iki alt gruba ayrılır (Yakut and Eggleton'dan, 2005). Eğer daha büyük kütleli bileşen derin (ilk) minimum sırasında tutuluyorsa ve bu bileşen daha sıcaksa sistem A tipi, eğer küçük kütleli yıldız daha sıcaksa sistem W tipi olarak adlandırılır. A ve W tipi sistemlerin tayf türü A-G ve F-K aralığındadır.

Varolan tayfsal ve fotometrik analizlerin birçoğunda, tayfsal çalışmalarla bulunan q değeri ile fotometrik q çalışmalarında elde edilen değer son derece farklı olabilir. Bu durumda muhtemelen fotometrik kütle oran değeri yanlıştır. Burada önemli olan, elde edilen tüm fotometrik ve tayfsal çalışmalarda, tutulan

çift sistemin yörünge ve fiziksel parametrelerini saptayabilmektir. Çizelge 3.1’ de görülen sistemlerde bu kriter göz önüne alınmıştır. Saptanan tüm veriler, fotometrik ve tayfsal verilerin kombinasyonu ile elde edilmiştir. David Dunlap Gözlemevi ve Dominion Astrofiziksel Gözlemevi’ nin yakın çiftlerin açılma hızlarının çalışılmasında büyük katkıları vardır.

Çizelge 3.1’ de iyi saptanan LTCB’ler listelenmiştir. Sütun (2), Binnendijk sınıflandırmasına göre türü gösterir. Sütun (3) literatürde bahsedilen tayf türünü ve sütun (4) ise, Popper’ in (1980) sıcaklığa karşı tayf türü kalibrasyonunu baz alan bileşenlerin tayf türünü verir. Sütun (5)-(13), dönemi, sıcaklıkları, kütleleri, yarıçapları ve ışıma güçlerini verir. Sütun (14) aşağıdaki denklemdeki (2) taşıma faktörü f' dir. Sütun (15) – (16) $X_1 \equiv \ln (R_1/R_{L,1})$ ve $X_2 \equiv \ln (R_2/R_{L,2})$. Burada R_L Roche lobu yarıçapıdır. Işıma güçleri, $L_i/L = (R_i/R_g)^2 (T_i/5780)^2$ formülüyle yarıçap ve sıcaklıklar kullanılarak hesaplanmıştır. Burada alt indis “i” sistemdeki her bir bileşeni işaret eder (Yakut and Eggleton, 2005).

Işık eğrileri normalde yakın çiftlerde Roche modelini baz alır fakat Roche modeli açıkça sadece bir yaklaşımdır. Birçok değen çift, Roche modelinde mümkün olmayan, bir maksimumun diğerinden daha yüksek olduğu (O’Connell etkisi) asimetri gösterir. Bu asimetri, burada genel bir doğrultuda ele alacağımız “lekeler” olarak adlandırılır. Bunlar, geniş soğuk yıldız lekeleri, benekler gibi sıcak bölgeler, gaz akıntıları ve bunların bileşen yıldıza çarpmaları ya da henüz anlaşılmamış homojensizlik olabilir. Birçok ışık eğrisini yorumlayabilmek için bu lekelerin gerekli olduğunu vurgulamalıyız. Salt gerçek şudur ki, çeşitli sistemler bariz asimetri göstermez ve bağımsız leke varsayımını doğrulamaz. Bazı sistemlerde leke veya lekeler oldukça simetrik bir şekilde dağılmış olabilir. Işık eğrisine bir model fit edebilmek (Roche fazlalık lekeleri) için, eşsiz olarak dağılmış anlamına gelmeyecek kuramsal leke dağılımlarına sıklıkla rastlarız. Örneğin, farklı kütle oranı değerleri için, aynı ışık eğrisinde yıldızın bir tarafında sıcak bir leke, diğer tarafında da soğuk bir leke meydana gelebilir.

Şekil 3.2 ise bu sınıflamadaki bileşenlerin H-R diyagramını gösterir. ZAMS çizgisi Pol et al. (1995) tarafından oluşturulmuştur. W tür LTCB’ ler, A tür LTCB, NCB ve DCB’ ler sırasıyla kare, artı, içi boş halka ve içi dolu halkayla gösterilir. Kırmızı renk ana bileşeni, yeşil renk ise diğer bileşeni temsil ederç

Çizelge 3.1 Düşük sıcaklıklı değen çiftler (LTCB) (Yakut and Eggleton'dan 2005).

Name (1)	B (2)	Sp1 (3)	Sp2 (4)	P (days) (5)	T_1 (K) (6)	T_2 (K) (7)	M_1 ($M_\odot$) (8)	M_2 ($M_\odot$) (9)
QX And.....	A	F4 V	F4+F5	0.4118	6500	6421	1.18	0.24
AB And.....	W	G2 V	G8+G1	0.3319	5495	5888	1.01	0.49
GZ And.....	W	F8 V	G4+F7	0.3050	5810	6200	1.12	0.59
OO Aql.....	A	G5 V	G6+G6	0.5068	5700	5680	1.05	0.88
V417 Aql.....	W	F9 V	F9+F7	0.3703	6030	6256	1.40	0.50
SS Ari.....	W	G0 V	G2+F8	0.4060	5860	6123	1.31	0.40
AH Aur.....	A	F7 V	F7+F8	0.4941	6215	6141	1.68	0.28
V402 Aur.....	W	F2 V	F2+F1	0.6035	6700	6775	1.64	0.33
TY Boo.....	W	G5 V	G4+F7	0.3171	5800	6180	0.93	0.40
TZ Boo.....	A	G2 V	G1+G5	0.2976	5890	5754	0.72	0.11
XY Boo.....	A	F0 V	A9+F0	0.3705	7200	7102	0.93	0.15
CK Boo.....	A:	F7	F7+F6	0.3551	6200	6291	1.42	0.15
EF Boo.....	W	F5 V	F6+F5	0.4295	6338	6450	1.61	0.82
AO Cam.....	W	G5 V	G7+G1	0.3299	5590	5900	1.12	0.49
DN Cam.....	W	F2 V	F4+F2	0.4983	6530	6700	1.85	0.82
TX Cnc.....	W	F8 V	G1+F7	0.3830	5888	6165	0.91	0.50
BH Cas.....	W	K1	K3+K1	0.4059	4790	4980	0.74	0.35
V523 Cas.....	W	K5 V*	K4+K3	0.2337	4410	4736	0.75	0.38
RR Cen.....	A	F2 V	F0+F2	0.6060	6920	6760	2.09	0.45
V752 Cen.....	W	F8 V	G0+F7	0.3700	5955	6221	1.30	0.40
V757 Cen.....	W	F9 V	G1+F9	0.3432	5900	6000	0.88	0.59
VW Cep.....	W	K2 V	K1+K0	0.2783	5010	5250	0.93	0.40
TW Cet.....	W	G5 V*	G8+G6	0.3169	5450	5630	1.06	0.61
RW Com.....	W	K0 V	K0+G8	0.2373	5120	5400	0.56	0.20
RZ Com.....	W	F7 V	F7+F5	0.3385	6165	6450	1.23	0.55
CC Com.....	W	K5	K6+K5	0.2210	4170	4365	0.79	0.43
ϵ CrA.....	A	F2 V	F0+F3	0.5914	7100	6640	1.72	0.22
YY CrB.....	A:	F8 V	F8+F8	0.3766	6135	6142	1.43	0.35
SX Crv.....	A	F6 V	F6+F7	0.3166	6340	6160	1.25	0.10
DK Cyg.....	A	A8	A8+F2	0.4707	7500	6700	1.74	0.53
V401 Cyg.....	A	F0 V*	F2+F3	0.5827	6700	6650	1.68	0.49
V1073 Cyg.....	A	F2 V	F2+F3	0.7859	6700	6590	1.60	0.51
V2150 Cyg.....	A	A6 V	A6+A6	0.5919	8000	7920	2.35	1.89
RW Dor.....	W	K1 V	K3+K0	0.2855	4780	5200	0.64	0.43
BV Dra.....	W	F7 V	F7+F6	0.3501	6245	6345	1.04	0.43
BW Dra.....	W	F8 V	F9+F7	0.2922	5980	6164	0.92	0.26
EF Dra.....	A:	F9 V	F9+F8	0.4240	6000	6054	1.81	0.29
FU Dra.....	W	F8 V	G4+F8	0.3067	5800	6133	1.17	0.29
YY Eri.....	W	G5 V*	G9+G7	0.3210	5362	5600	1.54	0.62
QW Gem.....	W	F8 V	G1+F8	0.3581	5890	6100	1.31	0.44
V728 Her.....	W	F3 V	F3+F1	0.4713	6622	6787	1.65	0.30
V829 Her.....	W:	G2 V	G1+G9	0.3581	5900	5380	0.86	0.37
V842 Her.....	W	F9 V	F9+F6	0.4190	6000	6280	1.36	0.35
EZ Hya.....	W	F9 V	G6+F8	0.4497	5721	6100	1.37	0.35
FG Hya.....	A:	G2 V	G1+F9	0.3278	5900	6012	1.44	0.16
SW Lac.....	W	G3 V*	G9+G6	0.3207	5347	5630	0.98	0.78
XY Leo A.....	W	K2 V	K4+K2	0.2841	4524	4850	0.82	0.50
AP Leo.....	A:	F7	F8+F7	0.4304	6150	6250	1.46	0.43
VZ Lib.....	A	G0 V*	G1+G9	0.3583	5900	5380	1.48	0.38
UV Lyn.....	W	F6 V*	F9+F7	0.4150	6045	6262	1.36	0.50
TV Mus.....	A:	F8 V	F9+F8	0.4457	5980	6088	0.94	0.13

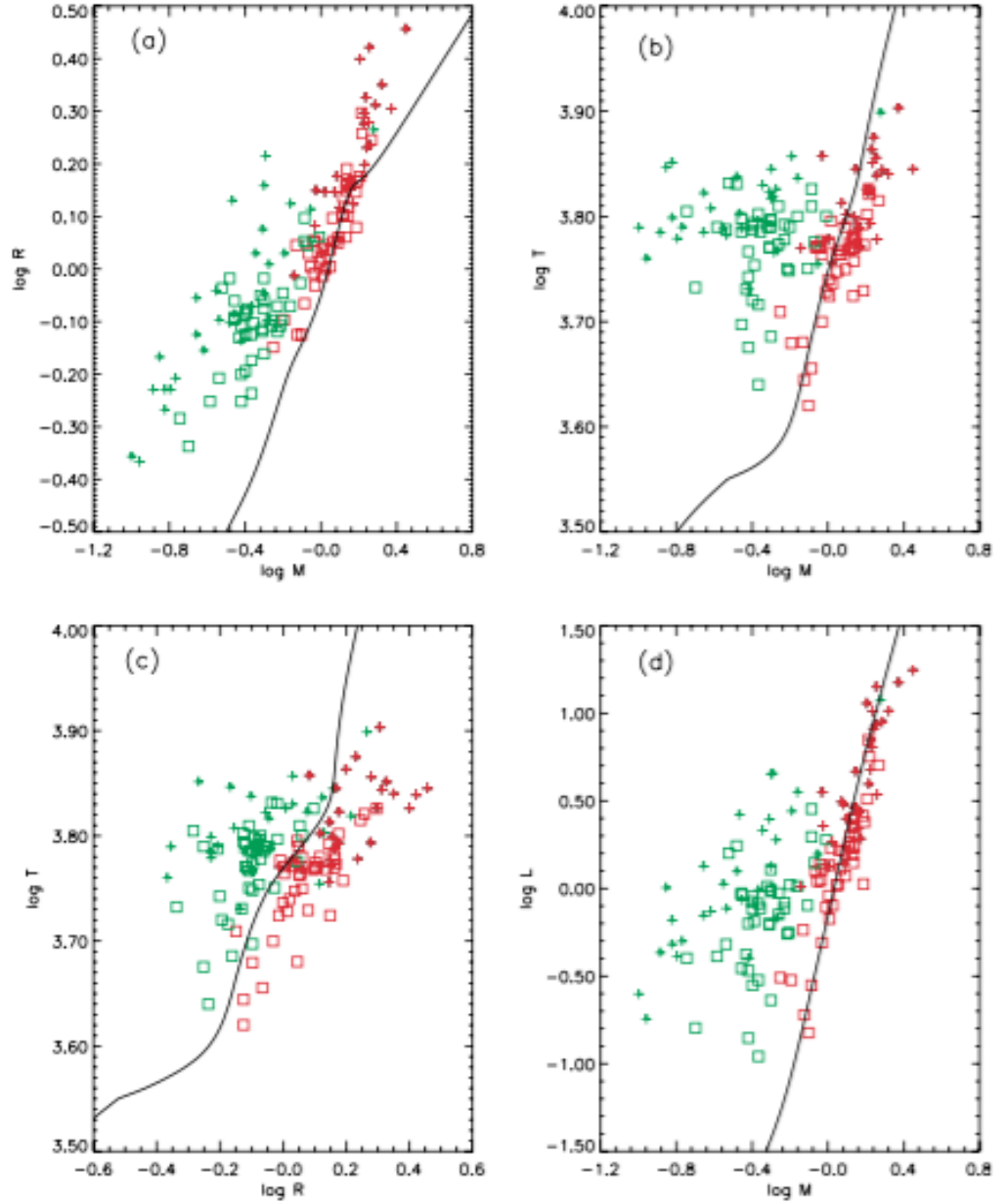
Çizelge 3.1 Düşük sıcaklıklı değen çiftler (LTCB) (Yakut and Eggleton'dan 2005).

Name (1)	R_1 ($R_\odot$) (10)	R_2 ($R_\odot$) (11)	L_1 ($L_\odot$) (12)	L_2 ($L_\odot$) (13)	f (14)	X_1^a (15)	X_2^a (16)	References (17)
QX And.....	1.40	0.70	3.12	0.74	0.210	0.022	0.049	M95
AB And.....	1.05	0.77	0.91	0.63	0.130	0.024	0.036	H88d, D02
GZ And.....	1.01	0.76	1.05	0.77	0.080	0.016	0.023	B04a
OO Aql.....	1.40	1.30	1.85	1.57	0.220	0.058	0.064	H01
V417 Aql.....	1.31	0.84	2.02	0.96	0.190	0.029	0.050	S97, L99
SS Ari.....	1.37	0.82	1.99	0.84	0.160	0.022	0.041	K03a
AH Aur.....	1.89	0.91	4.75	1.06	0.670	0.060	0.143	V01
V402 Aur.....	1.98	0.96	7.05	1.75	0.030	0.003	0.007	Z04b
TY Boo.....	1.13	0.83	1.29	0.90	0.870	0.141	0.215	R90a
TZ Boo.....	0.97	0.43	1.02	0.18	0.130	0.011	0.029	H88c, A89
XY Boo.....	1.21	0.54	3.54	0.66	0.050	0.005	0.011	M83, A84
CK Boo.....	1.48	0.59	2.89	0.48	0.650	0.044	0.126	K04a
EF Boo.....	1.50	1.13	3.24	1.97	0.280	0.053	0.076	O04
AO Cam.....	1.09	0.76	1.04	0.62	0.120	0.021	0.033	B04a
DN Cam.....	1.76	1.25	5.05	2.84	0.330	0.057	0.088	B04a
TX Cnc.....	1.13	0.87	1.37	0.98	0.210	0.042	0.059	H88c
BH Cas.....	1.11	0.80	0.58	0.35	0.220	0.040	0.060	M99, Z01
V523 Cas.....	0.75	0.56	0.19	0.14	0.130	0.025	0.036	Z04a
RR Cen.....	2.24	1.07	10.31	2.14		0.052	0.007	H88c, K84b
V752 Cen.....	1.27	0.75	1.83	0.76	0.090	0.012	0.023	B93
V757 Cen.....	1.01	0.85	1.10	0.83	0.140	0.032	0.040	M84, K84a
VW Cep.....	0.93	0.64	0.49	0.28	0.180	0.031	0.049	H88c, K02a
TW Cet.....	1.00	0.78	0.80	0.55	0.030	0.006	0.009	R82
RW Com.....	0.71	0.46	0.31	0.16	0.170	0.026	0.044	M87
RZ Com.....	1.12	0.78	1.62	0.94		-0.001	0.004	H88c
CC Com.....	0.75	0.58	0.15	0.11	0.240	0.048	0.067	H88c
ϵ CrA.....	2.12	0.88	10.27	1.34	0.300	0.023	0.063	G93
YY CrB.....	1.45	0.82	2.66	0.86	0.630	0.073	0.146	P02b
SX Crv.....	1.31	0.44	2.50	0.25	0.270	0.015	0.051	Z04b
DK Cyg.....	1.70	1.02	8.16	1.89	0.300	0.041	0.075	B04a
V401 Cyg.....	1.98	1.19	7.08	2.49	0.460	0.060	0.112	R02, W00
V1073 Cyg.....	2.51	1.64	11.37	4.53	0.920	0.123	0.216	A92
V2150 Cyg.....	2.02	1.84	14.94	11.91	0.190	0.049	0.056	K03c
RW Dor.....	0.80	0.67	0.30	0.30	0.130	0.030	0.038	H92
BV Dra.....	1.11	0.75	1.69	0.82	0.110	0.019	0.030	K86
BW Dra.....	0.98	0.56	1.11	0.41	0.140	0.018	0.035	K86
EF Dra.....	1.72	0.80	3.43	0.77	0.460	0.041	0.099	P01b
FU Dra.....	1.13	0.62	1.29	0.48	0.240	0.029	0.058	V01
YY Eri.....	1.20	0.80	1.06	0.56	0.100	0.017	0.027	N86, Y99, M94
QW Gem.....	1.26	0.79	1.72	0.77	0.230	0.033	0.059	K03c
V728 Her.....	1.81	0.92	5.65	1.59	0.710	0.067	0.153	N95
V829 Her.....	1.07	0.74	1.25	0.42	0.200	0.034	0.054	Z04b
V842 Her.....	1.46	0.81	2.47	0.92	0.250	0.030	0.061	N96, R99
EZ Hya.....	1.55	0.87	2.30	0.94	0.340	0.041	0.082	Y04b
FG Hya.....	1.42	0.59	2.20	0.41	0.860	0.059	0.165	Q05, L99
SW Lac.....	1.03	0.94	0.78	0.80	0.310	0.078	0.089	A04
XY Leo A.....	0.86	0.69	0.28	0.23	0.060	0.013	0.017	Y03a
AP Leo.....	1.46	0.85	2.75	0.98	0.060	0.008	0.015	K03c
VZ Lib.....	1.33	0.73	1.92	0.40	0.130	0.016	0.032	Z04b
UV Lyn.....	1.45	0.96	2.52	1.28	0.460	0.070	0.117	V01
TV Mus.....	1.41	0.59	2.27	0.43	0.130	0.011	0.028	H89

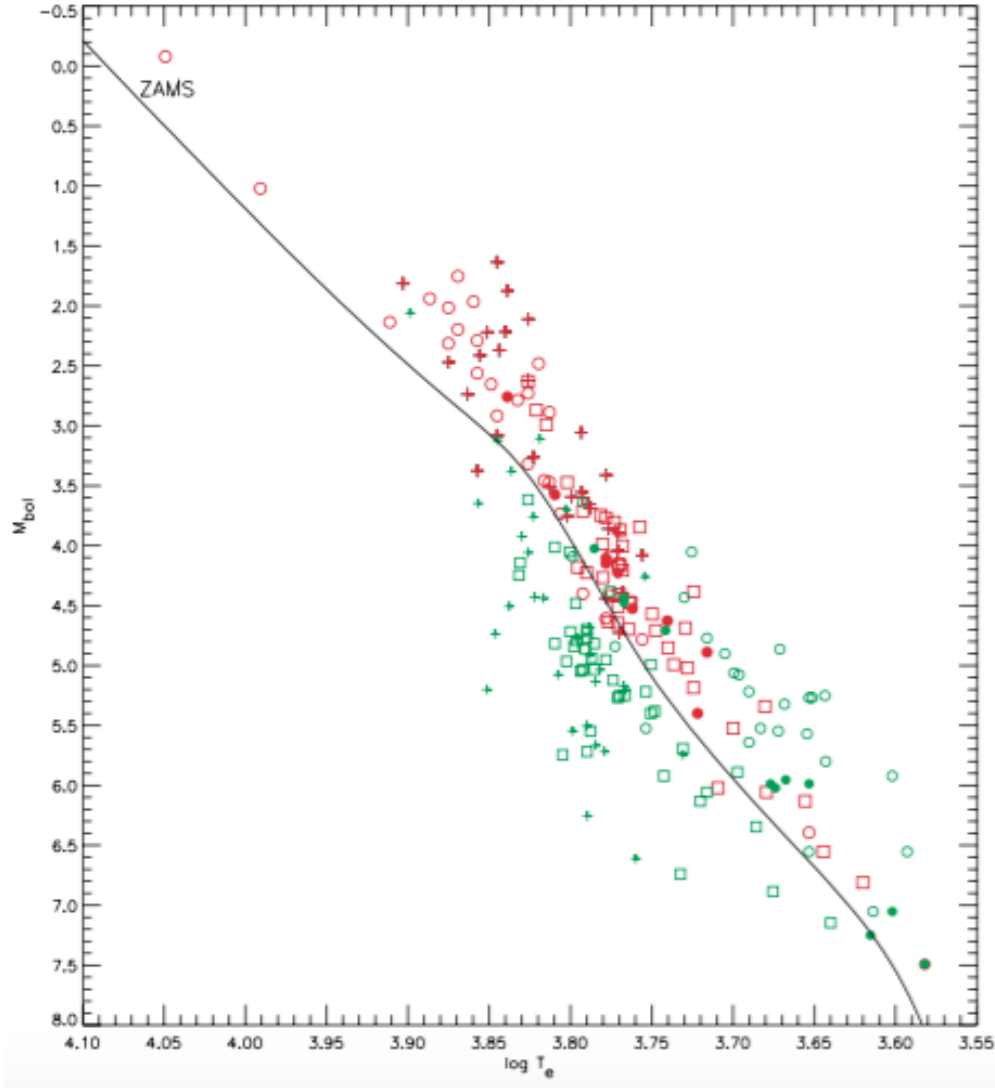
Çizelge 3.1 Düşük sıcaklıklı değen çiftler (LTCB) (Yakut and Eggleton'dan 2005).

Name (1)	B (2)	Sp1 (3)	Sp2 (4)	P (days) (5)	T_1 (K) (6)	T_2 (K) (7)	M_1 ($M_\odot$) (8)	M_2 ($M_\odot$) (9)
V502 Oph	W	G2	G1+F7	0.4534	5880	6165	1.38	0.48
V508 Oph	A	F9 V	F9+G3	0.3448	6000	5830	1.01	0.52
V566 Oph	A	F1 V	F0+F1	0.4096	7000	6881	1.40	0.33
V839 Oph	A	F7 V*	F3+F4	0.4090	6650	6554	1.64	0.50
V2388 Oph	A	F3 V	F1+F6	0.8023	6900	6349	1.80	0.34
ER Ori.....	W	F8 V*	F7+F6	0.4234	6200	6314	1.53	0.98
U Peg	W:	G2 V	G2+G3	0.3748	5860	5841	1.15	0.38
BX Peg.....	W	G9 V	G9+G7	0.2804	5300	5528	1.02	0.38
AE Phe.....	W	G1	G1+F7	0.3624	5888	6166	1.38	0.63
OU Ser.....	W	G0 V	G0+F6	0.2968	5960	6380	1.02	0.18
Y Sex	A	F8	F7+F8	0.4198	6210	6093	1.21	0.22
RZ Tau.....	A	F0 V*	A9+A9	0.4157	7300	7194	1.70	0.64
EQ Tau.....	A	G2 V	G2+G2	0.3413	5860	5851	1.22	0.54
V781 Tau	W	G0 V	G7+G0	0.3449	5621	5940	1.24	0.55
AQ Tuc	A	F3 V*	F0+F1	0.5948	6980	6860	1.93	0.69
W UMa	W	F8	F9+F6	0.3340	6026	6310	1.35	0.69
AA UMa	W	F9 V	G0+F9	0.4681	5929	5965	1.56	0.85
AW UMa.....	A	F0	A9+F0	0.4387	7175	7022	1.79	0.14
HV UMa	A	...	F0+F0	0.7108	7000	7000	2.80	0.50
AH Vir	W	G8 V	G9+G6	0.4075	5300	5671	1.36	0.41
GR Vir.....	A	F7/8 V	F6+F7	0.3470	6300	6163	1.37	0.17

Name (1)	R_1 ($R_\odot$) (10)	R_2 ($R_\odot$) (11)	L_1 ($L_\odot$) (12)	L_2 ($L_\odot$) (13)	f (14)	X_1^a (15)	X_2^a (16)	References (17)
V502 Oph	1.45	0.89	2.25	1.03		0.000	-0.008	H88c
V508 Oph	1.07	0.80	1.33	0.66	0.100	0.019	0.028	L90
V566 Oph	1.47	0.79	4.65	1.25		0.035	0.068	N03
V839 Oph	1.50	0.90	3.94	1.33	0.230	0.031	0.058	P02a
V2388 Oph	2.64	1.35	14.12	2.63	0.650	0.063	0.142	Y04a
ER Ori.....	1.40	1.15	2.60	1.90	0.150	0.034	0.043	G94
U Peg	1.25	0.78	1.65	0.63	0.240	0.035	0.061	P02b
BX Peg.....	0.97	0.63	0.67	0.34	0.190	0.030	0.050	S91
AE Phe.....	1.26	0.90	1.72	1.05	0.210	0.037	0.057	H88c, B04b
OU Ser.....	1.09	0.52	1.36	0.40	0.310	0.029	0.069	P02b
Y Sex	1.50	0.75	3.01	0.70	0.640	0.061	0.139	Y03b
RZ Tau.....	1.58	1.07	6.38	2.76	0.550	0.084	0.139	Y03c
EQ Tau.....	1.15	0.80	1.39	0.68	0.120	0.021	0.033	P02b
V781 Tau	1.15	0.80	1.18	0.71	0.060	0.011	0.017	Y05
AQ Tuc	2.05	1.33	8.93	3.53	0.370	0.055	0.094	H86, C01
W UMa	1.15	0.85	1.56	1.03	0.080	0.016	0.022	H88c, R93
AA UMa	1.47	1.11	2.39	1.40		-0.006	-0.010	B93
AW UMa.....	1.90	0.68	8.60	1.01	0.850	0.046	0.150	P99
HV UMa	2.86	1.44	17.60	4.48	0.770	0.072	0.165	C00
AH Vir	1.41	0.84	1.40	0.65	0.230	0.031	0.058	L93
GR Vir.....	1.43	0.62	2.90	0.50	0.790	0.058	0.156	Q04



Şekil 3.1 LTCB'lerin M-R (kütle-yarıçap), M-T (kütle-sıcaklık), R-T (yarıçap-sıcaklık) ve M-L (kütle-ısıtma) ilişkileri. Kare semboller W tür LTCB'leri, artı semboller A tür LTCB'leri belirtirken; kırmızı renk birinci bileşeni, yeşil renk ise ikinci bileşeni temsil eder (Yakut and Eggleton' dan 2005).



Şekil 3.2 LTCB, NCB ve DCB' lere ait H-R diyagramı (Yakut and Eggleton' dan 2005).

3.2 Yakın Değeri Çiftler ve Ayırık Yakın Çiftler (NCB ve DCB)

Çizelge 3.2 iki bileşeni de Roche loblarına çok yakın olan LTCB' lerin aksine sıcaklık farkının oldukça büyük olduğu seçilen 25 NCB' yi ($P < 1$ gün) listeler. LTCB' lerin yakın sıcaklıklarını korumaları ortak bir zarf içinde kütlesi büyük bileşenden küçük olan bileşene muhtemelen enerji taşınmasıyla yönetilir. Görülüyor ki NCB' ler birinci olarak ya enerji transferinin etkin olmadığı yüzeysel değeri, ya da ayırık olabilir. Kanıtların ikinci durumu desteklediği düşünülüyor.

Çizelge 3.2 Bazı yakın değen sistemler (NCB) (Yakut and Eggleton' dan 2005).

Name (1)	Type (2)	P (days) (3)	Spectral Type (4)	M_1 ($M_\odot$) (5)	M_2 ($M_\odot$) (6)	R_1 ($R_\odot$) (7)	R_2 ($R_\odot$) (8)
BX And.....	C	0.6101	F1	1.52	0.75	1.79	1.30
CN And.....	SD1	0.4628	F5	1.30	0.50	1.42	0.92
CX Aqr	SD2	0.5560	F5	1.20	0.66	1.30	1.16
EE Aqr	SD2	0.5090	A9.5	2.20	0.71	1.76	1.07
DO Cas	C	0.6847	A7	1.70	0.53	2.06	1.21
YY Cet.....	SD2	0.7905	A8	1.84	0.94	2.09	1.63
W Crv	SD2	0.3881	G6	1.00	0.68	1.01	0.92
RV Crv	SD2	0.7473	F3	1.64	0.45	2.18	1.21
GO Cyg.....	SD1	0.7178	B8	3.08	1.63	2.46	1.45
V836 Cyg.....	SD2	0.6534	B9.5	2.20	0.78	1.94	1.34
RZ Dra	SD2	0.5500	A5	1.63	0.65	1.67	1.12
BL Eri	SD	0.4169	F9	0.61	0.33	0.99	0.73
TT Her	SD1	0.9121	A9	1.56	0.68	2.30	1.44
RS Ind.....	D	0.6241	A9	2.00	0.62	2.00	1.18
FT Lup	SD1	0.4701	F2	1.39	0.65	1.44	0.96
SW Lyn.....	SD1	0.6441	F2	1.72	0.90	1.89	1.31
V361 Lyr.....	SD1	0.3096	F7	1.26	0.87	1.02	0.72
V1010 Oph	SD1	0.6614	A8	1.41	0.68	1.82	1.22
DI Peg	SD2	0.7118	F4	1.19	0.70	1.41	1.37
VZ Psc	SD1	0.2613	K4	0.82	0.65	0.78	0.68
RT Scl	D	0.5116	F0	1.63	0.71	1.59	1.01
RU UMi	SD2	0.5249	A9	2.51	0.78	1.76	1.16
AG Vir	C	0.6427	A8	1.67	0.53	1.97	1.14
CX Vir.....	SD2	0.7461	F5	1.06	0.36	1.86	1.13
FO Vir.....	SD2	0.7756	A8	1.75	0.27	2.42	1.05

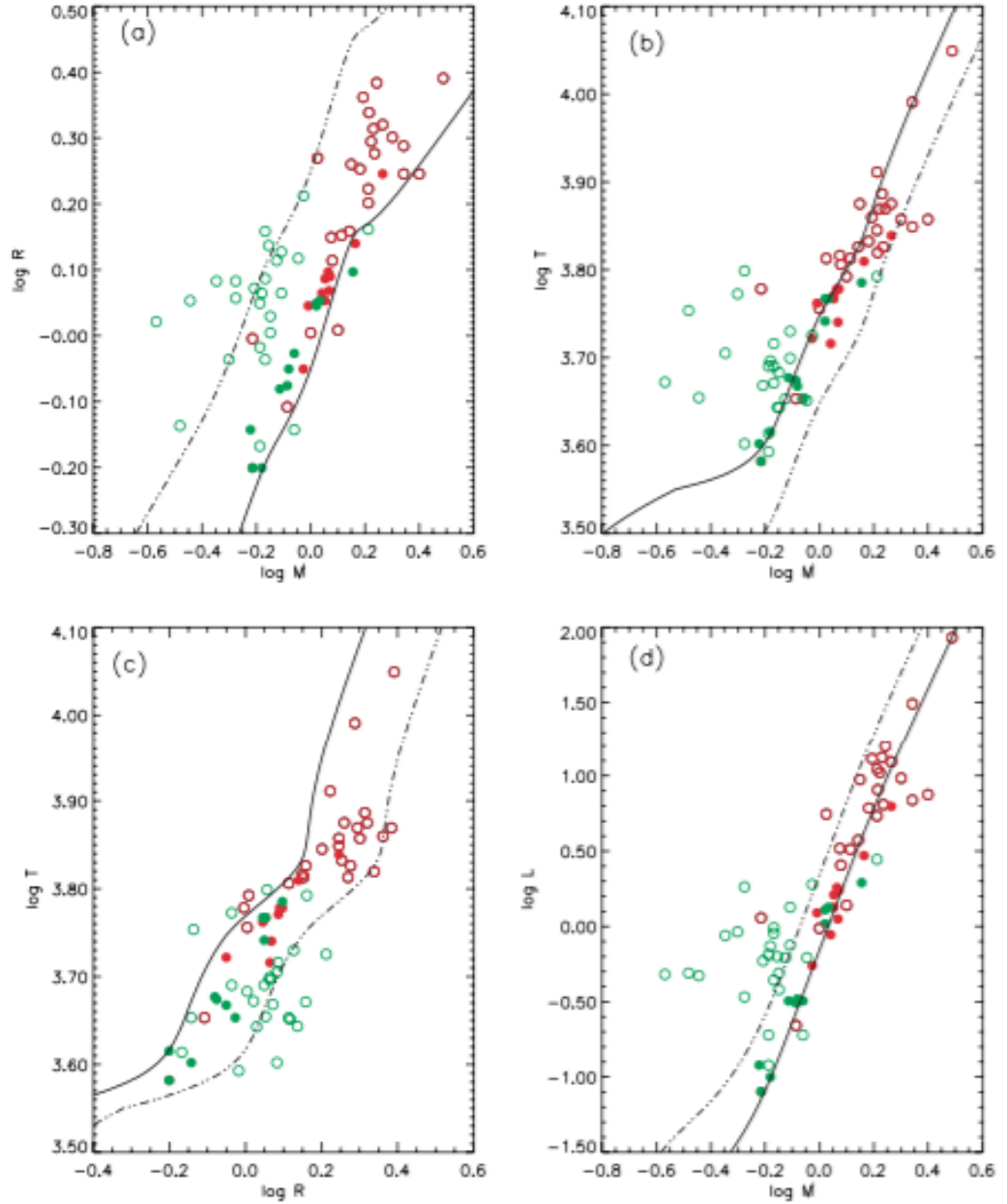
Name (1)	T_1 (K) (9)	T_2 (K) (10)	L_1 ($L_\odot$) (11)	L_2 ($L_\odot$) (12)	X_1^a (13)	X_2^a (14)	t_p^b (Myr) (15)	References (16)
BX And.....	6800	4500	6.10	0.62	0.016	0.021	-11.0	B90b
CN And.....	6500	5922	3.25	0.92	0.005	-0.007	-2.2	vH01, R00b
CX Aqr	6400	4969	2.55	0.74	-0.150	0.012	...	H86
EE Aqr	7060	4395	6.89	0.38	-0.043	-0.026	...	C90, H88b
DO Cas	7700	4000	13.3	0.34	0.000	0.000	...	O92, K85, M58
YY Cet.....	7500	5314	12.4	1.90	-0.059	-0.001	...	M86b
W Crv	5700	4900	0.97	0.44	-0.082	-0.004	34.0	R00a, O96
RV Crv	6600	5070	8.08	0.87	-0.004	0.001	...	M86a
GO Cyg.....	11200	6200	85.4	2.78	0.000	-0.240	6.2	R90b, O54, S85, P33
V836 Cyg.....	9790	5370	31.0	1.34	-0.101	0.000	8.0	Y05, D82
RZ Dra	8150	4900	11.1	0.65	-0.023	-0.001	...	R00b, N03
BL Eri.....	6000	5670	1.14	0.49	-0.007	-0.032	...	Y88
TT Her	7239	4690	13.0	0.90	-0.018	-0.108	-5.0	M89, S37
RS Ind.....	7200	4659	9.64	0.59	-0.022	-0.016	-3.0	H88b
FT Lup	6700	3916	3.74	0.19	-0.001	-0.059	-2.7	L86, H84
SW Lyn.....	6700	4480	6.43	0.62	0.000	-0.069	...	K03c, L01
V361 Lyr.....	6200	4500	1.38	0.19	0.003	-0.185	-11.0	H97
V1010 Oph	7500	5200	9.43	0.98	0.008	-0.057	-1.6	S90, C91, G77, L87
DI Peg	6550	4400	3.29	0.63	-0.223	-0.008	...	L92
VZ Psc	4500	4110	0.22	0.12	0.000	-0.028	...	H95
RT Scl	7000	4820	5.41	0.49	-0.020	-0.092	-4.0	H86, D79
RU UMi	7200	5005	7.50	0.75	-0.108	-0.001	...	M96
AG Vir	7400	6293	10.5	1.83	0.006	-0.016	...	B90a
CX Vir.....	6500	4513	5.56	0.47	0.008	-0.005	...	H88a
FO Vir.....	7400	4700	15.8	0.48	-0.004	0.000	...	S91, M86d

Çizelge 3.2’ de sütun (2) en azından bir referans tarafından bahsedilen geometrik düzeni listelemektedir: daha büyük, kendi Roche lobunu dolduran birinci yıldız yarı değen SD1; ikinci bileşenin Roche lobunu doldurduğu anlamına gelen SD2; ikisinin de kendi bileşenlerinin Roche loblarını doldurduğu anlamına gelen C, D ise ayrık anlamına gelir. Sütun (3) dönemler (günler), ve sütun (4) tayf türü (Popper, 1980; Yakut and Eggleton’ dan 2005). Sütun (5) - (12) arası iki maddenin kütlelerini, yarıçaplarını, sıcaklıklarını ve parlaklıklarını gösterir. Sütun (15) tutulma zamanlarının uzun süre gözlemi sonucunda, dönem değişiminin, zaman ölçeğinin ortalamasını gösterir. İzlenen dönem değişimlerinin üçüncü bir varlık veya dairesel manyetik aktivite görülmesi sonucunda etkilenebileceği düşünüldüğünde, bu ortalamaların kesin olmadığı dikkate alınmalıdır. Çizelge 3.3 de aynı biçimdedir, tek fark sütun (2)’ nin var olmamasıdır, çünkü hepsinin türü D’ dir. Çizelge 3.3 iki bileşeninde, açıkça kendi Roche limitlerini doldurmuş, alt anakol yıldızı olan 11 DCB yıldızını listeler. NCB’ ler, LTCB’ lerden daha zor hedeflerdir, çünkü ısıtmalarının oranı fazladır. İki bileşenleri de Roche loblarını doldurmaya çok yakındır.

Çizelge 3.3 Bazı ayrık yakın sistemler (DCB) (Yakut and Eggleton’ dan 2005).

Name	P	Spectral Type	M_1 ($M_\odot$)	M_2 ($M_\odot$)	R_1 ($R_\odot$)	R_2 ($R_\odot$)
RT And.....	0.6289	G0+K3	1.13	0.83	1.22	0.89
SV Cam.....	0.5931	F5+K4	1.46	0.87	1.38	0.94
WY Cnc.....	0.8294	G5+K7	1.17	0.60	1.17	0.72
VZ CVn.....	0.8425	F0+F8	1.84	1.43	1.76	1.25
CG Cyg.....	0.6311	G9+K3	0.94	0.82	0.89	0.84
YY Gem.....	0.8143	M1+M1	0.61	0.61	0.63	0.63
UV Leo.....	0.6001	G0+G2	1.13	1.08	1.13	1.13
UV Psc.....	0.8610	G5+K3	0.98	0.77	1.11	0.83
XY UMa.....	0.4790	G9+K6	1.10	0.66	1.16	0.63
BH Vir.....	0.8169	F8+G5	1.18	1.05	1.23	1.11
ER Vul.....	0.6981	G0+G8	1.16	1.05	1.25	1.12

Name	T_1 (K)	T_2 (K)	L_1 ($L_\odot$)	L_2 ($L_\odot$)	X_1^a	X_2^a	t_p^b (Myr)	References
RT And.....	5900	4651	1.62	0.33	-0.250	-0.427	-10.0	P00
SV Cam.....	6450	4500	2.95	0.32	-0.193	-0.339		K02b
WY Cnc.....	5500	4000	1.12	0.12	-0.521	-0.702		P98, K04c
VZ CVn.....	6900	6100	6.26	1.95	-0.242	-0.463		P88, C77
CG Cyg.....	5270	4720	0.55	0.31	-0.498	-0.490		P94, Z94
YY Gem.....	3820	3820	0.08	0.08	-0.856	-0.859		S00, P80
UV Leo.....	5848	5848	1.34	1.34	-0.279	-0.260		P97, F96
UV Psc.....	5780	4753	1.23	0.32	-0.506	-0.682		P97, B96
XY UMa.....	5200	4125	0.88	0.10	-0.128	-0.506		P01a
BH Vir.....	6000	5850	1.74	1.29	-0.423	-0.469		K04b
ER Vul.....	6000	5514	1.81	1.04	-0.292	-0.357		K03b



Şekil 3.3 NCB ve DCB' lere ait a) M-R (kütle-yarıçap), b) M-T (kütle-sıcaklık), c) R-T (yarıçap-sıcaklık) d) M-L (kütle-ışıtma) grafiği. Baş yıldız kırmızı diğeri yeşil olmak üzere NCB' ler yuvarlak halka şeklinde DCB' ler ise içi dolu halka şeklinde gösterilmiştir. ZAMS bütün grafiklerde sürekli çizgiyle gösterilmiştir (Yakut and Eggleton' dan 2005).

Şekil 3.3 (a), (b), (c)' de DCB' lerin neredeyse tüm bileşenlerinin ZAMS' a (sürekli çizgi) oldukça yakın olduğu görülür. Şekil 3.3 (d)' de ise DCB' ler ZAMS çizgisine diğer üç grafiğe göre kümeleşerek yakınlaşmışlardır. Aslında düşük sıcaklık büyük yarıçapla gider, belki de manyetik alanın sebep olduğu bu zarfın genişlemesi genel parlaklığı değiştirmez.

3.3 Kuramsal Evrim Süreçleri

Sistemden kütle ve açısal momentum kaybı olmadan korunumlu kütle transferine değinelim. Bunun anlamı toplam kütle ve açısal momentumun ikisi de korunur. Yıldızlar nokta kütle gibi davranmayı üstlendiklerinde tanımlamayı sınırlandırırız, madde homojen olarak bir yörünge dönemi boyunca, yıldız ya da çevresinde hiçbir açısal momentum saklanamaz. Sistemin toplam kütlesi $M = M_1 + M_2$ ve yıldızların uzaklığı $a = a_1 + a_2$ yani, $a_1 = aM_2/M$. Buna göre toplam yörünge açısal momentum;

$$J = \frac{M_1 M_2}{M} a^2 \Omega \quad (3.1)$$

Yörünge Kepler' in üçüncü yasasına uyar; P yörünge dönemi ve G Newton çekim sabiti olmak üzere;

$$\left(\frac{2\pi}{P}\right)^2 = \Omega^2 = \frac{GM}{a^3} \quad (3.2)$$

Korunumlu evrim için toplam değişen kütleinin değişim oranı $\dot{M} = 0$ alınır fakat izin verilen kütle aktarımı yüzünden $\dot{M}_2 = -\dot{M}_1$ ve $\dot{J} = 0$ ' dır. (3.1) bağıntısının logaritmasını aldığımızda;

$$\frac{\dot{J}}{J} = \frac{\dot{M}_1}{M_1} + \frac{\dot{M}_2}{M_2} + 2 \frac{\dot{a}}{a} + \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} = 0 \quad (3.3)$$

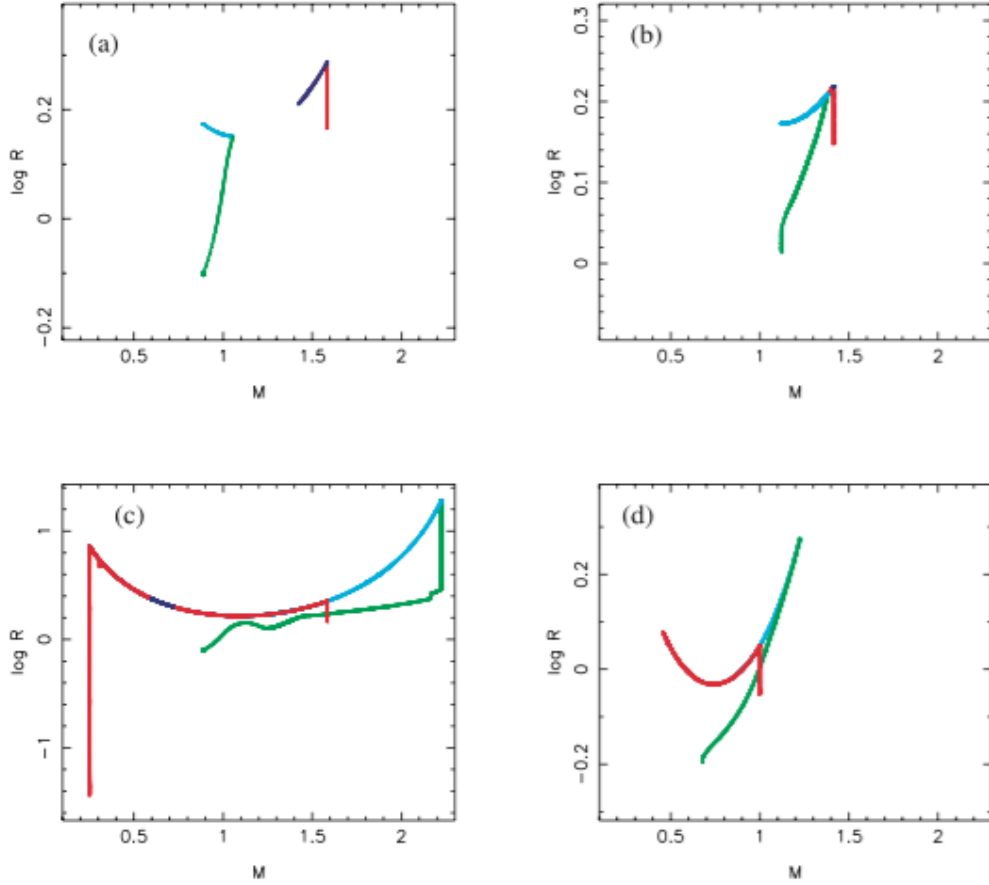
Böylece bir bileşenden diğerine kütle transferi için $M_1 > M_2$ iken dönem ve uzaklıkları azalır ve sonradan artar (Tout, 2012).

LTCB' yi elde etmek için en azından iki çok belirgin yöntem varken NCB' yi (SD1 ve SD2) DCB' den başlayarak elde edebilmek için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu bilgidan yola çıkarak; (1) tüm LTCB ve NCB' ler gerçekten DCB' den mi türemiştir, yoksa ilk baştan beri başarısız bir şekilde anlaşılmış olan yakın çiftlerin doğuşunun çoğu zaman LTCB ve\veya NCB' leri meydana getirmiş olması mümkün müdür ve (2) hızlı dönmeyle açısal momentum kaybı ve

kütle kaybı nedeniyle, NCB' lerin meydana gelmesi genellikle listelenmiş DCB' lerden değil de, daha geniş veya daha büyük sistemlerden meydana gelmiş olması mümkün müdür diye sorgulanabilir.

Nelson and Eggleton (2001), 5550 yakın (çoğunlukla A tür) çiftlerinin korunumlu evrimini inceledi, incelenen evrimlerin çoğu kütlelerin ve dönemlerin aralığındadır. A türü için sekiz mantıklı farklı alt bölüm tespit ettiler, bunlardan beşi degen çifte ulaşmaktadır. Bu konudaki alt başlıklar; AR (degen çiftin hızlı evrimi) ve AS (degen çiftin yavaş evrimi). AR durumunda, ilk kütle oranı küçük olduğunda ($q_0 \leq 0.6$) ve/veya dönem çok kısa olduğunda Roche lobu taşmasının ZAMS' tan çok kısa süre sonra başlamasıyla oluşur. Bu durumda, büyümeye tepki olarak hızlıca şişer, böylelikle aynı anda yörünge hızlıca küçülür; bunun sonucunda degen çift termal zaman ölçeğine erişir ve bu durum birçok kütlenin transferinden önce meydana gelir. Korunumlu durum AR' ın evrimine Şekil 3.4 (a) bir örnektir ($1.58+0.89 M_{\odot}$, 0.56 gün).

AS için, yalın bir başlangıç kütle oranına (muhtemelen $1 > q_0 \geq 0.6$) ve ZAMS başlangıcındaki RLOF' ta (Roche lobu taşıma) önemi yaklaşık iki katına çıkaracak oldukça uzun bir döneme ihtiyacımız var. Bu durumda, elde edilen şişmelere rağmen Roche lobunu çabucak dolduracak şekilde şişemez. Bunun yerine RLOF, kütle oranı gibi aşağıdan yukarı birimlere doğru geçmeye devam eder. Bu durum, Çizelge 3.1, Çizelge 3.2, Çizelge 3.3' deki düşük toplam kütleleri ve dönemleri kullandığımızda, nadiren kısa dönemlere rağmen oldukça tipik bir Algol' e öncülük eder. Fakat madde alan yıldızın kütle artışıyla, madde kaybeden yıldızın kütle azalışı ilişkilendirilir. Bunun anlamı, madde alanın, evrim sürecinde madde kaybedeni geçmesidir ve kütle oranı $\sim 1.5 - 3$ civarına geldiğinde, madde alan yıldız kendi Roche lobunu dolduracak kadar evrimleşir. Korunumlu durum AS evrimine örnek Şekil 3.4' de verilmiştir.



Şekil 3.4 Bileşenlerin korunumlu evrimi. Birinci ve ikinci bileşenler kırmızı ve yeşil ile Roche yarıçapları ise koyu mavi ve açık maviyle gösterilmiştir. Bazen 2 hatta 3 eğri üst üste gelmiştir. a) AR durumunda, $1.6 + 0.9 M_{\odot}$, 0.56 gün: birinci bileşen Roche lobu taşımına baslar, ikinci bileşende kendi Roche lobunu doldurmak için hızlıca büyür. b) AS durumunda, $1.4 + 1.1 M_{\odot}$, 0.61 gün: ikinci bileşen yavaşça büyür ve kütle oranı tersine olana kadar Roche lobunu doldurmaz. c) AN durumunda, $1.6 + 0.9 M_{\odot}$, 0.89 gün: Birinci bileşen kütle aktarımını bitirene kadar ikinci bileşen kendi lobunu doldurmayı kaçırır. Bu noktada kütle oranı ~ 10 ve dönem ~ 14.3 gündür. Daha sonraki evrim muhtemelen Roche lob taşıma aksine, Ortak bir zarf içinde hızlıca dönen kırmızı bir devle hızlı bir birleşme içerecektir. d) Korunumlu AS durumunun izleyeceği yol, $1.0 + 0.7 M_{\odot}$, 0.4 gün: başlangıç kütle oranı bir kere tersine döndüğünde W Crv gibi evrimleşir (Yakut and Eggleton' dan 2005).

Özellikle alt başlık AN (normal) olmak üzere teması engelleyen A sistemleri vardır. Bunlar, alt başlık AS' lerden oldukça uzun bir döneme ihtiyaç duyarlar fakat başlangıç kütle oranı ($q_0 \geq 0.6$) benzerdir. Bu durumda madde alanın, evrimi hızlanmasına rağmen, madde kaybedeni yakalaması mümkün değildir çünkü madde kaybeden RLOF başlamadan önce önemli ölçüde evrimleşmiştir. Bu durum, kütle oranı, madde kaybedenin zarfı tamamen kaybolmadan ve ardında bir ilkel beyaz cüce kalıntısı bırakmadan önce alt birimden ~ 10 ' a (dönem de daha büyük faktörde artış gösterir) yükselen normal Algol' leri oluşturur.

Yukarıdakilerin hepsi korunumlu evrim çerçevesi içerisindedir. Oysa ki pratikte, burada göz önünde bulundurduğumuz oldukça düşük kütleli ve soğuk sistemler için, kütle kaybı ve açısal kütle kaybını (AML) oluşturan yıldızlı rüzgarlar ve manyetik frenlemeler olması muhtemeldir. Eğer AML zaman ölçeği ML ve NE (nükleer evrim) zaman ölçeklerinden kısaysa, bu, muhtemelen AS ve AN durumlarının kapsamını düşürür ve AR durumunu artırır. Çizelge 3.1’deki, tümü $M_1 \leq 1.2M_\odot$ olan 10 DCB’ nin sekizi için, görünen o ki oldukça yüksek olasılıkla, AML sebebiyle durum AR temas için ana rota olacak. AN ve B durumları için şimdiki dönemleri prensipte yeterince uzun olmasına rağmen, birinci bileşenin Roche lobu taşıma zamanı tarafından oldukça az miktarda evrimleştirilmesi, daha sonra temas etmesini kesinleştirebilir.

3.4 Bazı Korunumsuz Evrim Modelleri

Evrime korunumsuz olduğunda; $\dot{M} < 0$ ve $\dot{J} < 0$. Açısal momentumun alıp götürdüğü kütle dışında önemli bir kütle kaybını öngörmek zordur; ve açısal momentum kütle taşıma dışında yok olmuş olamaz ama bu kütle manyetik frenleme veya gravitasyonel radyasyon durumunda çok küçük olabilir. Öncelikle iki nokta kütleden birinden kütle transferi olmayan bir izotropik yıldız rüzgarını düşünelim. Yıldızın kütle kayıp oranı $-\dot{M} = -\dot{M}_1$. Bu kütle kendine özgü yörünge açısal momentumu taşır ve böylece;

$$j = \dot{M} a_1^2 \Omega \quad (3.1)$$

Bağıntıyı J ’ye böldüğümüzde daha önceden olan tanıdık sonuçları elde ederiz.

$$PM^2 = \text{sabit} \quad \text{ve} \quad aM = \text{sabit} \quad (3.2)$$

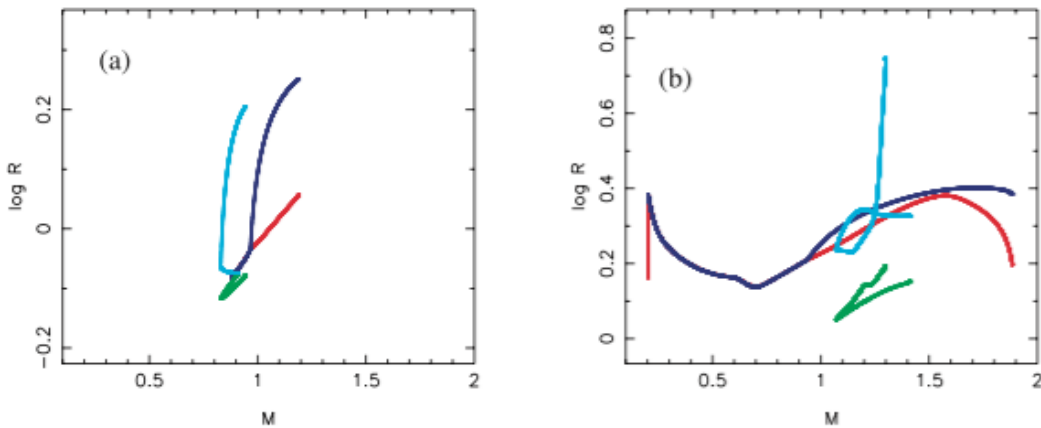
Yani dönem ve ayıklık artar. Güneş kütle kaybettiğinde Güneş sistemi büyüyecektir (Tout, 2012).

Değme evresi süresince ısı transferine ait iyi bir model bulunmamasının sebebi açıktır. Değme anına ulaşıldığında ölçümü durdururuz. Bunun yanı sıra, Eggleton’ un (2001) özel korunumlu olmayan modelinin, değişiklik yapmadan

doğru cevapları vermesi mümkün değildir. Eğer biri, olası değerler aralığını alabilmek için modeldeki kesin parametreleri kabul ederse bu modelleme astronomik bir dönüşüm anlamına gelir.

Eggleton & Kiseleva-Eggleton' da (2002) tamamen verilen, modelin matematiksel tanımını tekrarlamayacağız. Esas olarak, şu şartları öne sürer:

- M , R ve L' den konvektif zarf dönüş zamanını ve bu sayede dönemden Rossby sayısını hesapladık.
- Bu da, tüm diferansiyel dönme oranını (dinamo etkisi için önemli) ve manyetik çevrimin süresini (Güneş için ~11 yıl) hesaplamamızı sağladı.
- Tüm ana poloidal alanı (Alfven yarıçapı için önemli) ve ana toroidal alanı (dinamik yıldız rüzgarı için önemli) hesapladık.
- Dinamik enerjiyi sağlayan manyetik çevrim sürecinde, toroidal alandaki enerji kaybını göz önüne alarak rüzgarın şiddetini hesapladık, M_i ($i=1,2$)
- Daha sonra, rüzgar şiddeti ve poloidal alan Alfven yarıçapını verdi ve böylelikle AML oranını hesapladık, H_i ($i=1,2$).
- Gelgitsel sürtünme modeli, spin açısal momentumunun yörünge açısal momentumuna ya da tam tersi şekilde dönüşmesini içermelidir. Tabi ki, burada göz önüne alınan kısa dönemler için, yıldızlar ve yörüngeleri her zaman senkronizedir mantıksal varsayımı yapılmıştır. Fakat model, başlangıçta oldukça geniş ve muhtemelen alışılmamışları da içeren tüm çiftlere uygulanabilirliği önermelidir (Yakut and Eggleton, 2005).

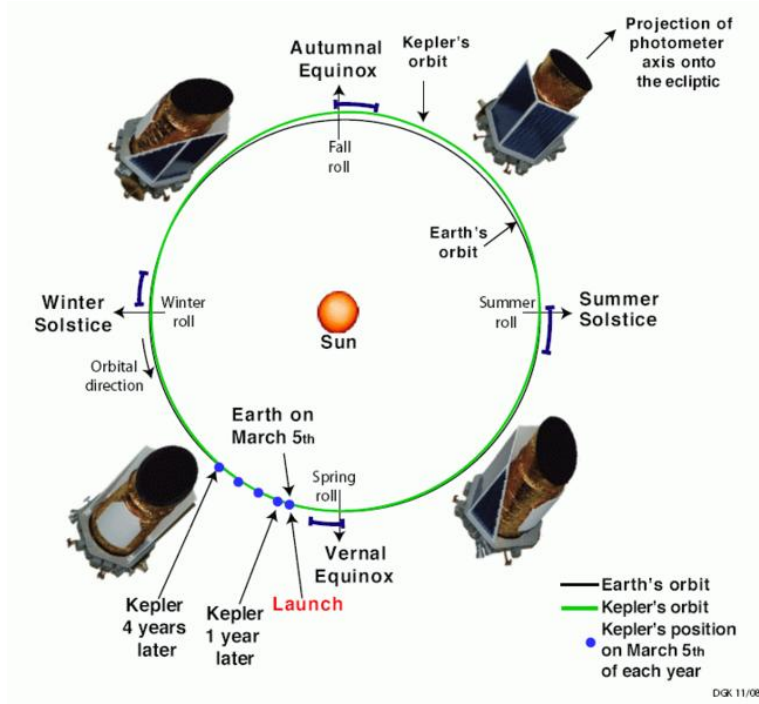


Şekil 3.5 Bileşenlerin korunumsuz evrimi (Yakut and Eggleton' dan 2005).

Şekil 3.5' te birinci ve ikinci bileşenler kırmızı ve yeşil ile Roche yarıçapları ise koyu mavi ve açık maviyle gösterilmiştir. Bazen iki eğri üst üste gelmiştir. İki grafikte de evrim sağ tarafa en uzak noktada başlar. a) başlangıç parametreleri: $1.19 + 0.94 M_{\odot}$, 0.75 gün, açısal momentum kaybı hakim ve sistem büzülür. Roche lob taşımına $0.97 + 0.83 M_{\odot}$ ' de, 0.31 günde ulaşır, ve $0.88 + 0.91 M_{\odot}$, 0.28 günde değme olur. b) başlangıç parametreleri: $1.88 + 1.41 M_{\odot}$, 0.94 gün. Birinci bileşen genişler ve soğur, kütle kaybı önemli hale gelir ve iki yıldızın da yarıçap piklerinden sonra, Roche lobu hemen hemen aynı oranda küçülür. Roche lobu taşımına $0.94 + 1.07 M_{\odot}$, 0.76 güne kadar ulaşmaz. Açısal momentum kaybı sistemin $0.72 + 1.15 M_{\odot}$, 0.69 güne kadar küçülmesine yol açar, fakat sonra birinci bileşenin çekirdeğindeki hidrojen tüketimi ve nükleer evrim baskın hale gelir. Sistem Roche lobu taşımı bitene kadar genişler ($0.20 + 1.30 M_{\odot}$, 3.12 gün). Sonraki aşamalar normal bir Algol gibidir fakat düşük kütleli ve kısa dönemli olur.

4. KEPLER UZAY ARACI

Kepler uzay aracı, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından 7 Mart 2009 yılında gönderilmiş ve 67 gün içinde 13 Mayıs 2009’ da bilimsel çalışmasına başlamıştır. Cygnus, Lyra ve Draco takımyıldızlarının bölgesinde yer alır. Bu bölgenin seçilmesinin nedenlerinden biri tutulum dairesinden uzak olması diğeri ise Kuiper kuşağındaki nesnelerden etkilenmeyecek olmasıdır. Yer yörüngesinde olmaması çekim etkilerinden, atmosferik etkilerden ve tedirginlik hareketlerinden etkilenmeyeceği anlamına gelir. Yer takipli günmerkezli yörünge 372.5 günlük dönemi ile bilimsel hedeflere optimum yaklaşım sağlar. Şekil 4.1, Kepler’in yörüngesini ve yıllar içindeki konumunu gösterir. Bu yörüngede Kepler yavaş yavaş Yer’ den sürüklenir ve dört yılın sonunda en kötü durumda 0.5 AB (Astronometrik Birim) uzaklığında olur (NASA, 2015). Uzay aracı, 170.000’ e kadar yıldızın parlaklığını sürekli ve eşzamanlı olarak, 42 CCD destekli 0.95 metre açıklığa sahip Schmidt teleskobundan oluşan görüş alanı geniş bir fotometri ile izler. Bu geniş görüş alanı ve şimdiye kadar uzaya gönderilmiş en güçlü CCD’ ye sahip olduğundan dolayı diğer uzay teleskoplarına göre çok daha fazla gezegen ve yıldız hakkında bilgi sunma imkânı vardır. 150.000 anakol yıldızlarının her birini oluşturan birbirinden ayrı piksellerden elde edilen veriler sürekli ve eş zamanlı olarak kaydedilir. Veriler uzay aracında saklanır ve her ay bir kez kontrol merkezine iletilir. Çizelge 4.1’ de Kepler uzay aracına ait bazı parametreler ve değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1 Kepler' in yörüngesi (NASA' dan 2015).

Çizelge 4.1 Kepler uzay aracına ait parametreler (NASA' dan 2005).

Parametre	Birim	Değer
kütle	Kg	1036
ayna çapı	M	1.4
CCD	piksel	1024x2200
görüş alanı	deg ²	105
dalgaboyu	Nm	430-890
dönem	Gün	372.53
yari büyük eksen	AB	1.0132

4.1 Kepler Görevinin Detayları ve Amaçları

Kepler, geçiş fotometrisi yöntemini kullanarak Güneş benzeri yıldızların yaşanabilir bölgesinde Yer benzeri gezegenlerin varlığını, sıklığını ve onların karakterlerini araştırmak üzere dizayn edilmiştir. Bu yöntem yörünge dönemi ve gezegenin yıldızıyla olan ilişkisinin büyüklüğü hakkında bilgi verir. Bu yıldız parametreleri kullanılarak gezegenin açısal hız ölçümleri, kütle, yarıçap ve yoğunluğu bulunabilir. Geçiş fotometrisi uzun bir süre boyunca çok sayıda yıldızın sürekli zaman verileri ile yüksek fotometrik hassasiyet gerektirir (Koch et al., 2010).

Kepler uzay aracı bu zamana kadar keşfedilen gezegenlerden çok daha az kütleli gezegenleri belirleyebilmek için tasarlandı. Bu görev sonuçları galaksideki gezegen sistemlerinin kapsamında Güneş sistemimizde yer alan, Yer benzeri ve daha büyük gezegenlerin yörünge dönemlerinin ve boyutlarının istatistiksel sayımlarını sağlayarak deneysel verilere dayalı teoriler geliştirmemize olanak sağlar (Koch et al., 2005).

Kepler görevinin bilimsel amacı gezegen sistemlerinin yapısını ve çeşitliliğini keşfetmektir. Bu görevin amaçları:

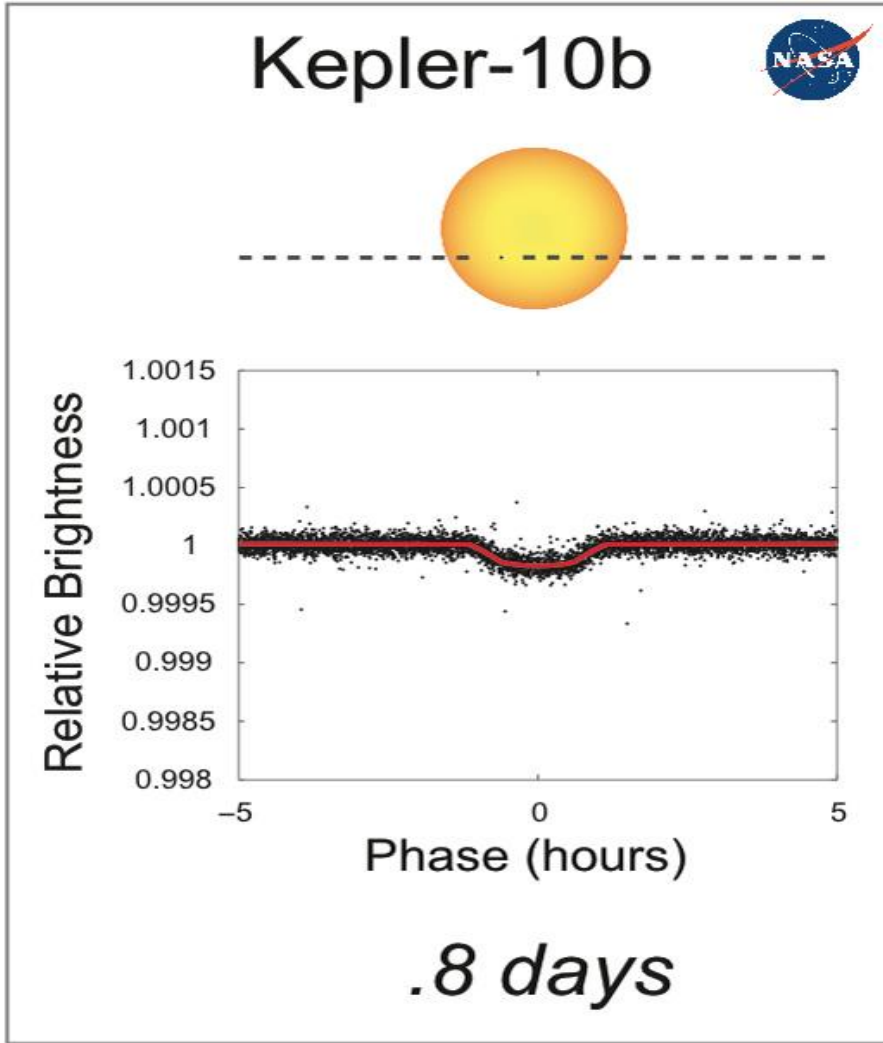
- Çeşitli yıldızların yaşanabilir bölgeleri yakınındaki Yer benzeri ve daha büyük gezegenlerin yüzdesini,
- Bu gezegenlerin yörüngelerinin şekillerinin ve boyutlarının dağılımını,
- Çoklu yıldız sistemlerinde kaç tane gezegen olduğunu,
- Kısa dönemli dev gezegenlerin yoğunluk, kütle, büyüklük, gezegen yansıması ve yörünge büyüklüklerinin çeşitlerini,
- Diğer teknikleri kullanarak her keşfedilen gezegen sisteminin ek üyelerini,
- Bu gezegenlere ev sahipliği yapan yıldızların özelliklerini belirlemektir (NASA, 2015).

4.2 Kepler ile Elde Edilen Çeşitli Veriler

4.2.1 KOI 72.01 (Kepler-10b)

Kepler' in ilk Yer benzeri gezegeni olan Kepler-10b ' in kütlesi Yer kütlesinin yaklaşık olarak 4.6 katıdır. Güneş sistemimize 560 ışık yılı uzaklıkta olan bu gezegen, yıldızı olan Kepler 10 yıldızının her 0.8 günde bir belli oranda sönükleştiğinin tespit edilmesinden sonra etrafında bir gezegenin varolabileceğini araştırdılar. Sekiz ay süren gözlemler sonucu Kepler' in yüksek hassasiyete sahip fotometrisi ile Kepler-10b' nin varlığı kesinleşti (Batalha et al., 2011). Yıldızı etrafındaki bu kısa dönemiyle Kepler-10b, yıldızına Merkür' ün Güneş' e olan uzaklığından 23 kat daha yakındır.

Ancak Kepler-10b' nin kısa olan dönemi ve yıldızıyla arasındaki uzaklığın az olmasından dolayı yaşanabilir bölgede yer almaz.

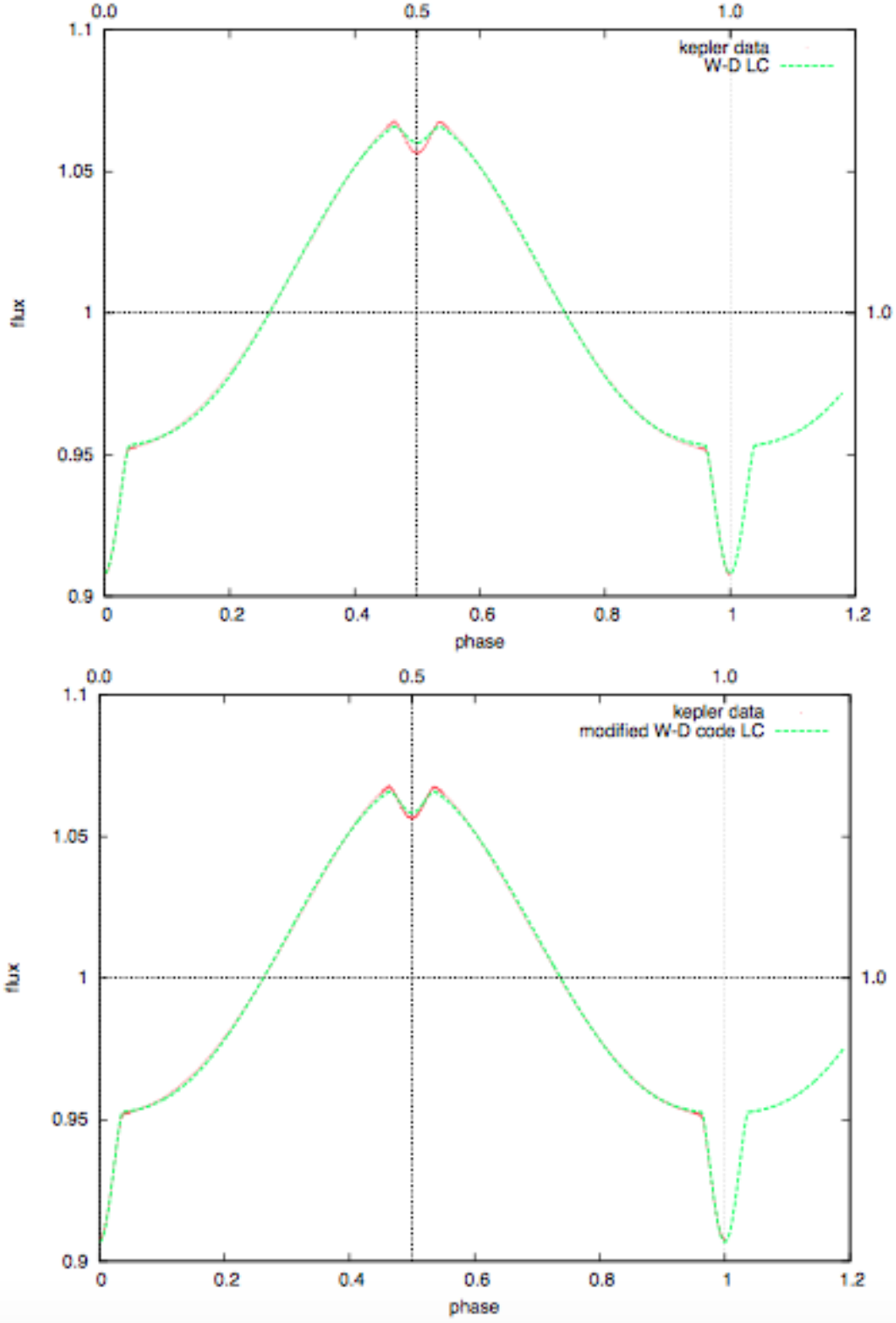


Şekil 4.2 Kepler-10b' ye ait ışık eğrisi (NASA' dan 2009).

4.2.2 KIC 9472174 (2M1938+4603)

KIC 9472174, çok sıcak sdB (B tipi altcüce) ve soğuk dM (M tipi cüce) bileşenlerine sahip bir çift sistemdir. Sistemin sağ açıklık değeri 19s 38dk 32s, dik açıklık değeri ise $+46^{\circ} 03' 59''$ (j2000)' dir. Sistem, sıyrıp geçen yüzeysel tutulmalar ve güçlü bir yansıma etkisiyle muhteşem bir ışık eğrisi gösterir. Şekil 4.3' te üst grafikteki fit orjinal Wilson-Deviney koduyla elde edilen, alttaki grafik ise modifiye edileni gösterir (Ostensen et. al., 2010). Yörünge dönemi 0.126 gün ile bu zamana kadar bir sdB+dM tutulmasının bulunan en uzun ikinci dönemidir. KIC 9472174, Kepler ile 10 gün gözlemlendi ve ilk sonuçlar 2010' da yayımlandı. Sonuçlar sdB yıldızının geniş bir frekans aralığında (50~531 μ Hz) zonkladığını göstermiştir (Ostensen et. al., 2010). Sistem sDB (alt cüce B) bileşeninin zengin hibrid p ve g modlu zonklamalarının keşfi ile daha ilgi çekici olmuştur.

Sonuç olarak, KIC 9472174 örten çifti kısa dönemli çiftlerde yansıma etkisinin çalışılabilmesi için çok ilgi çekici bir hedeftir.



Şekil 4.3 KIC 9472174' ün gözlemsel ve sentetik ışık eğrisinin karşılaştırılması (Zola, S. and Baran, A.' dan 2013).

5. YAKIN ÇİFT SİSTEM KIC 3104113

5.1 Tarihçe

Kepler uydusu çok sayıda yıldızın gözlemini sürekli olarak başarılı bir şekilde yapmış ve görevini tamamlamıştır. Uydu verileri yer konuşlu teleskoplara göre çok daha hassas verilere sahiptir. Hassas veri olması bize gözlenen yıldızların parametrelerini daha az hata ile elde etmemizi sağlar. Bu şekilde yapılacak yıldız evrim modelleri de daha detaylı olacaktır.

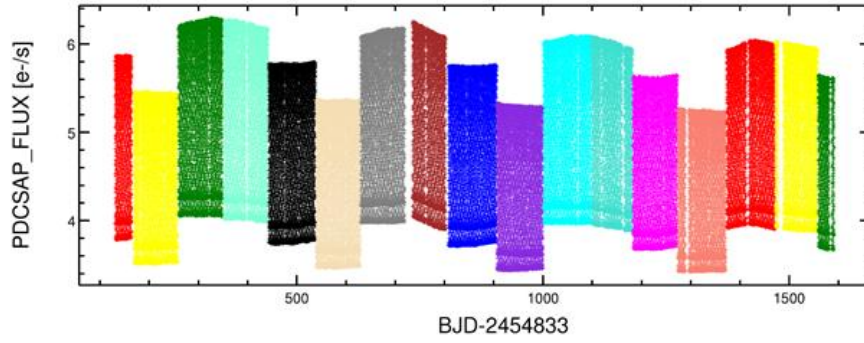
Bu tez kapsamında seçilen KIC 3104113 sistemi Kepler uydusu tarafından 1460 gün boyunca gözlenmiş ve yaklaşık 65000 nokta elde edilmiştir. Bu düzende ve sayıdaki gözlemlerin yer konuşlu bir teleskoptan elde edilmesi olanaklı değildir. Prsa et al., (2011) Kepler uydu gözlemleri alanında bulunan 1879 adet çift sistemin analizini otomatik şekilde analizlerini yapmışlardır. Bu analizlerin bir çoğunun kaba hatası büyük sonuçlar vermiştir. Bu tür sistemlerin analizi ayrı ayrı ve dikkatli şekilde yapılması gereklidir. Prsa et al., (2011) sistemin dönemini 0.846786 olarak vermişlerdir. Sistemin yörünge öğeleri ise tespit edilememiştir. Kepler sisteminin fotometrik özellikleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

5.2 Yeni Kepler Uydu Gözlemleri ve Işık Değişimi

KIC 3104113 sisteminin Kepler uydu verilerinin düzeltilmiş (PDCSUB) akıları ve normalize edilmiş verileri analiz sırasında kullanılmıştır. Sistemin yaklaşık 1600 günlük ışık değişimi Şekil 5.1' de verilmiştir. Şekilde her renk Kepler uydusunun farklı gözlem dönemlerine karşılık gelmektedir. Q1 ve Q17 arasındaki bu gözlem dönemlerinin tarihleri ve nokta sayıları Çizelge 5.2' de verilmiştir. Seçilen sistem için elde edilen Kepler uydusu verilerinin tamamı normalize edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.2' de çizilmiştir.

Çizelge 5.1 KIC 3104113 sistemine ilişkin fotometrik veriler.

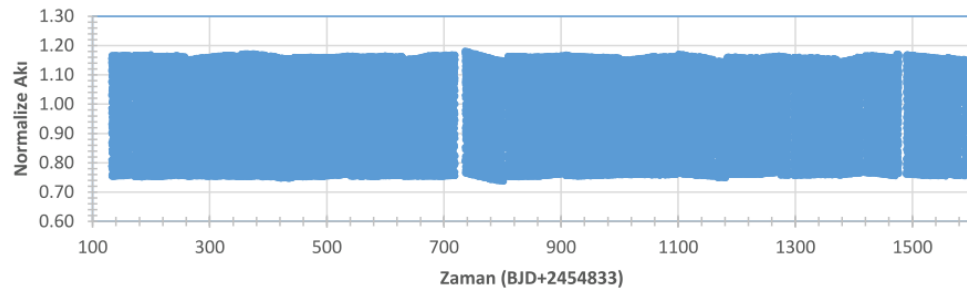
Parametre	Birim	Değer
g mag	mag	13.852
r mag	mag	13.384
i mag	mag	13.274
J mag	mag	12.396
H mag	mag	12.192
Ks mag	mag	12.132
Kepler mag	mag	13.447
E (B-V)	mag	0.091
g-r Color	mag	0.468
J-Ks Color	mag	0.264
g-Ks Color	mag	1.72
T	Kelvin	5910
log g	dex in cgs	4.52
Z	dex	0.102



Şekil 5.1 Sistemin Kepler uydusundan 17 çevrim boyunca alınmış ham verileri. Her renk farklı çevrimi göstermektedir. y-ekseni 10^4 ile bölünmüştür.

Çizelge 5.2 Sisteme ilişkin Kepler uydu gözlem bilgileri.

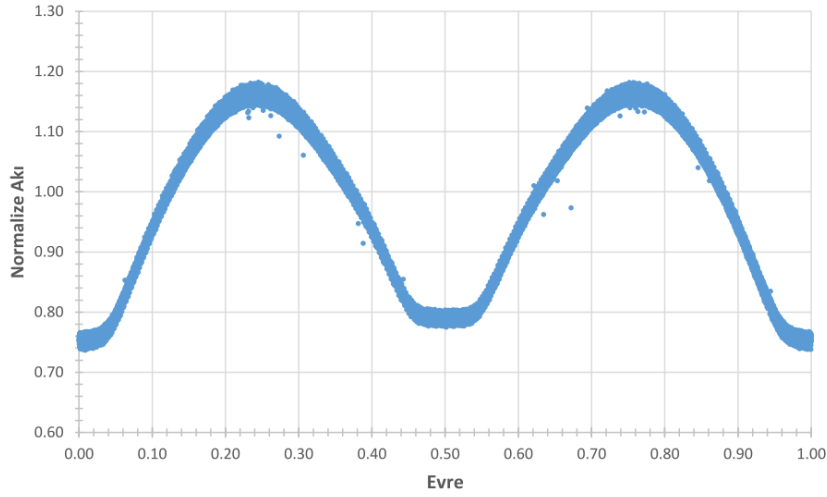
Program	Başlangıç JD değeri	Son JD değeri	Nokta sayısı
1	131.5026	164.994589	1639
2	169.5105	258.477811	4354
3	260.2146	349.505342	4370
4	352.366	442.213136	4397
5	443.4801	538.173485	4634
6	539.4404	629.306774	4398
7	630.165	719.557885	4375
8	735.3526	802.354892	3279
9	808.5056	905.937296	4768
10	906.8364	1000.27883	4573
11	1001.198	1098.33528	4754
12	1099.398	1182.03187	4044
13	1182.727	1273.06759	4421
14	1274.13	1371.33259	4757
15	1373.478	1471.14628	4780
16	1472.086	1557.96935	4203
17	1559.216	1591.01196	1556



Şekil 5.2 Sistemin 17 çevrim boyunca elde edilmiş verilerinin normalize edilmiş biçimi.

Sistemin ışık eğrisinin çizilmesi için dönemi ve başlangıç minimum zamanı Kepler verisi kullanılarak elde edildi. Elde edilen T_0 ve P değerleri kullanılarak

evre hesabı yapıldı ve sistemin ışık eğrisi çizildi (Şekil 5.3). Sistemin ışık eğrisi değen çift sistem biçimindedir. Bu tür sistemlerin her iki bileşeni de Roche lobunu doldurmuşlardır.



Şekil 5.3 Sistemin ışık eğrisi. Normalize edilmiş verilerden verilen T_0 ve P değerleri kullanılarak elde edilmiştir.

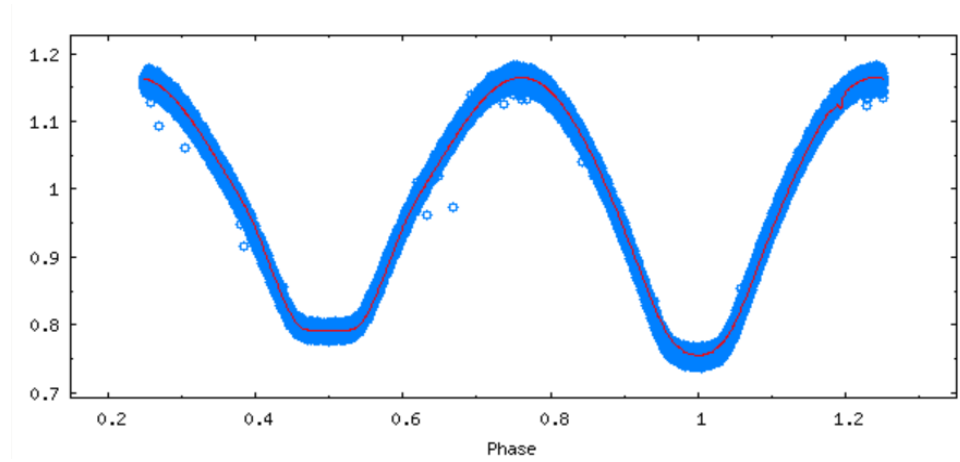
5.3. Sistemin Yörünge Öğeleri

Çift sistemlerin ışık eğrisi analizi yapılarak onların yörünge ve diğer bazı parametrelerini elde etmek mümkündür. Işık eğrisi analizi için bir çok yöntem mevcuttur. Bu analiz programlarından en önemlisi Wilson- Devinney kodu (Wilson and Devinney, 1971) ve kodu temel alarak uygun arayüz ile yapılan Phoebe programıdır (Prsa and Zwitter, 2005). Bu programlar ile gözlemsel veriler kullanılarak en uygun yörünge öğeleri ardışık yaklaştırma yöntemleri ile çözüm aranır. Bu tez çalışması kapsamında KIC 3104113 sisteminin analizi için Phoebe programı kullanılmıştır.

Işık eğrisi analizi sırasında T_0 , P , yörünge eğikliği (i), kütle oranı (q), yoldaş yıldızın sıcaklığı (T_2), potansiyel değerleri ($\Omega_1 = \Omega_2$), yoldaş yıldızın göreceli ışıması serbest parametre olarak alınmıştır. Baş bileşenin sıcaklığı Pinsonneault et al. (2012) yaptığı çalışmadan alınmıştır. Sistemin elde edilen öğelerini karşılaştırmak için Q1, Q10 ve Q17 ışık eğrileri ayrı ayrı analiz yapıldı. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3' de gösterilmiştir.

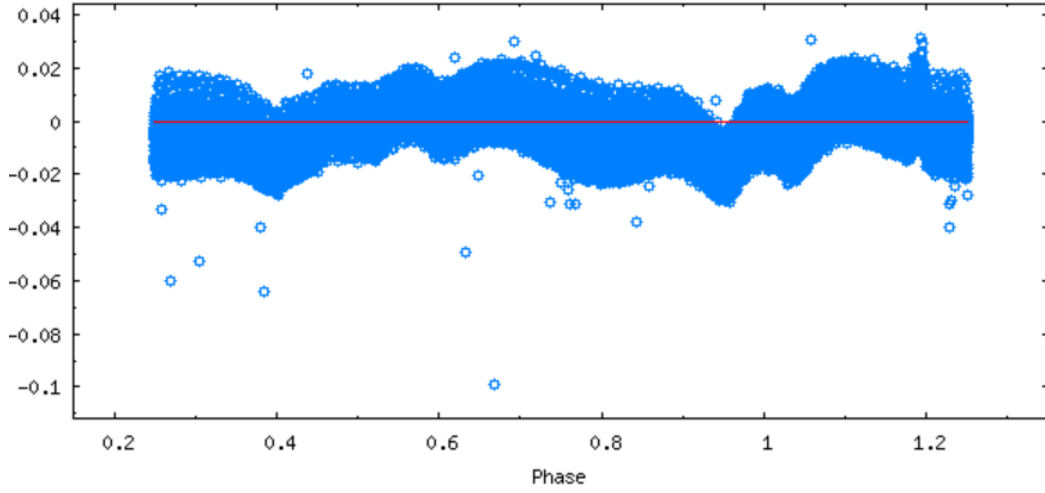
Çizelge 5.3 Sistemin Q1, Q10 ve Q17 dönemlerine ilişkin ışık eğrisi analiz sonuçları.

Parametre	Birim	Q0	Q10	Q17
T_0	HJD (Gün)	132.2577(39)	132.2849(4)	132.2869(9)
P	Gün	0.846787(4)	0.8467859(4)	0.846785(6)
i	(o)	77.86(2)	77.79(2)	77.63(5)
q	-	0.1624(1)	0.1637(1)	0.1607(1)
T_1	K	6033	6033	6033
T_2	K	6183(66)	6118(36)	6120(63)
$\Omega_1=\Omega_2$	-	2.036(1)	2.0384(1)	2.0324(1)
$L1/(L1+L2)$	-	0.805	0.806	0.809
r_1 ort	-	0.57869(6)	0.57879(3)	0.57981(6)
r_2 ort	-	0.2931(7)	0.2943(2)	0.2921(22)
f	-	0.94	0.93	0.91



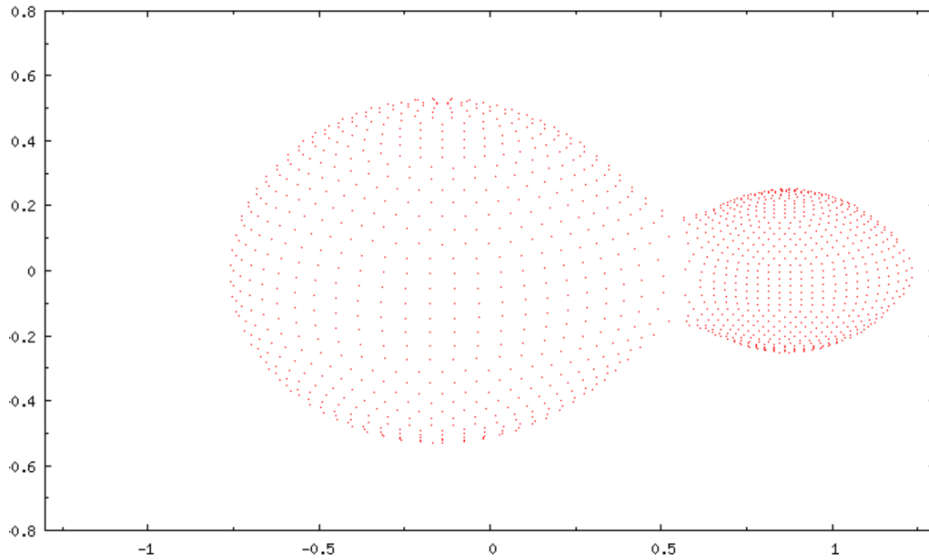
Şekil 5.4 KIC 3104113 çift sisteminin ışık eğrisi analiz sonucu. Düz çizgi sentetik eğriyi, noktalar gözlemleri göstermektedir.

Çift sistemin i değeri 77.8 derece olarak elde edilmiştir. Bu değer ileride yapılacak tayfsal gözlemler ile birleştirildiğinde sistemin fiziksel öğeleri de elde edilebilir. Sistemin Çizelge 5.3’ te elde edilen öğeler kullanılarak elde edilen sentetik ışık eğrisi Şekil 5.4’ de gösterilmiştir. Bu şekilde Kepler ile elde edilen tüm veriler kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Sistemin gözlem ve sentetik modelinin farkı.

Şekil 5.5’ de gözlem ve modelin farkına baktığımızda kalan artıklar göze çarpmaktadır. Bu sonuç yapılan modelin hatalı olduğunu değil, yakınlıktan kaynaklanan aktivitelerden dolayı olduğunu düşünmekteyiz. Bu dalgalanmaların sebebi olarak bu sistemin yüzeyinde leke aktivitesi olabileceği düşünülmektedir. Çift sistemin geometrik gösterimi Şekil 5.6’ da gösterilmiştir. Burada elde edilen çözüm sistemin değen bir sistem olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.6 KIC 3104113 sistemin geometrik görünümü. Şekil sisteme ilişkin yapılan çözümde elde edilen parametreler kullanılarak elde edilmiştir.

6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Gözlemsel çalışmaların gelişen teknolojik altyapı ile daha hassas ölçümlerin yapılması bize yıldız evrimindeki çalışmalarında hassas bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Çift yıldızların özellikle yakın çift yıldızların oluşumu ve sonrasındaki evrimi henüz iyi bir şekilde anlaşılmış değildir. Bu tür sistemlerin evrim modellerinin yapılabilmesi için olabildiğince çok sayıda ve farklı geometrilere sahip sistemlerin gözlemlerinin iyi bir şekilde yapılması ve analiz edilmesi gereklidir.

Yakın çift sistemlerinin evrimi ayırık, yarı-ayırık ve değen sistemler arasında bağlantı vardır (Bkz. Bölüm 2). Hayatına ayırık bir sistem olarak başlayan bir çift sistem zamanla önce baş bileşenin Roche lobunu doldurması ve bileşenine madde aktarması sonrasında yoldaş bileşenin de Roche lobunu doldurması ile değen bir sistem haline dönüşür. Bu aşamadan sonra TRO modeli ile sistem evrimine devam eder.

Bu tez çalışması yakın çift sistemlerde, yakın olma durumunun fiziksel etkilerinin neler olabileceğini literatür bilgileri ile araştırmış ve bunları uygun kaynaklar kullanarak özetlemiştir. Yakın çift sistemlerin sınıflandırılması ve bu sınıflar arasındaki farklılıklar ortaya konmuştur. Tezin son bölümünde ise Kepler uydu verileri kullanılarak yakın bir çift sistem olan KIC 3104113 sisteminin ışık eğrisi analizi yapılmış ve sistemin lekesiz modeli yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.4 ve Çizelge 5.3' de verilmiştir.

KIC 3104113 geri tür yıldızlardan oluşmuş bir çift sistemdir. Sistem yakın çift yıldız sınıflamasına göre değen (W UMa) türü bir sistemdir. Bileşen yıldızların kütleleri oranı bu çalışma kapsamında 0.16 gibi oldukça küçük bir değer elde edilmiştir. Baş bileşen, yoldaş yıldızdan oldukça büyük ama aynı sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu değen sistemlerin karakteristik özelliğidir. Sistemin f (taşma parametresi) parametresi onun Roche lobunu ne kadar doldurduğunun bir ölçeğidir. Sistem için hesaplanan f değeri %91 - %94 arasında değişiklik göstermektedir. Bu değer bize bileşen yıldızların Roche loblarının doldurduğu ve ortak zarf aşamasında olduğunun da bir göstergesidir. Bu ortak zarf ile çevrili olma

durumu bileşen yıldızların sıcaklıklarının benzerlik göstermesinin de bir nedeni olarak görülebilir.

Değen bir sistem olan KIC 3104113' ün bileşen yıldızları arasında kütle aktarımı ve yıldız aktivitesi kaynaklı kütle kaybı beklenmektedir. Bu sisteme ilişkin ileride yeni gözlemler yapılarak, dönem değişim analizi yapıp bileşenler arasında kütle aktarım oranında hesaplanması planlanmaktadır.

Sistemin dikine hız çalışması olmadığından kütle ve yarıçap değerlerini hesaplamamız olanaklı değildir. Eğer sisteme ilişkin tayfsal çalışma yapılırsa ve dikine hız değişimi de elde edilirse bileşen yıldızların kütle, yarıçap, ısıtma gibi gözlemsel özellikleri de ortaya çıkarılabilir. Bunların elde edilmesi durumunda bu sistemin evrimi hakkında daha fazla bilgi edinebiliriz.

Yakınlık etkisi bu tür sistemlerde yıldız aktivitesinin daha etkili olmasını sağlar. Özellikle dönemi küçük bu tür sistemler leke benzeri aktiviteler ile sistemin ışık değişiminde kendini gösterirler. Bu şekil değişimi modellenerek bileşenler üzerindeki leke değişimleri modellerinin yapılması mümkündür. Çalışma, yapılacak ek gözlemler ile devam edecektir. Her iki bileşen üzerindeki leke aktivitesinin durumu farklı leke grupları ile yapılacak modellemeler ile temsil etmek mümkündür. Bunun için her bir ışık değişim grubunun ayrı ayrı modellenmesi sonraki çalışmalarda yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ames Research Center, “Photometer and Spacecraft”, <http://kepler.nasa.gov/mission/QuickGuide/missiondesign/photometer/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2014).

Ames Research Center, “Kepler Discoveries”, <http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2014).

Batalha, N.M., Borucki, W.J., Bryson, S.T., Buchhave, L.A., Caldwell, D.A., Christensen-Dalsgaard, J., Ciardi, D., Dunham, E.W., Freddin, F., Gautier III, T.N., Gilliland, R.L., Haas, M.R., Howell, S.B., Jenkins, J.M., Kjeldsen, H., Koch, D.G., Latham, D.W., Lissauer, J.J., Marcy, W.G., Rowe, J.M., Sasselov, D.D., Seager, S., Steffen, J.H., Torres, G., Basri, G.S., Brown, T.M., Charbonneau, D., Christiansen, J., Clarke, B., Cochran, W.D., Dupree, A., Fabrycky, D.C., Fisher, D., Ford, E.B., Fortney, J., Girouard, F.R., Holman, M.J., Johnson, J., Isaacson, H., Klaus, T.C., Machales, P., Moorehead, A.V., Morehead, R.C., Ragozzine, D., Tenenbaum, P., Twicken, J., Quinn, S., Vancleve, J., Walkowicz, L.M., Welsh, W.F., Dewore, E. and Gould, A., 2011, Kepler’s First Rocky Planet: Kepler-10b, AAS, 81p.

Borucki, W.J., 2010, "Brief History of the Kepler Mission", <http://kepler.nasa.gov/Mission/QuickGuide/history/> (Erişim tarihi: 20 Eylül 2014).

Cornish, N.J., 1999, “The Lagrange Points”, <http://www.physics.montana.edu/faculty/cornish/lagrange.html> (Erişim tarihi: 28 Haziran 2015).

Eggleton, P., 2001, Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars, Cambridge University Press, United Kingdom, 322p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Guidry, M.**, 2014, “Accreting Binary Systems”, http://eagle.phys.utk.edu/guidry/astro411/lectures/lecture_ch13.pdf (Erişim tarihi: 2 Temmuz 2015).
- Hilditch, R.W.**, 2001, An Introduction to Close Binary Stars, Cambridge University Press, United States of America, 381p.
- Howard, I.**, 2013, Analysis of Eclipsing Binaries, University College London, London, 7p.
- Höim, M.**, 2009, “Kepler Mission”, <http://www.keplermission.com/index.html> (Erişim tarihi: 11 Ocak 2015).
- Koch, D., Borucki, W.J., Basri, G., Batalha, N.M., Brown, T.M., Caldwell, D., Christensen-Dalsgaard, J., Cochran, W.D., DeVore, E., Dunham, E.W., Gautier III, T.N., Geary, J.C., Gilliland, R., Gould, A., Jenkins, J., Kondo, Y., Latham, D.W., Lissauer, J.J., Marcy, G., Monet, D., Sasselov, J., Boss, A., Brownlee, D., Caldwell, J., Dupree, A., K., Howell, S.B., Kjeldsen, H., Meibom, S., Morrison, D., Owen, T., Reitsema, H., Tarter, J., Bryson, S.T., Dotson, J.L., Gazis, P., Haas, M.R., Kolodziejzak, J., Rowe, J.F., Van Cleve, J.E., Allen, C., Chandrasekaran, H., Clarke, B.D., Quintana, E.V., Tenenbaum, P., Twicken, J.D., and Wu, H.**, 2010, Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science, AAS, 8p.
- Loore, C.W.H. de and Doom, C.**, 1992, Structure and Evolution of single and Binary Stars, Kluwer Academic Publishers, 179, Boston, 458p.
- National Aeronautics and Space Administration**, 2015, “Mission Overview”, http://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/overview/index.html (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2015).
- National Aeronautics and Space Administration**, 2009, “Kepler-10b”, <http://kepler.nasa.gov/Mission/discoveries/kepler10b/> (Erişim tarihi: 20 Mayıs 2015).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Østensen, R.H., Green, E.M., Bloemen, S., Marsh, T.R., Laird, J.B., Morris, M., Moriyama, E., Oreiro, R., Reed, M.D., Kawaler, S.D., Aerts, C., Vuckovic, M., Degroote, P., Telting, J.H., Kjeldsen, H., Gilliland, R.L., Christensen-Dalsgaard, J., Borucki, W.J., and Koch, D., 2010, 2M1938+4603: A rich, multimode pulsating sdB star with an eclipsing dM companion observed with Kepler, *MNRAS*, 9p.
- Pettini, M., 2012, Structure and Evolution of Stars, University of Cambridge, 24p.
- Pinsonneault, M. H.; An, D.; Molenda-Zakowicz, J.; Chaplin, W. J.; Metcalfe, T. S.; Bruntt, H., 2012, A Revised Effective Temperature Scale for the Kepler Input Catalog, *ApJ*, 199, 30p.
- Podsiadlowski, P., 2003, The Evolution of Binary Systems, Oxford University, 55p.
- Prsa, A., Batalha, N., Slawson, R.W., Doyle, L.R., Welsh, W.F., Orosz, J., A., Seager, S., Rucker, M., Mjaseth, K., Engle, S.G., Conroy, K., Jenkins, J., Caldwell, D., Koch, D. and Borucki, W., 2011, Kepler Eclipsing Binary Stars. I. Catalog and Principal Characterization of 1879 Eclipsing Binaries in the First Data Release, *The Astronomical Journal*, 51p.
- Prsa, A. and Zwitter, T., 2005, A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives, *ApJ*, 33p.
- SETI Institute, 2008, “Closing in on Extrasolar Earths”, <http://www.space.com/5531-closing-extrasolar-earths.html> (Erişim tarihi: 21 Şubat 2015).
- Sharkey, J. 2013. “NASA to attempt Kepler recovery”, <http://www.examiner.com/article/nasa-to-attempt-kepler-recovery> (Erişim tarihi: 3 Nisan 2015).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Tout, C.A.**, 2012, "Non-Conservative Evolution of Binary Stars", http://journals.cambridge.org/download.php?file=%2FIAU%2FIAU7_S282%2FS1743921311027967a.pdf&code=ea5daed778de5470535dff80e4f96db5 (Erişim tarihi: 13 Temmuz 2015).
- Wikipedia**, 2015, "Roche Lobe", https://en.wikipedia.org/wiki/Roche_lobe (Erişim tarihi: 15 Haziran 2015).
- Wikipedia**, 2011, "Kepler", [https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler_\(spacecraft\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Kepler_(spacecraft)) (Erişim tarihi: 12 Ocak 2015).
- Yakut, K. and Eggleton, P.**, 2005, Evolution of Close Binary Systems, AAS, 20p.
- Zola, S. and Baran, A.**, 2013, Modeling The Reflection Effect in The Binary System 2M 1938+4603, ADS, 227p.

ÖZGEÇMİŞ

Tuğçe ERENLER, 1989 yılında İstanbul’da doğmuştur. Üniversite öğrenime kadar olan eğitim hayatını İstanbul’da görmüştür. 2008 yılında Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü’ne başlamış ve 2012 yılında lisans diplomasini almıştır. Lisans eğitimine devam ederken Anadolu Üniversitesi Açık Öğretim Fakültesi İşletme Yönetimi Bölümü’ne başlayıp buradan 2015 yılında önlisans diplomasini almıştır. 2012 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Astronomi ve Uzay Bilimleri anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başlamış ve hala devam etmektedir.