

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÖRTEN ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE BAZI GÖZLEMSEL BAĞINTILAR:
UZAKLIK TAHMİNİNDE MUTLAK PARAMETRELER**

Derya ÖZTÜRK

ASTRONOMİ VE UZAY BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

**ANKARA
2017**

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Derya ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “Örten Çift Yıldız Sistemlerinde Bazı Gözlemsel Bağıntılar: Uzaklık Tahmininde Mutlak Parametreler” adlı tez çalışması 12/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR



Jüri Üyeleri:

Başkan : Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Ankara Üniversitesi / Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Birol GÜROL

Ankara Üniversitesi / Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Sıtkı Çağdaş İNAM

Başkent Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki tüm bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

12.07.2017



Derya ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖRTEN ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE BAZI GÖZLEMSEL BAĞINTILAR: UZAKLIK TAHMİNİNDE MUTLAK PARAMETRELER

Derya ÖZTÜRK

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Örten değişen yıldızların ışık eğrisi ve dikine hız analizleri ile sisteme ait mutlak fiziksel parametreleri büyük doğrulukla belirlenebilmektedir. Çift sisteminin mutlak parametrelerinden ise sisteme ilişkin uzaklık (dinamik paralaks) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada literatür taraması sonunda elde edilen toplam 152 adet ayırık ve yarı-ayırık örten çift yıldız sistemine ait trigonometrik ve dinamik yolla belirlenmiş uzaklık değerleri karşılaştırılmıştır. Bu sayede bu iki yöntem arasındaki güvenilirlik derecesi ortaya konulmuştur. Ayrıca SY Sge ve V688 Aql sistemlerine ait BVRI bantlarındaki ışık eğrisi çözümleri yapılarak, mutlak parametre seti elde edilmiş ve bu sistemler için dinamik paralaksları hesaplanmıştır. İlgili sistemler dinamik-trigonometrik paralaks bağıntısı üzerine yerleştirilmiştir. Trigonometrik ve dinamik paralaks arasında oluşturulan bu doğrusal bağıntı kullanılarak, trigonometrik yöntemin cevap veremediği uzaklıklar için örten çift sistemlere ait dinamik paralaksın uzaklık tayininde kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca ilgili bağıntı, yıldızlararası sönmeme miktarını belirlemede de kullanılabilmektedir.

Temmuz 2017, 75 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yöntem: dinamik paralaks, trigonometrik paralaks; Tür: örten değişen, ayırık, yarı-ayırık, V688 Aql, SY Sge

ABSTRACT

Master Thesis

SOME EMPIRICAL RELATIONS FOR THE ECLIPSING BINARY SYSTEMS: ABSOLUTE PARAMETERS IN DISTANCE ESTIMATION

Derya ÖZTÜRK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor: Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Light curve and radial velocity analysis of eclipsing binaries presents an opportunity to calculate very precise absolute parameters of the systems. Absolute parameters of such systems may lead to obtain distances or dynamical parallaxes to the systems. In the present thesis, total of 152 systems which composed of detached and semi-detached systems is collected from the literature to establish a correlation between trigonometric and dynamical parallaxes. The level of reliability of the correlation is discussed. Furthermore, absolute parameters obtained by light curve analysis in BVRI filters of two eclipsing systems, SY Sge and V688 Aql, are also included to improve the correlation. By using the linear relation established between trigonometric and dynamical parallaxes, it is shown that dynamical parallax deduced from absolute parameters of eclipsing binaries is a useful tool in distance estimation even up to distances for which trigonometric measurements are not able to respond. The presented correlation can also be utilized to estimate the interstellar reddening through the sources.

July 2017, 75 pages

Key Words: Method: dynamic parallax, trigonometric parallax; Type: eclipsing binary, detached, semi-detached, V688 Aql, SY Sge

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasına bilgi ve tecrübesiyle katkıda bulunmuş olan, çalışmalarım sırasında sorduğum her soruya sabırla yanıt veren, başarısız olduğum her sınavda başarılı olana kadar destekleyen ve bana bilimin vazgeçmemeye denk olduğunu öğreten danışman hocam Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR'e (Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) yürekten teşekkür ederim.

Yine engin bilgi ve yorumlarını hiçbir zaman esirgemeyen, kıymetli zamanlarını her daim ayırmış olan değerli hocalarım Doç. Dr. Birol GÜROL'a (Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı), Gökhan GÖKAY'a, (Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) değerli arkadaşlarım, doktora öğrencileri Zahide TERZİOĞLU, Hande GÜRSOYTRAK ve Mehmet Naim BAĞIRAN'a teşekkür ederim.

Öğrenim hayatımın bu aşamaya gelmesini sabırla bekleyen ve hatta eşsiz emekleriyle inşa eden sevgili AİLEME, üniversite yıllarımın her adımında yer alan ve karşılaştığım her karanlıkta yeni bir fener olan meslektaşım, gelecekteki ailem Yunus ÇETNİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak, bilgilerinin yanı sıra, tezsiz programla başlayıp tezli program ile mezun olduğum yüksek lisans sürecim boyunca karşılaştığım bürokratik engellere karşı, ben ve benzeri durumda olan arkadaşlarım adına her daim cevap arayışı içinde olan, yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Selim Osman SELAM'a (Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı) teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışma 115F032 numaralı TÜBİTAK Projesi kapsamında desteklenmiştir.

Ankara, Temmuz 2017

Derya ÖZTÜRK

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çift Yıldızlar.....	1
1.2 Algol Türü Çift Yıldızlar	4
2. KURAMSAL TEMELLER.....	8
2.1 Dikine (Radyal) Hız ve Tayfsal Kütle Oranı (q_{sp}).....	8
2.2 ($i - q$) Tarama Metodu.....	10
2.3 Işık Eğrisi Analizi.....	11
2.4 Trigonometrik ve Dinamik Paralaks Yöntemleri ile Uzaklık Ölçümü	12
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	17
3.1 Veri Seçimi.....	17
3.2 Analiz.....	21
3.2.1 Dinamik paralask yöntemi ile uzaklık hesabı.....	21
3.2.2 Trigonometrik paralask yöntemi ile uzaklık hesabı	24
3.2.3 V688 Aql ve SY Sge sistemlerinin ışık eğrisi analizi ve dinamik paralasklarının elde edilişi.....	25
3.2.4 Mutlak parametrelere geçiş	30
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	33
4.1 Uzaklık Yöntemlerinin Karşılaştırılması.....	37
4.2 Yıldız Kümelerinin Katkısı	40
5. SONUÇ	42
KAYNAKLAR	44
EKLER.....	51
EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç bilgileri	52

EK 2 2004-2017 yılları arası literatür taraması sonucunda belirlenmiş olan sd ve d türü örten çift yıldız sistemleri	56
EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri.....	58
EK 4 Literatürden alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve ve kütle oranı bilgileri.....	69
EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması.....	70
ÖZGEÇMİŞ.....	75



SİMGELER DİZİNİ

$a(R_o)$	Güneş Yarıçapı Cinsinden Bileşenler Arası Uzaklık
A_1	Birinci Bileşenin Albedosu
$a_1(R_o)$	Birinci Bileşenin Güneş Yarıçapı Cinsinden Kütle Merkezine Uzaklığı
A_2	İkinci Bileşenin Albedosu
$a_2(R_o)$	İkinci Bileşenin Güneş Yarıçapı Cinsinden Kütle Merkezine Uzaklığı
A_v	V Bandındaki Yıldızlararası Soğurma Miktarı
$\sum \chi^2$	Toplam Hata
$f(\%)$	Bileşenlerin Değme Oranı
F_1	Birinci Bileşenin Eş Dönme Parametresi
F_2	İkinci Bileşenin Eş Dönme Parametresi
$i(\square)$	Sistemin Yörünge Eğim Açısı, Derece Cinsinden
$L_1(L_o)$	Birinci Bileşenin Güneş Cinsinden Işınım Gücü
$L_1/(L_1+L_2)_B$	Birinci Bileşenin B Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_1/(L_1+L_2)_I$	Birinci Bileşenin I Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_1/(L_1+L_2)_R$	Birinci Bileşenin R Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_1/(L_1+L_2)_V$	Birinci Bileşenin V Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_2(L_o)$	İkinci Bileşenin Güneş Cinsinden Işınım Gücü
$L_2/(L_1+L_2)_B$	İkinci Bileşenin B Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_2/(L_1+L_2)_I$	İkinci Bileşenin I Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_2/(L_1+L_2)_R$	İkinci Bileşenin R Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$L_2/(L_1+L_2)_V$	İkinci Bileşenin V Bandındaki Kesirsel Işınım Gücü
$\log(g_1)(cgs)$	Birinci Bileşenin Yüzey Çekim İvmesinin Logaritması
$\log(g_2)(cgs)$	İkinci Bileşenin Yüzey Çekim İvmesinin Logaritması
$M_1(M_o)$	Birinci Bileşenin Güneş Kütle Cinsinden Kütle
$M_2(M_o)$	İkinci Bileşenin Güneş Kütle Cinsinden Kütle
M_v	Sistemin V bandındaki Mutlak Parlaklığı
q_{BD}	Brancewicz ve Dworak (1980)'dan Alınan İteratif Yöntemlerle Elde Edilmiş Kütle Oranı
q_{MS}	Birinci Bileşenin Radyal Hız Eğrisi Ulaşılmış Kütle Oranı
q_{SD}	Yarı - Ayrık Sistemler Kabulü Altında Ulaşılmış Kütle Oranı
q_{ph}	Fotometrik Kütle Oranı

q_{SP}	Tayfsal Kütle Oranı
$R_1(R_\odot)$	Birinci Bileşenin Güneş Biriminde Yarıçapı
$r_{1,back}$	Birinci Bileşenin Kesirsel Arka Yarıçapı
$r_{1,point}$	Birinci Bileşenin Kesirsel Ön Yarıçapı
$r_{1,pole}$	Birinci Bileşenin Kesirsel Kutup Yarıçapı
$r_{1,side}$	Birinci Bileşenin Kesirsel Yan Yarıçapı
$R_2(R_\odot)$	İkinci Bileşenin Güneş Yarıçapı Cinsinden Yarıçapı
$r_{2,back}$	İkinci Bileşenin Kesirsel Arka Yarıçapı
$r_{2,point}$	İkinci Bileşenin Kesirsel Ön Yarıçapı
$r_{2,pole}$	İkinci Bileşenin Kesirsel Kutup Yarıçapı
$r_{2,side}$	İkinci Bileşenin Kesirsel Yan Yarıçapı
$\langle r_1 \rangle$	Birinci Bileşenin Ortalama Kesirsel Yarıçapı
$\langle r_2 \rangle$	İkinci Bileşenin Ortalama Kesirsel Yarıçapı
$T_1(K)$	Birinci Bileşenin Sıcaklığı Kelvin Cinsinden
$T_2(K)$	İkinci Bileşenin Sıcaklığı Kelvin Cinsinden
Ω_1	Birinci Bileşenin Potansiyeli
Ω_2	İkinci Bileşenin Potansiyeli
$X_{1(B,V,R,I)}$	Birinci Bileşenin Kenar Kararma Katsayısı
$X_{2(B,V,R,I)}$	İkinci Bileşenin Kenar Kararma Katsayısı
$d_{dinamik}$	Dinamik Paralaks Yöntemi İle Ulaşılmış Uzaklık Değeri
d_{tri}	Trigonometrik Paralaks Yöntemi İle Ulaşılmış Uzaklık Değeri
$d_{S\&F}$	Schlafly ve Finkbeiner'ın (2011) Katsayıları Kullanılarak, Dinamik Paralaks Yöntemi İle Ulaşılmış Uzaklık Değeri
d_{SFD}	Schlegel vd.'in (1998) Katsayıları Kullanılarak Dinamik Paralaks Yöntemi ile Ulaşılmış Uzaklık Değeri
G	Evrensel Çekim Sabiti
σ	Boltzman Sabiti

Kısaltmalar

AB	Astronomi Birimi
AR	AR Lac Türü Ayrık Örtten Değişenler
cgs	Santimetre Gram Saniye
D	Ayrık Sistemler
EA	Algol Türü Örtten Değişenler

EB	β Lyr Türü Örtten Değişenler
EW	W UMa Türü Örtten Değişenler
GCVS	Değişen Yıldızlar Genel Kataloğu
GS	Dev Bileşene Sahip Örtten Değişenler
IPAC	Kızılöte İşleme ve Analiz Merkezi
IRSA	Kızılöte Bilim Arşivi
K	Değen Sistemler
LMC	Büyük Macellan Bulutu
m	Kadir
mas	Mili Yay Saniyesi
MATLAB	Matris Laboratuvarı
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
pc	Parsek
PHOEBE	Örtten Çift Sistemlerin Fiziği
P-L	Periyot-Işınım Gücü Bağıntısı Bir Bileşeni Gezegenimsi Bulutsunun Merkezinde Yer Alan
PN	Sistemler
RS	RS CVn Türü Örtten Değişenler
SD	Yarı - Ayrık Sistemler Gökbilim Verileri için Tanımlar, Ölçümler ve Kaynakça Veri
SIMBAD	Tabanı
SMC	Küçük Macellan Bulutu
WD	Bir Bileşeni Beyaz Cüce Olan Örtten Değişenler
WR	Wolf-Rayet Bileşenli Örtten Değişenler

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Algol (β Per), β Lyr ve W Uma (yukarıdan aşağıya) sistemlerine ait örnek ışık eğrileri.....	3
Şekil 1.2 EA türü sistem β Per'in ışık eğrisi.....	5
Şekil 1.3 Roche modelleri.....	7
Şekil 2.1 AV Del sistemine ait gözlenen ve teorik radyal hız eğrisi (Ghoreyshi vd. 2011).....	9
Şekil 2.2 Bir çift sisteme ait temsili radyal hız eğrisi	9
Şekil 2.3 SMC'deki Sefeid yıldızlarının dönem – parlaklık bağıntısı (Selam 2003)	13
Şekil 2.4 Trigonometrik paralaks geometrisi	15
Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan sistemlerin adet çizelgesi	17
Şekil 3.2 Çift sistemin mutlak parametrelerinin ve uzaklık değerinin belirlendiği MATLAB Kodu birinci modülün ara yüzü	21
Şekil 3.3 Çift sistemin mutlak parametrelerinin ve uzaklık değerinin belirlendiği MATLAB Kodu birinci modülün ara yüzü	23
Şekil 3.4 MATLAB koduyla çizdirilmiş dinamik yöntemle belirlenen uzaklıkların 3B'lu grafiği	24
Şekil 3.5 V688 Aql'nın (MOD 05) ışık eğrisi.....	27
Şekil 3.6 SY Sge'nin (MOD 05) ışık eğrisi	28
Şekil 3.7 Çift yıldız bileşenleri arası uzaklık	30
Şekil 4.1 Yarı-ayrık modda V688 Aql (üst) ve SY Sge (alt) sistemlerinin 0.75 evresindeki Roche şişimi doldurma durumları.....	34
Şekil 4.2 Sadece fotometrik kütle oranı olan sistemlerin, trigonometrik ve dinamik uzaklıklarının karşılaştırılması	38
Şekil 4.3 Tayfsal kütle oranı olan sistemlerin trigonometrik ve dinamik paralaks uzaklıklarının karşılaştırılması	39

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 V688 Aql ve SY Sge sistemlerinin gözlem bilgileri.....	26
Çizelge 4.1 V688 Aql ve SY Sge sistemlerine ait ışıık eğrisi çözümleri.....	36
Çizelge 4.2 V688 Aql ve SY Sge sistemlerine ait mutlak parametreler	37
Çizelge 4.3 Küme üyesi olan bazı örten çiftler için elde edilen dinamik paralakslar, dinamik yöntemin doğruluğunu test etmede kullanılmıştır	41



1. GİRİŞ

Gökcisimlerine ait uzaklık, içinde bulunduğumuz evrenin dinamiklerini, yapısını, en temel ifadeyle haritasını ve modelini anlamamıza katkı sağlar. Çift yıldızlara ait uzaklık tespiti çalışmaları 1800'lü yıllara kadar uzanır (Stromeyer 1892). Astronomide uzaklık hesabında, trigonometrik paralaks, tayfsal paralaks, P-L bağıntısı, hareketli küme metodu, süpernova patlamaları, kırmızıya kayma (Doppler) yöntemi, Hubble Yasası gibi birçok farklı yöntem geliştirilmiştir ve uygulanmıştır. Her bir yöntemin amacı gökcisimlerine ilişkin daha duyarlı uzaklık tahmininde bulunmaktır. Buna rağmen uzaklık kestirimi, yıldızlara ait mutlak parametreler arasında en fazla hata barındıran niceliklerden olmuştur. Bunun başlıca sebepleri, yıldızların çok uzakta oluşu ve yıldızlararası ortamda bulunan gaz ve tozun neden olduğu kızarma miktarıdır. Gözlenen cismin bulunduğu konuma bağlı olarak kızarma miktarı farklılık göstermektedir. Örtün çift sistemlerin mutlak parametre setine bağlı olarak hesaplanan “dinamik paralaks” yönteminde de bu kızarma miktarının doğru kestirimi önemli bir yer tutmaktadır. Geometrik bir metod olan trigonometrik paralaks yönteminde ise yıldızlar arası kızarma önemi yoktur.

Bu çalışmada, literatürde fotometrik ve tayfsal çözümleri bulunan ve ayrıca trigonometrik uzaklıkları da bulunan toplam 150 adet ayırık ve yarı-ayırık sistem için uzaklık parametresi, dinamik paralaks yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu yöntemle hesaplanan uzaklıklar, trigonometrik yöntemle belirlenen değerlerle karşılaştırılmış ve yöntemlerin güvenilirliği tartışılmıştır.

Ayrıca trigonometrik paralaks ölçümü bulunan SY Sge ve V688 Aql sistemleri için de fotometrik çözüm yapılmış, dinamik paralaks yöntemi ile hesaplanan uzaklık değerinin elde edilen bağıntılarla uyumluluğu tartışılmıştır.

1.1 Çift Yıldızlar

Çift yıldızlar, kütle çekimsel olarak birbirine bağlı, ortak kütle merkezi etrafında dolanan yıldız sistemleridir. Günümüze kadar ki süreçte astronomide birçok çalışmaya

konu olmuş çift yıldızlar, içinde yaşadığımız evreni ve evrimini anlamada önemli bir yer tutmaktadır. Çift yıldızların doğalarının iyi anlaşılması astrofizik alanında birçok yeni çalışmaya öncülük etmiş, yeni konulara basamak olmuştur. Bunun yanı sıra her geçen gün gelişen gözlem teknikleri ve metodları ile çift yıldızlar hakkında yeni bulgular ortaya konulmaya devam edilmektedir.

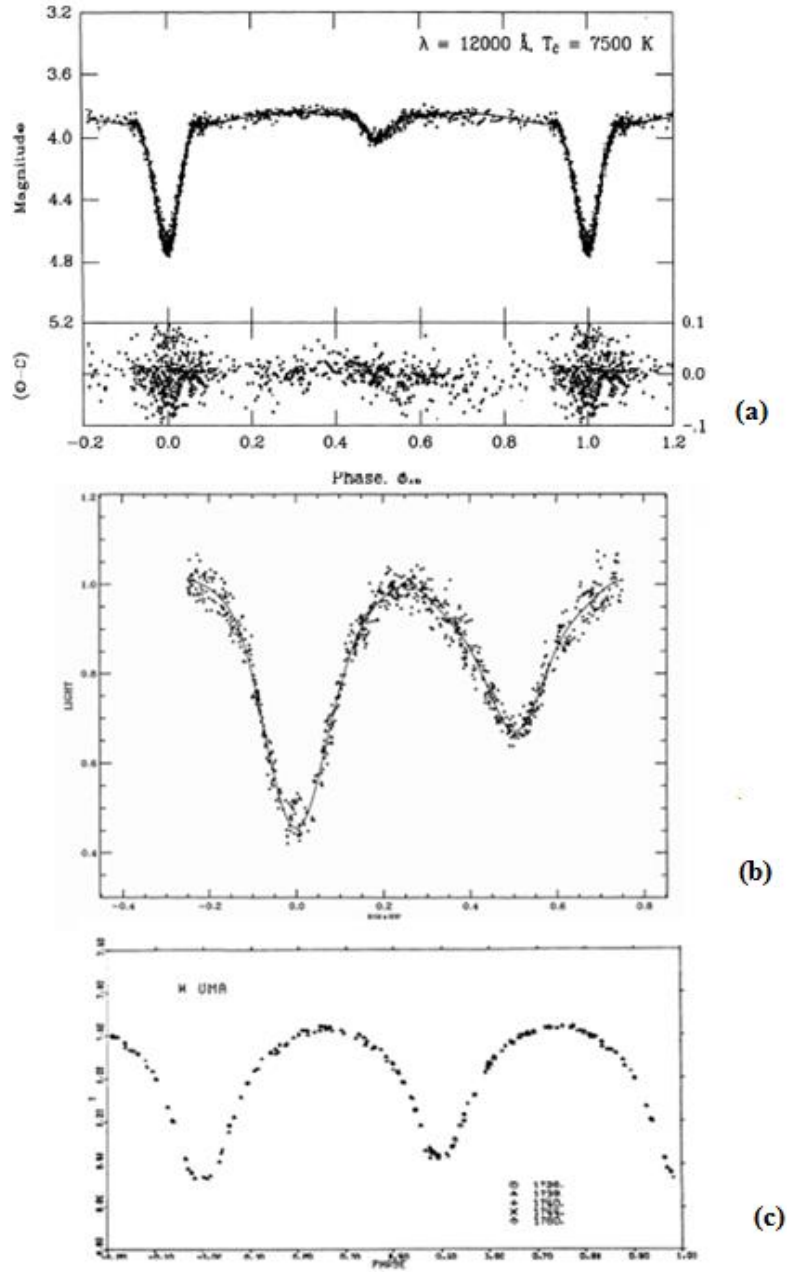
Literatüre bakıldığında çift yıldızlar öncelikle, gelişen gözlem metotları ile keşfedilme yöntemine göre kategorize edilmişlerdir. Görsel Çiftler, Astrometrik Çiftler, Tayfsal Çiftler ve Örtün Çiftler olarak sınıflandırılırlar. Sonrasında bu sistemler üzerine çalışmalar yapıldıkça ve sayıları artış gösterdikçe evrimleri ve doğal süreçlerine göre alt sınıflara ayrılmışlardır.

Yukarıda da belirtildiği gibi çift yıldız sistemleri hakkında edinilen tüm fiziksel bilgilerin gözlemlerden elde edilen ışığın analizi sonucunda ortaya konulduğunu söylemek yanlış olmayacaktır. Bu analizlerden kasıt tayfsal ve fotometrik analizlerdir. Fotometri, ışık ölçümüdür. Değişen bir yıldızdan gelen ışık akısı, zamana bağlı olarak dönemli değişim gösterir. Bu değişimin nedeni yıldızda gerçekleşen bünyesel değişimler olabileceği gibi, dıştan oluşan geometrik değişimler de olabilir. Örneğin; örtme örtülme, pulsasyon, manyetik aktivite gibi.

Ortak bir kütle merkezi etrafında dolanan ve bu dolanmayı gerçekleştirirken gözlemcinin bakış doğrultusuna göre örtme ve örtülme gösteren yıldızlar Örtün Çift Yıldızlar (EB) olarak sınıflandırılırlar. Bu sistemlerden elde edilen zamana bağlı ışık değişim eğrisinde Işık Eğrisi (LC) adı verilir.

Örtün değişenler (i) ışık eğrilerinin biçimlerine göre (W UMa Türü Örtün Değişenler (EW), $\square$ Lyr Türü Örtün Değişenler (EB) ve Algol Türü Örtün Değişenler (EA)), (ii) bileşen yıldızların fiziksel özelliklerine göre (dev bileşene sahip (GS), bir bileşeni gezegenimsi bulutsunun merkezinde yer alan sistemler (PN), RS CVn türü örtün değişenler (RS), bir bileşeni beyaz cüce olan örtün değişenler (WD), Wolf-Rayet bileşenli örtün değişenler (WR), AR Lac türü ayırık örtün değişenler (AR)) ve (iii) bileşenlerin Roche şişimlerini, (Kopal 1956, Paczyński 1971) doldurma oranına göre

(ayrık (D), yarı-ayrık (SD), değen (K)) şeklinde alt sınıflara ayrılırlar (Dolgachev vd., 1990). Bir çift yıldız sistemi birden fazla nedenden dolayı parlaklık değişimi gösteriyorsa, birden fazla sınıfa dahil olabilir. Şekil 1.1’de ışık eğrisi biçimine göre sınıflandırılmış örnek ışık eğrileri verilmiştir.



Şekil 1.1 Algol (β Per), β Lyr ve W UMa (yukarıdan aşağıya) sistemlerine ait örnek ışık eğrileri

Örten değişenlerde ışık eğrisine göre sınıflandırmaya adını vermiş olan prototip yıldızlara ait örnek ışık eğrileri gösterilmiştir. a. Algol (Per) (Richards, vd. 1988), b. Lyr (Van Hamme, vd. 1995), c. W UMa (Linnauto ve Pirola 1979) sistemlerine ait ışık eğrileridir

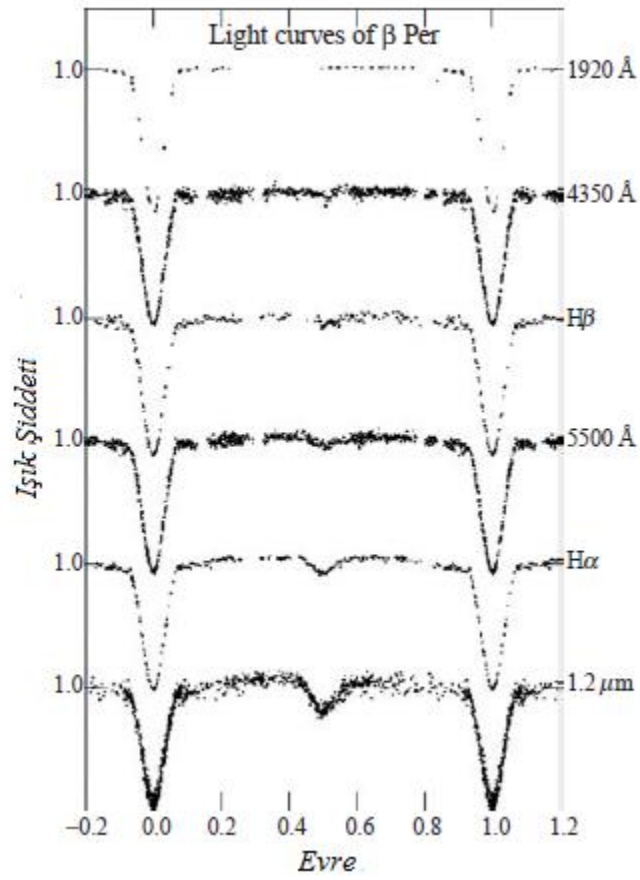
1.2 Algol Türü Çift Yıldızlar

Bu gruptaki örten çift yıldızlar (EA) adını, şekil 1.1’de örnek ışık eğrisi verilen Algol (ya da diğer bir adıyla β Persei)’ den alırlar. Bu yıldız EA sınıfında keşfedilmiş ilk örten çift yıldızdır. Işık eğrisinde 1. minimumda yaklaşık 1^m ’lik bir düşüş gözlenmektedir.

β Persei’nin adını verdiği sınıfa ait yıldızlarda minimum derinlikleri 0.01^m ’den birkaç kadir civarına kadar seyredebilir (Selam 2003). Birinci ve ikinci tutulma derinlikleri genelde eşit değildir, ancak neredeyse eşit olduğu sistemler de bulunmaktadır.

β Per’in ikinci minimum derinliği kısa dalgaboyuna gidildikçe azalırken uzun dalga boylarına doğru gidildikçe belirgin bir şekilde artar (şekil.1.2). Bu durum kısa dalga boylarında ikinci bileşenin sistemin toplam akısına katkısının çok az olduğu şeklinde yorumlanabilir. Maksimumlar neredeyse düz yapıdadır, minimumlar dışında ışık eğrisinde belirgin değişimler gözlenmemekle birlikte, nispeten küçük değişimlere neden olarak yansıma etkileri ve küresellikten sapmış bileşenlerin basıklık etkileri öngörülür. Gözlenen minimumlar arası düzlükler, birinci ve ikinci minimumlardaki toplam tutulma sürelerinin sistemin yörünge döneminden daha küçük olduğunun bir göstergesidir. Bu durum aynı zamanda bileşenlerin yarıçapları toplamının, bileşenler arası uzaklıktan küçük olması anlamına da gelir. Sözü edilen koşula sahip sistemler, ayrık ve yarı-ayrık klasik Algol sistemleridir.

Ayrık sistemler, yıldız evriminde önemli bir yere sahiptirler. Bunun nedeni bileşenlerin evrimsel olarak birbirlerini daha az etkiliyor ve yörünge parametrelerinin daha duyarlı bir şekilde ölçülebiliyor oluşudur. Bu sayede bileşenlere ait kütle, yarıçap, sıcaklık gibi mutlak parametrelerin daha duyarlı ölçülmesine olanak tanınmış olur.



Şekil 1.2 EA türü sistem β Per'in ışık eğrisi (Percy 2007)

β Per'in ışık eğrisi 6 yrar banтта görülmektedir. Kısa dalga boyundan uzun dalga boyuna doğru gidildikçe ikinci minimum belirginleşmektedir

Literatürde bulunan Algol türü örten çift yıldızların nerdeyse yarısı ayrık olarak diğer yarısı da yarı - ayrık olarak sınıflandırılmıştır (Dolgachev vd., 1990). Sınıflandırmaların yapıldığı ilk örneklerde Algollerin ayrık (EA) sistemler olduğu görülür. Literatürdeki örnek sayısının zamanla artmasıyla bugün artık klasik Algoller'in yarı-ayrık sistemler olduğu bilinmektedir (Percy 2007). Yarı-ayrık sistemler (EB) sınıfının prototipi kabul edilen Lyr, aslında bir klasik Algol türü çift yıldızdır ve yarı-ayrık konfigürasyona sahip bir sistemdir. Bu durum GCVS sınıflandırmasının revize edilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

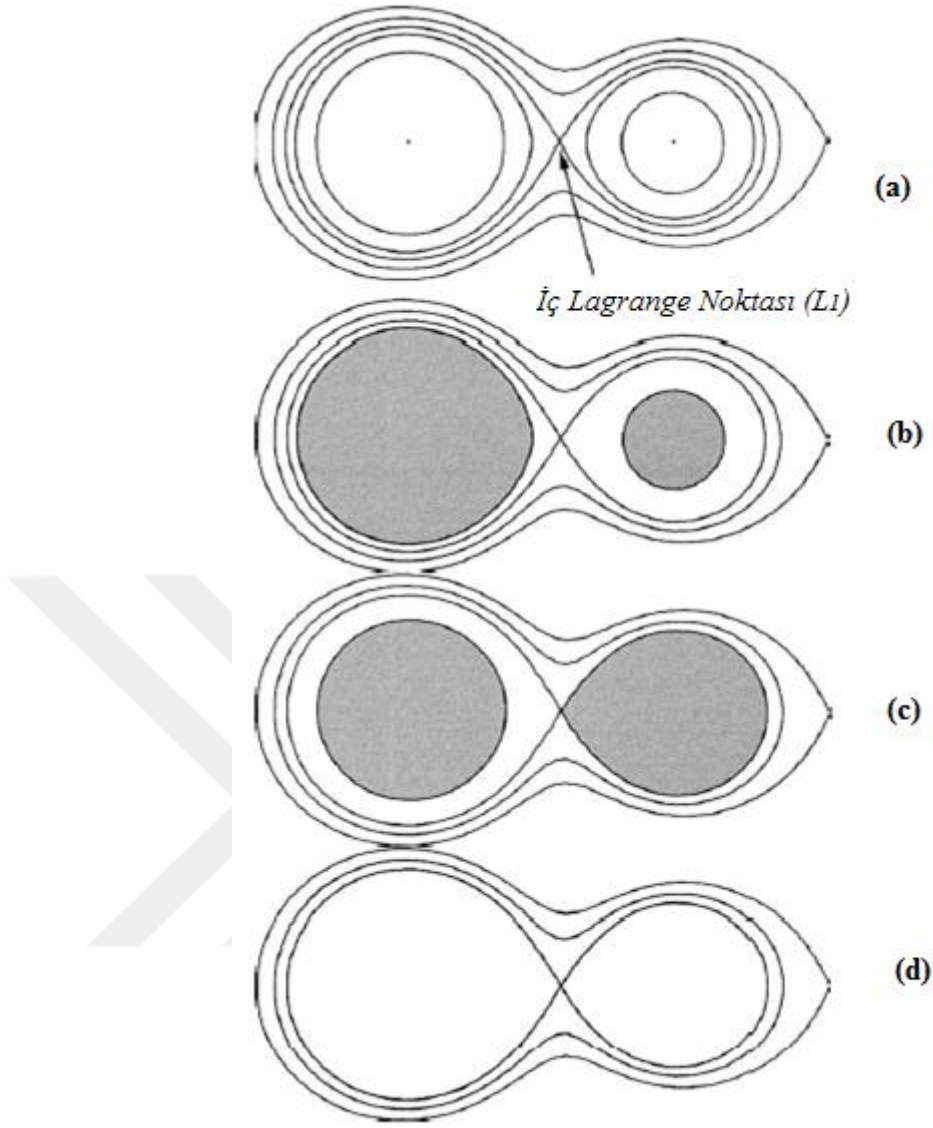
Çalışmalardan yola çıkılarak görülmüştür ki, bu sınıfın (EA) üyeleri oldukça farklı evrim safhalarında bulunan sistemlerden oluşmaktadır. Örnek olarak; her iki bileşeni de

anakol yıldızı olan CM Lac, her iki bileşenin de evrimleştiği ancak henüz Roche şişimini doldurmadığı AR Lac, bir bileşenin evrimleşip, Roche şişimini doldurduğu ve yoldaş bileşeni olan anakol yıldızına madde aktardığı bilinen RZ Cas, bileşenlerden birinin alt cüce ya da beyaz cüce olup diğerinin ya anakol ya da nispeten az evrimleşmiş bir bileşen olduğu V1379 Aql ve V471 Tau gibi sistemler gösterilebilir (Selam 2003).

Günümüzde örten değişen çift yıldızların modern sınıflaması sınırlı 3 cisim probleminin çözümü ile elde edilen Roche geometrisine dayanmaktadır (Percy 2007). Şekil 1.3’de çift sistemlerde bileşen yıldızların Roche geometrisine göre nasıl sınıflandırıldıkları gösterilmiştir (Terrell 2001).

Kataloglarda yer alan Algollerin yörünge dönemlerinin bir günün kesri ile birkaç yıla varan bir aralıkta değişim gösterdiği bilinmektedir. 9897 günlük periyodu ile Aur sistemi bu sınırları da aşan bir örnektir (Karlsson 2012). Bu örnek, gözlem sürelerinin uzaması ve daha fazla verinin birikmesiyle daha uzun dönemli algollerin var olabileceğinin işaretçisi olarak düşünülebilir. Belirtilmelidir ki, yapılan çalışmalar ışığında, kataloglarda ayrıca “uzun dönemli algoller” tanımı altında bir alt türün daha olması gerektiği savunulmaktadır (Plavec vd. 1980). W Ser yıldızı bu grubun örneğidir (Selam 2003).

Algol türü örten değişen sistemler hakkında literatürde karşılaşılan bir başka belirgin özellik ise “Algol Paradoksu’dur”. Bilinen yıldız evrimine göre kütlece büyük olan bileşen aynı sürede, kütlece küçük olan bileşene göre daha hızlı evrimleşerek, yıldız evriminin daha ileri safhalarında bulunacaktır. Ancak klasik Algoller’de kütlece küçük olan bileşenin büyük olan bileşene göre daha ileri evrim safhalarında bulunduğu gözlenmiştir. Bu paradoks, kütlece büyük olan bileşenin Roche şişimini doldurduktan sonra kütlece küçük olan bileşenine kütle aktararak, baş bileşenin kütlelerinin yoldaş yıldızından daha küçük kalmasıyla açıklanmıştır (Budding 1986).



Şekil 1.3 Roche modelleri (Terrell 2001)

Şekilde yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla; a Ortak kütle merkezinde dolanan bir çift yıldız sisteminin etrafındaki Roche yüzeyleri, b. her iki bileşenin de henüz Roche yüzeylerini doldurmadığı ayırık durum, c. bileşenlerden birinin (sağda) evrimleşerek birinci Roche yüzeyini doldurduğu yarı-ayırık durum, d. her iki bileşenin de evrimleştiği degen sistemler temsili olarak gösterilmiştir

2. KURAMSAL TEMELLER

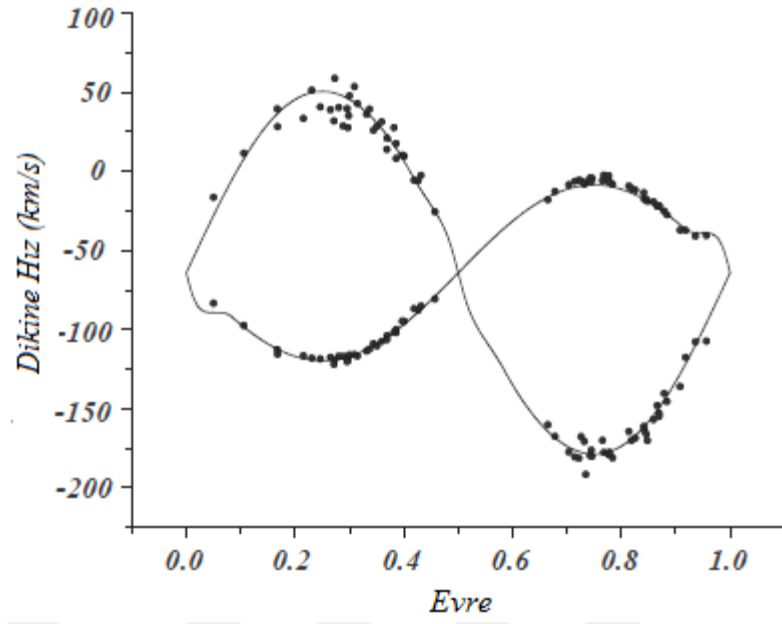
2.1 Dikine (Radyal) Hız ve Tayfsal Kütle Oranı (q_{sp})

Dworak (1974), LMC, SMC ve Andromeda Galaksisi içerisindeki örten çift yıldızların mutlak parametrelerinden türettiği uzaklık modülünü kullanarak, uzaklık kestirimlerinde bulundu. Guinan vd. (1998), Clausen vd. (2003) , Ostrov ve Lapaset (2003) benzer şekilde LMC ve SMC'deki örten çift yıldızların dinamik uzaklıklarını elde etmişlerdir. Bu noktada, mutlak parametrelerin doğru belirlenebildiği oranda sistemlerin uzaklık kestirimindeki hatanın o oranda azaldığı ortaya konulmuştur.

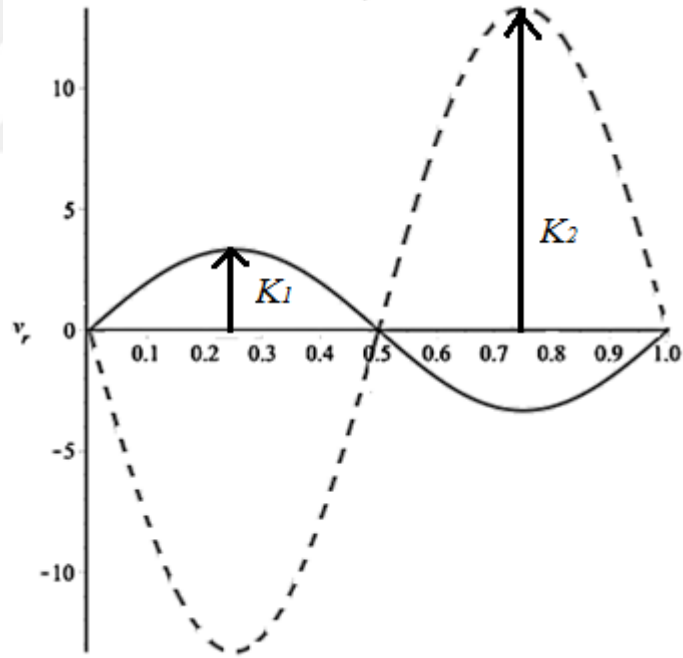
Örten çift yıldızların ışık eğrisi analizinde mutlak parametrelere geçişte en önemli araç dikine (radyal) hız gözlemleridir. Bu hız, yıldızın tayf çizgilerinde gözlenen Doppler etkisi ile ölçülebilir. Eğer bir kaynak gözlemciye doğru yaklaşıyor ise dalga boyu kısalır ve tayf çizgisi kısa dalga boyuna doğru kayar. Kaynak gözlemciden uzaklaşıyor ise dalga boyu büyür ve tayf çizgisi daha uzun dalga boyuna kayar. Bu duruma “Doppler Etkisi” denir. Göreli olmayan doppler kayma yasasının analitik ifadesi şöyle verilir:

$$[\lambda(göz) - \lambda(lab)]/\lambda(lab) = v/c \quad (2.1)$$

Eşitlik (2.1)' de λ dalga boyu, v (km/s) kaynağın dikine hızı, c (km/s) ise ışık hızıdır. Bileşenlerin tayfında gözlenen salma, soğurma çizgilerinin referans (laboratuvar kaynaklı) tayf çizgilerine göre dönemli hareketi tespit edilebilir. Buradan hareketle bileşenlere ait zamana bağlı hız eğrileri çıkarılabilmektedir. şekil 2.1'de yarı-ayrık bir sistem olan AV Del sistemine ait örnek bir radyal hız eğrisi gösterilmiştir (Ghoreyshi vd. 2011). şekil 2.2'de ise bir çift sisteme ait radyal hız eğrisi temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 AV Del sistemine ait gözlenen ve teorik radyal hız eğrisi (Ghoreyshi vd. 2011)



Şekil 2.2 Bir çift sisteme ait temsili radyal hız eğrisi

Kesikli eğri kütlece küçük olan bileşenin (sistemin ortak kütle merkezine daha uzakta bulunuyor) radyal hız eğrisini, sürekli eğri ise kütlece büyük bileşenin radyal hız eğrisini temsil etmektedir

Çift yıldızlarda sistemin bir ya da her iki bileşenine ait dikine hız ölçümü yapılarak, bileşenlerin kütleleri oranı hesaplanabilir. Şekil 2.2’de görülen bileşenlere ait hız eğrilerinin genliklerinin (K_1 ve K_2) oranı, bileşenlerin kütle oranına eşittir. Bunlara çift çizgili tayfsal çift yıldızlar denilir. Sistemin tayfindan elde edilen bu oran, tayfsal kütle oranı (q_{sp}) adını alır. Tayfsal kütle oranı kullanılarak yapılan ışık eğrisi çözümlerinden, sisteme ait mutlak fiziksel parametrelere ulaşılabilir. (2.2)

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{M_2}{M_1} = q_{sp} \quad (2.2)$$

Tayfsal gözlemler sırasında bazen, sadece tek bileşene ait tayflar elde edilir. Tayf üzerinde sadece tek bir bileşene ait çizgiler, Doppler etkisi ile salınım gösterir. Bu durumdaki sistemlere tek çizgili tayfsal çift yıldız adı verilir. Baş bileşen genellikle ışıyım gücü daha büyük olan bileşen olarak kabul edilir. Yoldaş bileşenin baş bileşen yanında sönük kaldığı ve gözlenemediği sistemlerde bu durumla karşılaşılır (Budding vd. 2004). Eğer bileşenler arasındaki parlaklık farkı $\sim 3^m$ ’in üzerindeyse sönük olan bileşene ait çizgiler tayfta görülmez. Bu parlaklık farkının nedeni sadece ikinci bileşenin ışıyım gücünün küçük olması olmayabilir. Örneğin, yoğun manyetik aktivite nedeniyle yıldızın yüzeyi soğuk lekeler ile kaplı olabilir. Bu lekeler bilinen bazı örneklerde yıldız yüzeyini büyük oranda kaplamış durumdadır. Buna ek olarak sistem bir de eş dönme yapıyor ise, sürekli leke ile kaplı yüzeyinden ışıyımı alınmış ve yıldız olduğundan daha sönük gözlenmiş olabilir. Bir başka senaryoya göre ise, yıldız çevresinde disk ya da zarf yapısı varsa bileşen yıldız yine olduğundan daha sönük görünecektir. Buna rağmen sisteme ait kütle oranını elde etmek mümkündür. Çözüm, tayfı alınan yoldaş bileşenin anakol yıldızı olarak kabul edilmesidir. Yıldız evrimine ait bu senaryolar ikinci bileşenden tayf alınıp birinci bileşenin gözlenemediği durumlar için geçerlidir.

2.2 (i – q) Tarama Metodu

“(i – q) taraması”, tayf gözlemleri bulunmayan ya da gözlenemeyen örten çift yıldızlarda sistemin kütle oranını elde edebilmek için kullanılan bir yöntemdir. Literatürdeki çalışmalar zamanla göstermiştir ki, bu yöntem ile özellikle ayrık çift sistemlerde tayfsal kütle oranına çok yakın sonuçlar elde edilebilmektedir.

Astronomide ışık eğrisi analizlerinde kullanılan, sentetik ışık eğrisi üreten birçok program olduğu bilinmektedir. Bunlara birkaç örnek olarak, Russell-Merrill, Rucinski Modeli, EBOB, WINK, Binnendijk Modeli, Linnell Modeli, FOTEL (Hadrava), Hill Modeli ve Wilson-Devinney Modeli sayılabilir. Kullanılan çözüm programları içinde sıklıkla tercih edilen PHOEBE (PHysics of Eclipsing BinariEs) programı, Wilson – Devinney modeline dayalı olarak geliştirilmiş bir ara yüz programıdır. Programda çözüme başlarken yörünge eğimi (i), birinci bileşene ait sıcaklık değeri (T_1), kütle oranı (q), periyod (P) gibi başlangıç parametrelerinin girilmesi gerekmektedir. En az iki ayrı bantta ışık eğrisi olan ve başlangıç parametreleri bilinmeyen (özellikle tayfsal kütle oranı olmayan) bir sistem için, yörünge eğim açısı ile bileşenlerin kütle oranı birlikte çözüme sokulur. Her banttaki ışık eğrisine, hesaplanan teorik eğriyi oturtacak şekilde, birçok iterasyon gerçekleştirilir. Her bir serbest parametre için hata değeri, en küçük değerine ulaşana kadar iterasyonlar devam ettirilir. Taramada, çok küçük artımlarla ilerleyen her bir eğim değeri için yine çok küçük artımlarla ilerleyen kütle oranı değerleri yer alır. Elde edilen sonuçlar içinde en küçük hata değerini üreten q değeri çözüm için en iyi değer niteliğini taşır.

2.3 Işık Eğrisi Analizi

Binlerce parsek uzakta bulunan yıldız sistemlerinden ölçülebilen tek nicelik ışıktır. Buradan yola çıkarak ışık eğrisi analizleri evreni anlamak adına, astronomi alanında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bir çift yıldız sisteminin ışık eğrisi, sistemin zamana bağlı gösterdiği dönemli parlaklık değişimidir. Çift yıldızlarda bu değişimin en önemli nedeni, örtme ve örtülme olaylarıdır. Ancak yıldız evriminden edinilen bilgilere göre gerçekçi bir modelde sistemin parlaklık değişimine etki edebilecek diğer bazı bünyesel ve geometrik değişimler de gözlenmektedir. Örnek olarak, yıldızların manyetik aktivitesine bağlı leke çevrimleri, flare olayları, kutupsal ışımlar, basıklık etkileri ve biçim bozulmaları, kenar kararma etkileri, üçüncü cisim katkısı, bileşenler arası madde aktarımı, disk ya da zarf yapısının varlığı gibi birçok unsur parlaklık değişimine katkı sağlayabilir.

Işık eğrisi analizleri sonundaki modellemelerde bileşenlerin evrim durumlarına göre tüm bu unsurlar göz önünde bulundurularak sisteme ilişkin gerçekçi kütle (M), yarıçap (R), bileşenler arası uzaklık (a), ışıınım gücü (L) gibi fiziksel parametrelere ulaşmak mümkündür.

2.4 Trigonometrik ve Dinamik Paralaks Yöntemleri ile Uzaklık Ölçümü

İnsanlık geçmişten bu yana içinde yaşadığı evreni anlama çabasında olmuştur. Tarih boyunca geliştirilmiş, birbirinden farklı evren modelleri bu çabanın en büyük ispatı sayılabilir. İçinde bulunduğumuz evrene ait bir haritalandırma sistemi için gözlediğimiz cisimlerin yalnızca birbirlerine göre konumlarını bilmek yeterli olmayacaktır. Aynı zamanda uzaklıklarını da bilmek gerekmektedir.

Astrofizikte gök cisimlerinin uzaklık bilgisini hesaplayabilmek için zamanla birden fazla yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları trigonometrik paralaks, dönem – parlaklık ($P - L$) bağıntısı, spektroskopik paralaks, hareketli küme metodu, süpernova patlamaları, kırmızıya kayma ve Hubble yasası şeklinde sıralanabilir.

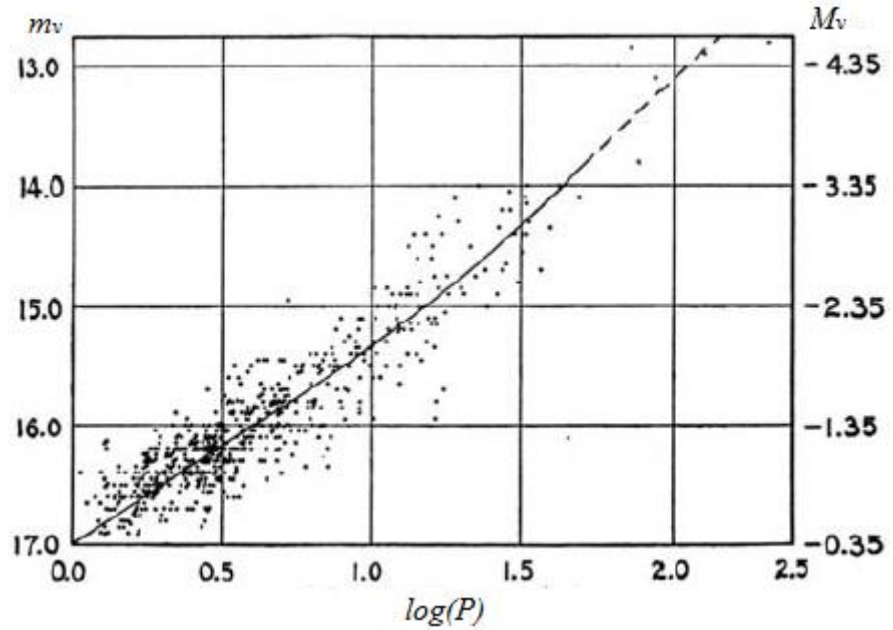
Bu yöntemlerden $P - L$ (Periyot ve Işıınım gücü) bağıntısından türetilen uzaklık modülü yöntemi en sık kullanılan uzaklık belirleme yöntemlerinden birisidir. Dinamik paralaks yöntemi ise örten çift yıldızlarda ışık eğrisi analizinden edilen mutlak parametrelere dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu yöntem ile, ışık eğrisi çözümlerinde dikine hız eğrisi bulunmasa dahi, oldukça duyarlı uzaklık tahminleri yapılabilmektedir. Bu şekilde uzaklık tahmininde bulunulmuş örnek birkaç çalışma olarak; Bulut vd. (2005), (2006), Faulkner (2007), Li vd. (2015) gösterilebilir.

Henrietta Leawitt'in, Küçük Macellan Bulutu'nda (SMC'de) 1912 yılında gözlediği, Sefeid türünden yıldızların (1912 HC, no:173), dönemlerinin logaritması ile parlaklıklarının doğru orantılı değiştiğini keşfetmesi ile $P - L$ bağıntısı türetilmiştir. Bu keşfe dayalı olarak SMC'deki Sefeid yıldızlarının Yer'den uzaklıklarının hemen hemen aynı olduğu görüşüne varılmıştır. SMC'nin bilinen uzaklığı (~ 60 kpc) kullanılarak,

yıldızların mutlak parlaklıkları ve dönemleri arasında bir bağıntı türetilmiştir. Elde edilen P-L bağıntısı (Şekil 2.3) kullanılarak yıldızlararası kızarma miktarı hesaba katıldığı takdirde, dönemi ve görünen parlaklığı bilinen bir Sefeid yıldızının uzaklığı hesaplanabilmektedir (Selam 2003). Buradan, uzaklık modülü belirlenerek doğrudan uzaklığa geçilebilmektedir.

$$m_v - M_v = 5 \log(d) - 5 + A_v \quad (2.3)$$

Burada, d uzaklık, m_v sistemin V bandındaki görünür parlaklığı, M_v ise yine V bandındaki mutlak parlaklığıdır. A_v değeri ise yıldızın bulunduğu doğrultudaki sönmüleme miktarıdır.



Şekil 2.3 SMC'deki Sefeid yıldızlarının dönem–parlaklık bağıntısı (Leawitt vd.1912)

Yıldızlar arası ortam bilindiği gibi gaz ve toz ile doludur. Bu gaz ve toz gökcisimlerinden gelen ışığın soğurulmasına ve saçılmasına neden olur. Rayleigh saçılması nedeniyle özellikle kısa dalga boylarında saçılma daha fazladır. Uzun dalga boylarında ise minimum değerinde olduğu için bu dalga boylarındaki çözümlerde etkisi bazen ihmal edilebilir. Eşitlik (2.3)'de A_v sembolüyle gösterilmiş olan bu sönmüleme

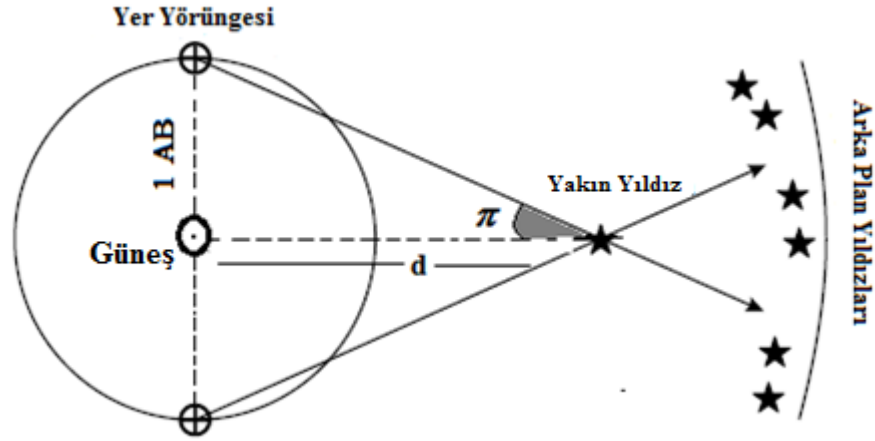
miktarının, gökcisminin koordinatlarına bağlı olmasının nedeni yıldızlar arası gaz ve tozun yöne bağlı değişim göstermesidir. Özellikle galaksi düzlemi ve merkezine doğru soğurulma oldukça fazladır. Bu nedenle sönümleme miktarının doğru belirlenmesi, uzaklığın da o oranda hatasız belirlenmesini sağlar. Ayrıca yönden bağımsız olarak, sönümleme miktarının (A_v) renk artığı ($E_{(B-V)}$) ile hemen hemen sabit bir oran verdiği, gözlemsel bir bağıntı vardır ($A_v / E_{(B-V)} \approx 3.1$).

Sistemin m_v değeri fotometrik gözlemlerle elde edilebilir. M_v mutlak parlaklığına ise ışık eğrisi analizi sonunda elde edilen, sistemin toplam ışıyım gücü kullanılarak geçiş yapılabilir (bkz. Bölüm 3.2.4). Bir gökcisminin mutlak parlaklığı, o cismin gözlemciden 10 pc uzaklığa taşınması durumunda, gözlenecek parlaklığı şeklinde tanımlanır. Bu dönüşüm ile gökcisimlerinin ışıyım güçleri bir standart çerçevesinde ifade edilmektedir. En iyi bilinen standart yıldız olan Güneş'in bolometrik parlaklığı ve ışıyım gücü kullanılarak, uzaklığı hesaplanmak istenilen bir sistemin bolometrik parlaklığına geçiş yapılabilir. Bunun için sisteme ait ışık eğrisi çözümlerinden, sistemin toplam ışıyım gücünün ($L_\odot$) hesaplanmış olması yeterlidir:

$$M_* = M_\odot - 2.5 \log \left(\frac{L_1 + L_2}{L_\odot} \right) \quad (2.4)$$

Eşitlik (2.4) kullanılarak sistemin mutlak parlaklığı hesaplandıktan sonra Eşitlik (2.3) ile verilen uzaklık modülüne yerleştirilerek parsek biriminden uzaklık bilgisine geçilmiş olur.

Bir gökcisminin sıcaklık, yarıçap, ışıyım gücü gibi fiziksel parametrelerine, ya da yıldızlar arası ortamın sönümleme etkisine bağlı olmadan, trigonometrik paralaks yöntemi ile de uzaklığı hesaplanabilmektedir. Bu yöntem geometrik bir hesaplama yöntemidir ve görelilik olarak yakın yıldızlar için kullanılır. Trigonometrik paralaks, Yer'in Güneş etrafındaki yörüngesi üzerinde 6 aylık aralıklarla, iki farklı konumda iken gerçekleştirilen gökcisminin konum gözlemi ile belirlenir. Bu yöntemde gözlenen cismin konumu, arka planda kalan, nispeten çok daha uzak yıldızlara göre belirlenir. Uzak hızı etkileri elimine edildikten sonra, paralaktik kayma nedeniyle oluşan üçgen, geometrik yolla çözülerek d uzaklığı belirlenir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Trigonometrik paralaks geometrisi (Percy 2007)

Yöntem, 6 ay aralıklarla arka plan yıldızlarına göre oluşan görel konum değişimini (paralaktik kayma) ölçmeyi esas alır. Yer yörüngesi üzerinde ~ 6 ay aralıkla ölçülen gökcisminin görel konumunun değişimi sonucunda oluşan üçgen görülmektedir

Yer'in Güneş etrafındaki yörüngesinin basıklığı küçük ($e < 0.017$) olduğu için, yörünge nerdeyse dairesel kabul edilebilir. Bu nedenle Yer'in yörüngesi üzerinde enberi ve enöte konumları arasındaki uzaklık farkı ihmal edilebilir düzeydedir ve Yer – Güneş uzaklığı kabaca 149 600 000 km olarak kabul edilebilir. Astronomide kullanılan uzaklık birimlerinden biri olan, astronomi birimi (AB), Yer – Güneş arası uzaklığın 1 birim kabul edildiği bir uzaklık ölçütüdür. Bu tanıma bağlı olarak paralaks açısı π , ise şekil 2.4'de de gösterildiği gibi, uzaklığı belirlenmek istenen cisme Güneş'ten bir dikme çıkılarak oluşturulan Yer, Güneş, Yıldız üçgeninde, Yer – Güneş arası uzaklığı gören açıdır (π). Parsek birimi ise, yay saniyesi birimindeki paralaks açısından türetilmiştir. Paralaks açısının tanjantı d uzaklığını verecektir. Bu eşitlikten d uzaklığı AB cinsinden bulunacaktır.

$$\tan(\pi) = \frac{1}{d} \quad (2.5)$$

Trigonometrideki çok küçük açılar yaklaşımından hareketle Eşitlik (2.5), şu şekilde verilebilir:

$$\pi \cong \frac{1}{d} \quad (2.6)$$

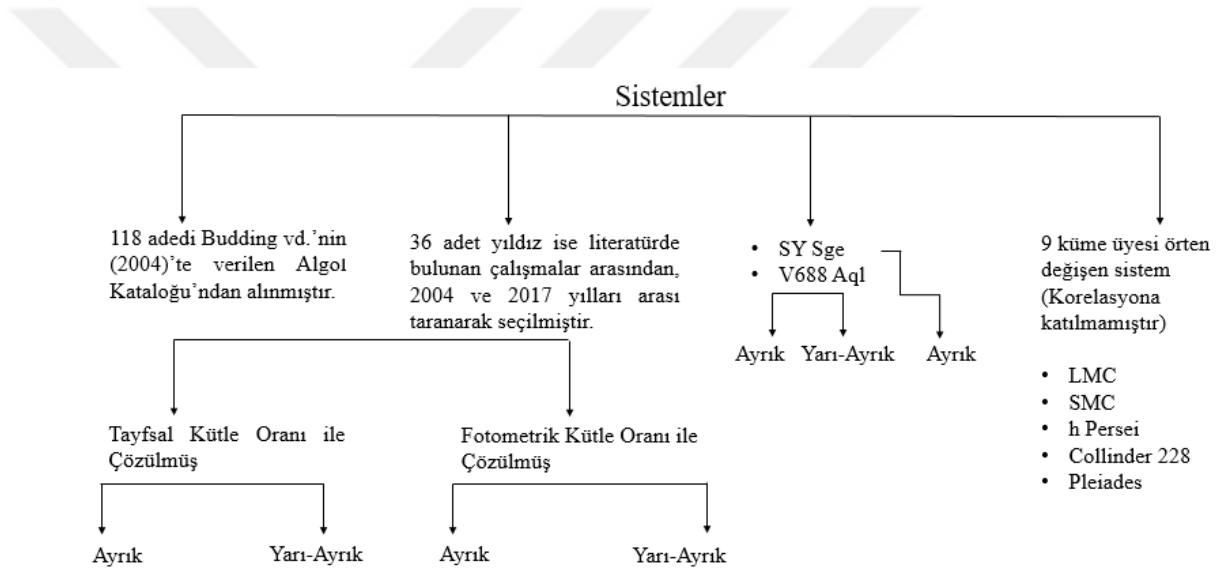
Trigonometrik paralaks yöntemi ile ölçülebilecek uzaklık sınırı, Yer yörüngesinin çapının boyutuyla orantılı olarak, birkaç kpc mertebesindedir. Bu sınırın ötesindeki kaynaklar için yapılacak trigonometrik paralaks ölçümlerinde hata barı, ölçülen uzaklığın üzerine çıkmaktadır. O nedenle daha uzak gökcisimleri için bu yöntem uzaklık belirlemede kullanılamaz.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Veri Seçimi

Bu çalışmada kullanılan ayırık ve yarı-ayırık örten çift sistemlerden 118 adedi Budding vd.'nin (2004)'te verilen Algol Kataloğu'ndan alınmıştır. 36 adet yıldız ise literatürde bulunan çalışmalar arasından, 2004 ve 2017 yılları arası taranarak seçilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında çözümü yapılan V688 Aql ve SY Sge yıldızları da eklenmiştir. Toplam 152 adet yıldızdan oluşan veri setinin 130 tanesini yarı-ayırık sistemler ve 24 tanesini de ayırık sistemler oluşturmaktadır.



Şekil 3.1 Çalışmada kullanılan sistemlerin adet çizelgesi

Budding vd. (2004)'te toplam 411 adet algol türü yıldız kataloglanmıştır. Bu katalog, aslında ilk kez 1984 yılında yine Budding tarafından derlenmiştir (Budding 1984). Bu katalogda ağırlıklı olarak Brancewicz vd. (1980) tarafından yayınlanan Örten Çiftler Kataloğu'ndan faydalanılmıştır.

Budding vd. (2004) kataloğunda, sistemlerin çözülmüş fotometrik elemanlarına ait bilgiler bulunmaktadır. Buradan, her iki bileşene ait dikine hız eğrisine dayalı olarak ışık eğrisi analizi yapılarak fiziksel parametrelerine ulaşılmış olan sistemler ayrılmıştır. Katalogda yer alan 411 sistem içerisinde 40 adet algol türü örten çift sistem, bu kriteri

sağlayan sistemlerdir. Bunun yanı sıra tayfsal kütle oranı (q_{spec}) bulunmayıp, fotometrik kütle oranı hesaplanmış sistemler de bulunmaktadır. Seçilen veriler incelendiğinde görülmüştür ki, Ek 3’de hemen her sistem için farklı çalışmalardan derlenmiş olan hem fotometrik hem de tayfsal kütle oranları yer almaktadır. Veri içinde ışık eğrisi çözümü olan ve bileşenlerinin ışıyım güçleri hesaplanmış olan sistemler seçilmiştir. Bu sistemlere ait kütle oranı bilgisi incelendiğinde, sadece fotometrik kütle oranına göre çözülen sistemlerin, diğer çalışmalardan derlenmiş olan tayfsal kütle oranlarına bakıldığında, birbirine oldukça yakın kütle oranları görülmüştür. Sistemler için verilen kütle oranları EK 3’de listelenmiştir.

Budding (1984) katalogladığı sistemleri 0.1’den 0.9’a kadar 0.2 artımla ilerleyen bir derecelendirmeye sınıflandırmıştır. Buna göre iyi bilinen sistemler için 0.9, genel olarak az bilinen ancak görünürde 0.9 kategorisine benzer özellikler sergileyen çiftler için 0.7, EAS (tutulma gösteren algol türü yarı-ayrık sistemler) ya da EAD (tutulma gösteren algol türü ayrık sistemler) sınıfında yer alma olasılığı eşit olan sistemler için 0.5, kategorisi düşük bir ihtimalle Algol olabilecek sistemler için 0.3 ve klasik bir algol olamayacak sistemler için 0.1 kategorileri tanımlanmıştır. 2004’de revize edilen katalogda ise literatürde yer alan son çalışmalara göre 0.7 kategorisindeki bir kısım sistem 0.9 kategorisine alınmıştır.

Yukarıda anlatılan, çözümü bulunan ve kütle oranı kriterine göre seçilmiş olan verinin tamamı, Budding (1984)’in verdiği sınıf numaralarına göre 0.9, 0.7 ve 0.5 kategorisindedir. Bu değerlendirme seçilen sistemlerin Algol olma olasılığını göstermektedir.

Dinamik paralaks yöntemine dayalı uzaklık hesabında, yıldızlar arası kızarma miktarı V bandına göre belirlendiği için sistemler arasından öncelikli olarak V bandında çözümü olanlar seçilmiştir. Bunların yanı sıra filtre bilgisi belirtilmemiş olan sistemler de yine çözüm için alınmış, V bandında çözümü olmayıp sadece diğer bantlarda çözümü olan sistemler elenmiştir.

Seçilen her bir sistem için önce Gaia¹ arşivinden olmak üzere, burada gözlemi bulunamadıysa, Hipparcos¹ arşivinden trigonometrik paralaks bilgileri alınmıştır. Bu arşivlerde uzaklık bilgisi yer alan sistemler, paralaks hatalarıyla birlikte alınmıştır. Sistemlerden trigonometrik paralaks değerleri, negatif verilenler² ile paralakslarına ilişkin hata değerleri, paralaksın kendisinden büyük olanlar elenmiştir.

Bu elemeden geçen sistemlerin, SIMBAD³ Astronomik Veri Tabanı'ndan V bandı parlaklıkları elde edilmiştir.

Budding vd. (2004) kataloğu dışında, literatürde 2004 ve 2017 aralığında yayınlanmış olan çalışmalar taranarak 38 adet Algol türü örten, yarı-ayrık ve ayrık sistem daha (4' için q_{phot} , 34' için q_{spec} bulunmaktadır) adaylar arasına eklenmiştir. Bu sistemlerden 2 tanesinin çözümünde kesirsel ışınım gücü verilmiştir. Bu sistemlerin bileşenlerine ait sıcaklık ve yarıçap değerleri alınarak, her bir bileşenine ait ışınım güçleri hesaplanmış ve adaylar arasına dahil edilmiştir.

Literatürde, belirtilen yıllar arasında konuyla ilgili birçok yayın yer almaktadır. Ancak bu çalışmalar gözden geçirildiğinde tayfsal ktle oranlarının olmaması, tayfsal ktle oranı bulunduğu halde bileşenlerin ışınım gücü değerlerinin verilmemesi gibi n sebepler ve sonrasında da trigonometrik paralaks değerinin bulunmaması gibi nedenlerden dolayı birçoğu adaylar arasına alınmamıştır.

Yine bu çalışma kapsamında, 2010 ve 2011 gözlem dönemi boyunca, Ankara Üniversitesi Keriken Rasathanesi'nde fotometrik gözlemleri yapılmış olan V688 Aql ve SY Sge rten çift yıldıızlarının da ışık eğrisi analizleri yapılarak, veri setine dahil edilmiştir.

¹ <https://gea.esac.esa.int/archive/>

² SY Sge hariç.

³ <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Çalışmada yer alan sistemler içerisinde katalogdan (Budding 2004) seçilmiş olanlar EK 1’de, literatür taraması sonucu seçilmiş olanlar ise EK 2’de listelenmiştir. Her iki Çizelgede de alfabetik sıraya göre düzenlenmiş sistemlerin, V bandı parlaklıkları, ışık eğrisi çözümleri sonucu elde edilmiş olan, birinci ve ikinci bileşene ait ışıyım güçleri (L_{1v} , L_{2v}), iki ayrı sönüm eğrisine göre hesaplanmış sönümleme katsayıları (A_v), çözümlere ilişkin filtre, paralaks bilgileri ve paralaks değerlerinin hangi katalogdan alındığı listelenmiştir. Bazı sistemlere ait birden fazla çözüm bulunduğundan, her iki çözüme ait ışıyım gücü değerleri de alınmıştır.

Dinamik paralaks yönteminde uzaklığın doğru hesaplanabilmesi için yıldızlararası sönümleme büyük bir öneme sahiptir (bkz. Eşitlik.3). Bu değerler NASA’nın Kızılöte Veri İşleme ve Analiz Merkezi’ne ait (NASA/IPAC), Kızılöte Bilim Arşivi veri tabanından (IRSA⁴) elde edilmiştir. Veri tabanında, koordinatları verilen doğrultu için iki ayrı sönüm yasasına göre, iki farklı sönümleme katsayısı bulunmaktadır. Bunlar Schlafly ve Finkbeiner (2011) ve Schlegel vd. (1998) yasalarıdır. Her iki yasanın öngördüğü katsayılar çözüm aşamasında kullanılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. EK 1 ve EK 2’de kullanılan sönüm değerleri (A_v) ayrı ayrı listelenmiştir.

Çalışmada kullanılan seçilen sistemlerin, Roche geometrisine göre türleri ve çözümlerinde kullanılmış olan kütle oranı türleri EK 3 ve EK 4’de gösterilmiştir. Çizelgelerde listelenen kütle oranları hangi yöntemle elde edildiğine göre indislerle ayrılmıştır. Buna göre; $q(sp)$ her iki bileşene ait radyal hız eğrisinden elde edilen kütle oranını, $q(BD)$ Brancewicz ve Dworak, (1980)’dan alınan iteratif yöntemlerle elde edilmiş kütle oranını, $q(MS)$ birinci bileşenin radyal hız eğrisi ile tayfta görülemeyen ikinci bileşenin anakol kabulü altında elde edilmiş kütle oranını, $q(SD)$ yarı-ayrık sistemler kabulü altında, ikinci bileşenin kesirsel yarıçapının kullanılması ile iteratif yolla elde edilmiş (Kopal, 1959) kütle oranını q_{ph} ise ışık eğrisi analizine dayalı kütle oranını göstermektedir.

⁴ <http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>

3.2 Analiz

3.2.1 Dinamik Paralaks Yöntemi ile Uzaklık Hesabı

Çalışma kapsamında seçilen örnek sistemlerden dinamik paralaksı çözümlenlerin sayısı 199’a ulaşmıştır. Bu verilerin toplu olarak düzenlenmesi ve işlenmesi için MATLAB (MATrix LABoratory) programlama dilinde kısa kodlar üretilmiştir. Dinamik paralaks yöntemine dayalı olarak, mutlak parlaklık hesaplamaları MATLAB, 7.10.0 (R2010a) versiyonu programlama dilinde gerçekleştirilmiştir. Yazılan kod iki farklı modül halinde düzenlenmiştir. Bu modüller ile ışık eğrisi çözülmüş bir sistem için mutlak parametre setine geçiş ya da eğer sisteme ait ışınım gücü değerleri varsa doğrudan uzaklık hesabı yapılabilir. Bu hesaplamalar tek bir sistem için ya da toplu veri setleri için yapılabilir. Tek bir sistem için mutlak parametre hesaplamaya yönelik oluşturulmuş ara yüz örnek olarak şekil 3.2’de gösterilmiştir. Bu modülün detaylarından Bölüm 3.2.2’de söz edilecektir.

The figure shows two MATLAB GUIs side-by-side. The left GUI is for a single system, and the right GUI is for a batch of systems. Both have three main sections: 'Initial Parameters', 'Star ID', and 'Absolute Parameters'. The 'Initial Parameters' section contains input fields for P, q, i, T1, T2, r1, r2, Av, and mv. The 'Star ID' section contains input fields for name, ra, and dec. The 'Absolute Parameters' section contains input fields for M1, M2, R1, R2, L1, L2, X1, X2, rho1, rho2, log_g1, log_g2, a, Mv, and d. A 'Calculate' button is located at the bottom right of each GUI. The right GUI shows example values for the input fields.

Şekil 3.2 Çift sistemin mutlak parametrelerinin ve uzaklık değerinin belirlendiği MATLAB Kodu birinci modül ara yüzü

Soldaki görselde “Initial Parameters” panelinde hangi parametrelerin girilmesi gerektiği gösterilmiştir. “Stars ID” paneline girilecek bilgiler zorunlu değildir. Hesapla butonuna (Calculate) basıldıktan sonra gelen mutlak parametre bilgileri de sağdaki görselde “Absolute Parameters” panelinde örnek bir sistem için çalıştırılarak gösterilmiştir

Diğer modüle ait girdi ve çıktı parametreleri şekil 3.2’de örnek olarak gösterilmiştir. Bu modülde kod, dinamik paralaks değerlerini hesaplamak üzere düzenlenmiştir. Girdi parametresi olarak şekil 3.3’de solda görülen Excel sayfasından sırasıyla; birinci bileşene ait ışıyım gücü, hatası, ikinci bileşene ait ışıyım gücü, hatası, Schlafly ve Finkbeiner’in (2011) sönüm yasasına göre elde edilen sönümlleme katsayısı, Schlegel vd.’nin (1998) sönümlleme katsayısı, V bandındaki görünür parlaklık değerleri, Gaia ve Hipparcos’dan alınmış olan trigonometrik paralaks değerleri (mili yay saniyesi) ve hatası alınmaktadır. Kodun çalıştırılmasıyla program arka planda Bölüm 3.2.4’de anlatılmış olan hesaplamaları yaparak, tüm sistemlere ait çıktı parametrelerini üretir ve kendi oluşturduğu “calculated” isimli bir sayfaya kaydeder (şekil 3.3, sağ panel). Çıktı parametreleri sırasıyla şöyledir; V bandındaki mutlak parlaklık (M_V), hatası, Schlafly ve Finkbeiner (2011)’in önerdiği sönümlleme katsayılarına göre hesaplanan uzaklık değeri (pc), hatası, Schlegel vd. (1998)’nin önerdiği sönümlleme katsayısına göre hesaplanan uzaklık değeri (pc), hatası, trigonometrik paralaks yöntemi ile hesaplanan uzaklık değeri (pc), hatası.

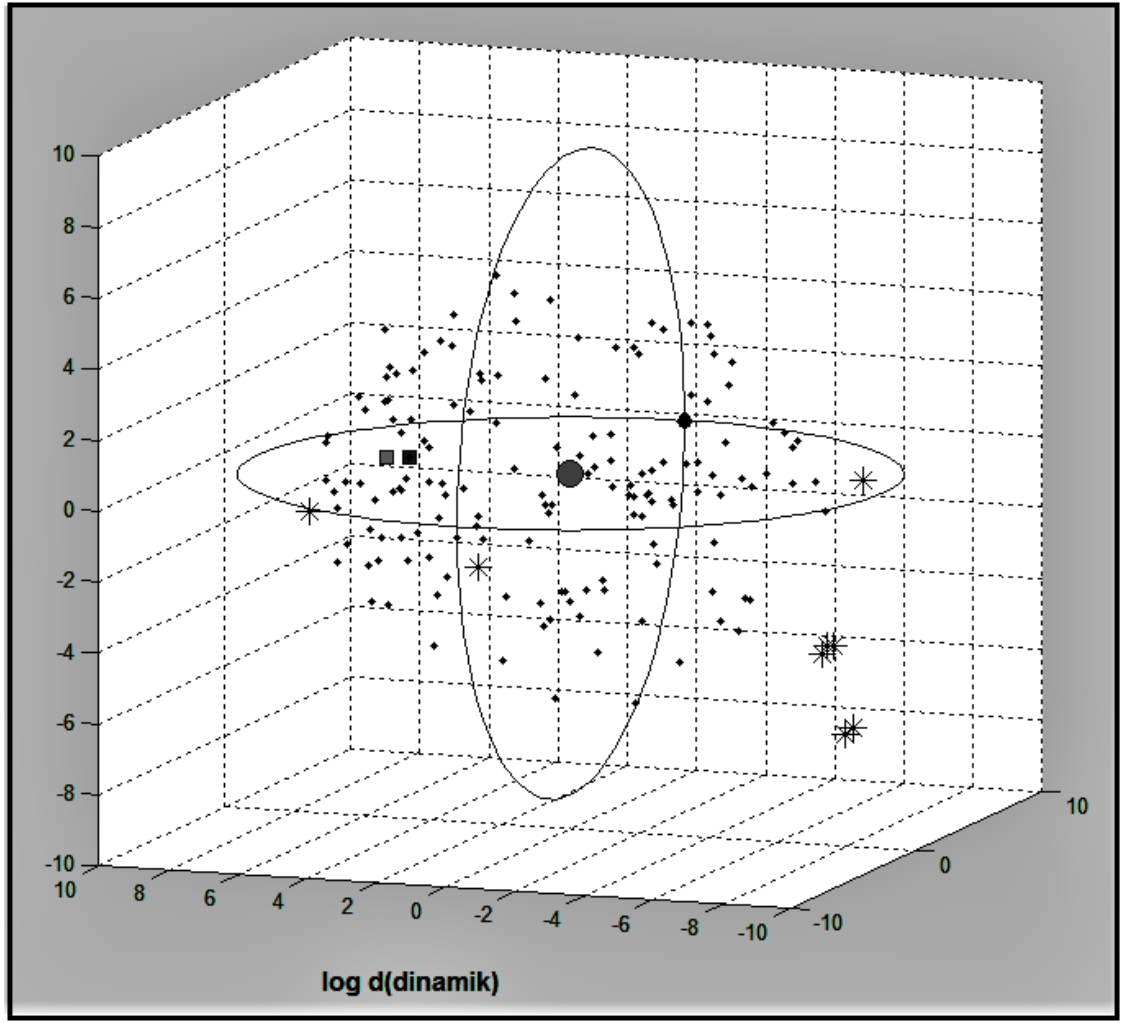
Elde edilen uzaklıklar çıktı dosyasından alınarak üç boyutlu grafiğe taşınmaktadır (şekil 3.4).

Name	L1	eL1	L2	eL2	Av(S&F)	Av(S&D)	mv	plx trn	e plx
AA And	18.25	0.00	0.18	0.00	0.75	0.50	20.24	0.41	0.35
AA Pup	4.46	0.00	7.13	0.00	0.62	0.72	9.67	1.74	0.30
AE Cas	9.50	0.00	0.61	0.00	2.30	2.67	10.31	2.91	0.72
AE Per	37.39	0.00	30.40	0.00	0.58	0.67	9.71	4.96	1.44
AG Del	124.12	0.00	27.72	0.00	1.69	1.86	10.29	1.22	0.28
AC Tau	11.56	0.00	3.34	0.00	0.33	0.38	11.09	1.61	0.43
AD Her	40.35	0.00	17.18	0.00	0.80	0.55	9.85	1.81	0.17
AE Cru	120.34	0.00	67.38	0.00	5.66	6.38	9.32	1.22	0.33
AE Cyg	16.79	0.00	0.52	0.00	0.57	0.66	11.37	1.75	0.15
AF UMa	34.77	0.00	38.62	0.00	0.03	0.83	10.60	1.13	0.77
AM Aur	184.07	0.00	167.79	0.00	2.19	2.55	10.14	0.79	0.13
AO Eri	17.06	0.00	13.67	0.00	0.09	0.10	10.90	1.11	0.15
AO Ser	18.68	0.00	3.90	0.00	0.10	0.12	11.04	2.19	0.41
AQ Mon	12.62	0.00	11.29	0.00	1.22	1.31	10.20	1.80	0.38
AQ Peg	39.83	0.00	15.34	0.00	0.31	0.36	10.47	1.17	0.14
AQ Tau	14.85	0.00	3.84	0.00	2.26	2.42	11.14	3.68	0.38
AR Mon	44.89	0.00	41.70	0.00	0.89	1.03	8.79	2.48	0.18
AS Eri	11.48	0.00	2.95	0.00	0.13	0.15	8.30	3.06	0.31
AS Mon	74.13	0.00	17.85	0.00	1.26	1.46	10.36	1.46	0.17
AS Vel	11.71	0.00	7.83	0.00	3.43	6.32	8.67	6.24	0.18
AT Cir	37.42	0.00	27.31	0.00	1.52	1.77	7.62	6.13	0.19
AT Peg	11.91	0.00	1.12	0.00	0.18	0.21	9.02	3.64	0.31
AU Lac	11.38	0.00	1.43	0.00	0.69	0.80	11.81	1.60	0.78
AU Mon	144.00	0.00	117.00	0.00	1.90	2.21	8.43	1.48	0.11
AV Del	4.00	0.00	2.10	0.00	0.23	0.28	11.77	1.35	0.35
AV Mon	97.27	0.00	73.41	0.00	0.33	0.38	10.35	1.37	0.99
AW Mon	171.54	0.00	83.69	0.00	0.46	0.54	10.04	1.01	0.40
AW Peg	64.61	0.00	29.72	0.00	0.13	0.18	7.63	4.73	0.15
AW Vul	11.44	0.00	4.89	0.00	1.10	1.17	11.40	1.96	0.71
AX Vul	24.78	0.00	2.89	0.00	0.62	0.72	11.44	2.14	0.59
AY Gem	46.63	0.00	13.85	0.00	1.14	1.33	10.34	0.73	0.67
AY Vul	1.96	0.00	4.71	0.00	0.34	0.79	11.71	0.71	0.95
BC Her	41.39	0.00	13.13	0.00	1.37	1.60	11.51	0.97	0.19
BC Vir	30.24	0.00	14.87	0.00	0.17	0.20	9.29	2.24	0.40
Beta Lyr	231.13.00	0.00	6330.00	0.00	0.22	0.25	1.42	3.39	0.17
Beta Per	138.27	0.00	3.37	0.00	0.40	0.47	2.11	36.27	1.40
BE Vul	45.70	0.00	4.07	0.00	1.48	1.72	9.79	2.41	0.38
BF Cen	103.15	0.00	273.30	0.00	6.27	7.29	8.48	0.83	0.42
BI Del	3.48	0.00	3.37	0.00	0.26	0.30	10.60	2.69	0.64
BL Tel	1738.06	0.00	1648.83	0.00	0.21	0.24	7.10	0.77	0.17
BO Gem	11.81	0.00	1.10	0.00	1.98	2.70	11.71	1.48	0.77
BO Her	37.26	0.00	12.74	0.00	0.34	0.39	11.14	1.51	0.30
BO Vul	1.37	0.00	0.00	0.00	0.63	0.80	10.43	3.63	0.10

Name	h/v	eh/v	dS&F	ed	dS&D	ed	dtri	e dtri
AA And	1.881943	0	432.5831	0	408.5177	0	2410.728	1925.84
AA Pup	2.139791	0	436.1031	0	421.3884	0	374.4511	917.3914
AB Cas	2.308122	0	138.9874	0	116.9972	0	344.2003	26.44981
AB Per	0.320274	0	380.504	0	331.9622	0	201.6119	38.53278
AC Sct	-0.61195	0	715.6308	0	636.5347	0	814.4739	188.2099
AC Tau	1.637933	0	661.1027	0	644.9246	0	623.0249	167.5174
AD Her	0.419887	0	492.7909	0	464.2187	0	621.9631	104.338
AE Cru	-0.86493	0	80.44638	0	52.63886	0	816.9438	222.8283
AE Cyg	1.724237	0	633.2336	0	621.9052	0	571.9994	80.68807
AF UMa	0.136204	0	1211.041	0	1208.479	0	884.6318	212.6354
AM Aur	-1.34294	0	722.4159	0	611.0661	0	1266.247	362.318
AO Eri	1.033633	0	903.3437	0	887.373	0	903.0681	201.0221
AO Ser	1.41569	0	795.6488	0	788.6488	0	846.8814	84.8814
AQ Mon	1.370377	0	364.3363	0	336.1903	0	336.3083	86.54063
AQ Peg	0.463743	0	867.4241	0	847.3279	0	833.5272	178.1426
AQ Tau	1.838937	0	394.1616	0	318.6616	0	274.719	41.47212
AR Mon	-0.04736	0	389.3423	0	364.344	0	404.0213	45.15948
AS Eri	1.921834	0	177.9726	0	176.2922	0	197.7325	19.98202
AS Mon	-0.08923	0	782.0908	0	691.4884	0	883.492	128.4842
AS Vel	1.581632	0	21.43747	0	14.76572	0	160.3088	7.083704
AT Cir	0.288886	0	145.3526	0	128.7068	0	163.2483	7.843443
AT Peg	1.741963	0	262.4384	0	238.8614	0	274.9272	23.74522
AU Lac	1.730081	0	745.6999	0	708.0499	0	626.4393	111.7889
AU Mon	-1.1642	0	868.6414	0	731.3218	0	677.7325	141.8916
AV Del	2.847812	0	348.5264	0	338.3089	0	731.3621	522.3413
AV Mon	-0.76046	0	1573.661	0	1525.647	0	730.3793	529.1114
AW Mon	-1.19733	0	1428.703	0	1381.166	0	991.7609	389.2761
AW Peg	-0.23602	0	330.223	0	346.198	0	211.5162	11.38208
AW Vul	1.787333	0	503.0233	0	463.1929	0	511.3976	186.3644
AX Vul	1.214977	0	835.0348	0	791.3052	0	467.0932	190.3484
AY Gem	0.330647	0	631.4941	0	588.123	0	1369.418	1256.074
AY Vul	1.886306	0	722.901	0	704.7883	0	4692.592	21575.24
BC Her	0.159681	0	869.8189	0	784.7002	0	1021.18	212.7039
BC Vir	0.616671	0	680.4631	0	671.8709	0	451.8808	99.04105
Beta Lyr	-6.41333	0	842.0256	0	828.4481	0	294.9833	14.79277
Beta Per	-0.24179	0	28.24026	0	27.88714	0	27.271	1.08224
BE Vul	0.577381	0	352.1939	0	311.2418	0	414.3994	63.34636
BF Cen	-2.40356	0	83.89048	0	52.42672	0	1173.848	575.6664
BI Del	2.73919	0	333.2391	0	326.8903	0	371.2812	88.39519
BL Tel	-4.29033	0	1723.003	0	1696.233	0	1300.113	632.4999
BO Gem	0.386448	0	743.6763	0	642.7622	0	675.6282	122.613
BO Her	0.571575	0	1111.888	0	1084.189	0	661.5772	129.2092
BO Vul	2.840272	0	32.67483	0	19.67441	0	220.8014	52.88846

Şekil 3.3 Çift sistemin mutlak parametrelerinin ve uzaklık değerinin belirlendiği MATLAB Kodu birinci modülün ara yüzü

Sol panelde girdi parametreleri, sağ panelde ise çıktı parametreleri siyah çerçeve içinde gösterilmiştir



Şekil 3.4 MATLAB koduyla çizdirilmiş dinamik yöntemle belirlenen uzaklıkların 3B’lu grafiği

Grafik galaktik koordinat sistemine göre çizdirilmiştir. Merkezde bulunan küre Güneş’i ve koyu siyah nokta Samanyolu Galaksisi’nin merkezini temsil etmektedir. Dikey ve yatayda bulunan daireler, galaktik düzlem ve başlangıç boylamıdır. Nokta ($\square$) ve yıldız (*) sembolleri sırasıyla çalışmada kullanılan örnek sistemleri ve SMC/LMC dahil küme değişenlerini, son olarak gri kare SY Sge ve siyah kare V688 Aql’nın uzaklığını göstermektedir.

3.2.2 Trigonometrik Paralaks Yöntemi ile Uzaklık Hesabı

Trigonometrik paralaks yöntemi yazılan MATLAB kodu ile bu çalışmada otomatize edilerek uygulanmıştır. Bölüm 3.1’de anlatıldığı üzere veri seçimi yapıldıktan sonra Gaia (Brown, vd. 2016) ve Hipparcos (Perryman, vd. 1997) veri tabanlarından alınan trigonometrik paralaks değerleri EK 1 ve EK 2’de listelenmiştir. Paralaks değerlerinin hangi katalogdan alındıklarının bilgisi Çizelgelerin Katalog/Filtre başlıklı sütununda

belirtilmiştir. Bölüm 3.2.1’de anlatılan MATLAB kodu içerisinde gerekli dönüşümler yapılarak ve Eşitlik (2.6)’da gösterilen trigonometrik paralaks bağıntısı ile örneklerin parsek cinsinden uzaklıkları hesaplanmıştır. Uzaklık değerlerinin hata oranları ise yine bu dönüşümler sırasında biriken hata cinsinden elde edilmiştir.

3.2.3 V688 Aql ve SY Sge Sistemlerinin Işık Eğrisi Analizi ve Dinamik Paralakslarının Elde Edilişi

V688 Aql (HD 353804) ve SY Sge (HD 350944) sistemleri Kukarkin vd. (1971)’nin yayınladığı katalogda Algol türü Örtün Çift Sistemler (EA) olarak tanımlanmıştır. Sistemlerin görsel parlaklıkları sırasıyla (m_v) $10^m.54$ ve $10^m.46$ ’dır. Literatür taramasında incelendiği üzere sistemler hakkında ancak birkaç minimum çalışması olduğu görülmüştür (Kordylewski 1963), (Dworak 1977), (Nesterov vd. 1995), (Kreiner vd. 2001), (Hubscher 2009). Sistemlerin fotometrik gözlemleri Ankara Üniversitesi Kreiken Gözlemevi’nde (AUKG) 40 cm Schmidt - Cassegrain teleskobuna bağlı $11'.3 \times 11'.3$ ‘lük alan gören Apogee ALTA-U47 (1024x1024) CCD kamerası kullanılarak, elde edilmiştir. Gözlemler, 2010–2011 gözlem sezonunda gerçekleştirilmiştir. Sonraki gözlem dönemlerinde yine proje olarak sunulmuş ancak hava koşulları nedeniyle gözlemlerden sonuç elde edilememiştir. Fotometrik veri Johnson BVRI filtre seti ile dört bantta elde edilmiştir. Her bir bant için mukayese yıldızının diferansiyel parlaklığından türetilmiş olan gözlemsel standart hata, BVRI bantları için sırasıyla $0^m.05$, $0^m.08$, $0^m.09$, ve $0^m.09$ ’dir.

Gözlemler IRAF⁵ (Image Reduction and Analysis Facility) programı ile indirgenmiştir. Diferansiyel parlaklık değerleri açıklık fotometresi yöntemine göre hesaplanmıştır. Sistemlere ait 5 adet minimum zamanı, d’Estudis Astronomics* grubu tarafından, Kwee ve van Worden (1956) yönteminin bir alt program olarak sunulduğu, AVE (Análisis de Variabilidad Estelar) programı kullanılarak elde edilmiştir (bkz. çizelge 3.1). Elde edilen minimum zamanları ve indirgeme aşamalarında kullanılmış olan mukayese ve denet yıldızları çizelge 3.1’de listelenmiştir. Ayrıca sistemin tayfsal türü ve Gaia

⁵ IRAF: National Optical Astronomy Observatory tarafından dağıtılan bir yazılımdır.

katalogundan elde edilmiş olan trigonometrik paralaks değeri de yine çizelge 3.1’de yer almaktadır.

Çizelge 3.1 V688 Aql ve SY Sge sistemlerinin gözlem bilgileri

	V688 Aql	SY Sge
Mukayese	GSC 1615-1448 (G5)	GSC 1620-1146 (A0)
Denet	GSC 1615-2500 (F2)	GSC 1620-2516
P_{yörünge} (g)	3.89	3.54
I. Min. Zamanı (+2455000)	796.3745 ± 0.0006	769.5411±0.0005 748.3541±0.0005
II. Min. Zamanı (+2455000)	798.3301 ± 0.0004	810.2827±0.0003
Tayfsal Tür	B0 ^a	B2 ^b
m_v	10 ^m .54	10 ^m .46
J-H	0.008	0.023
H-K	-0.053	0.011
π^c (mas)	0.27 ±0.4	- 0.35±0.5

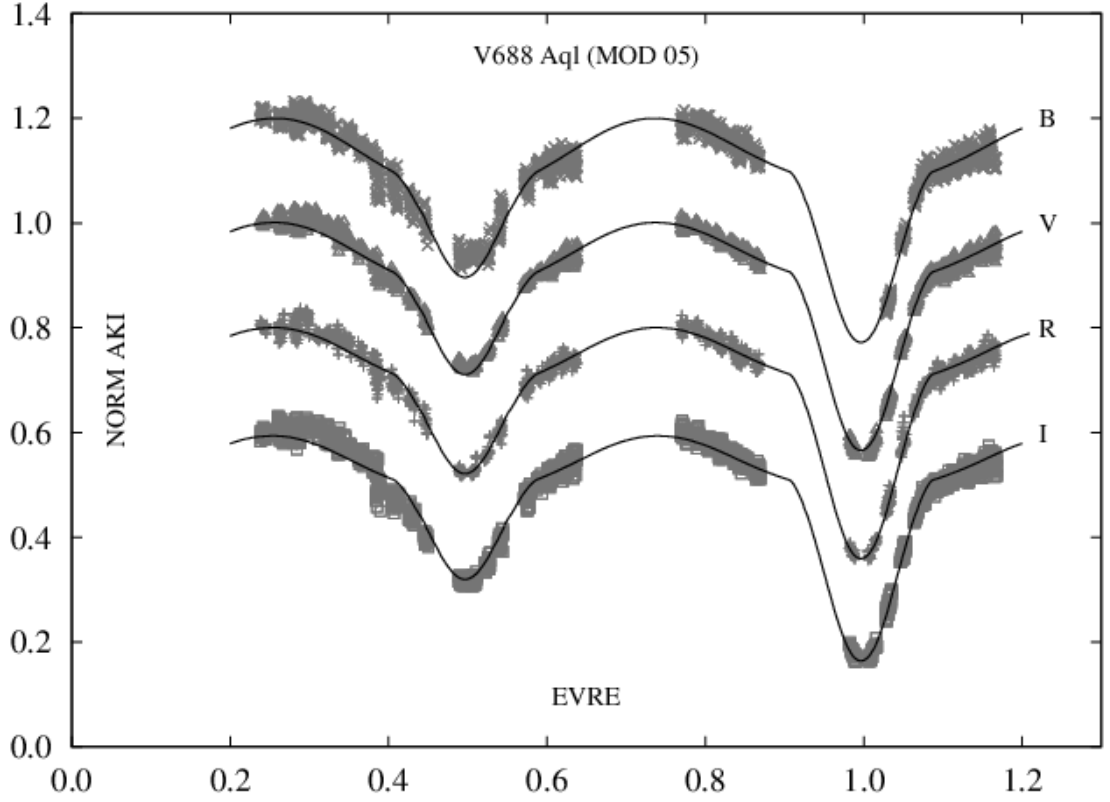
^aİyi bilinmeyen kalitede tayf.

^b Kötü kalitede tayf.

^c GAIA veri tabanından alındı.

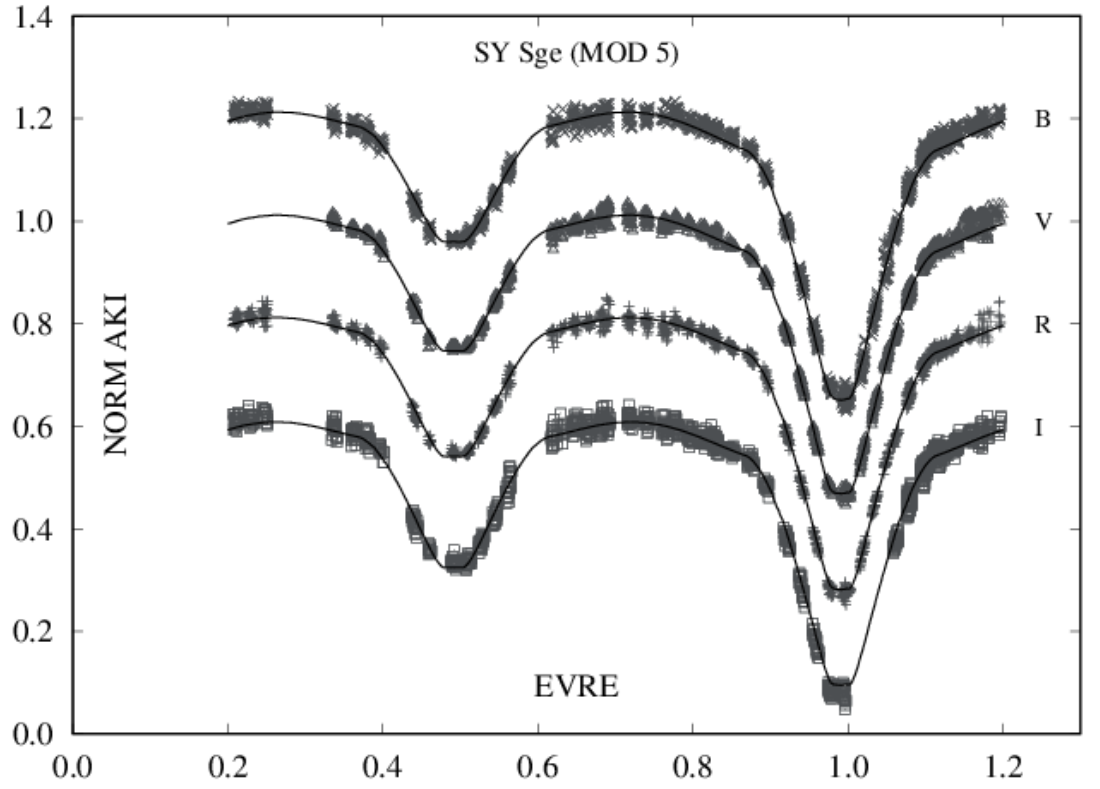
Bu çalışmada yapılan fotometrik ışık eğrisi analizi ile V688 Aql sistemi için hem ayırık (d) hem de yarı-ayırık (sd), SY Sge için ise yarı-ayırık (sd) konfigürasyonda çözüm elde edilmiştir. Işık eğrisi analizleri sırasında Wilson – Devinney (Wilson ve Devinney 1971) programının uyarlanmış hali olan, PHOEBE (PHysics of Eclipsing BinariEs, Prsa ve Zwitter, 2005) programının Windows işletim sistemi için üretilmiş olan 0.31a versiyonu kullanılmıştır. Programın çözüm yöntemi Bölüm 2.1’de anlatılmış olan dikine hız eğrisi ve buradan elde edilecek olan kütle oranına (M_2/M_1) önemli bir bağımlılık göstermektedir. Çözüm sırasında kullanılmak üzere, V688 Aql’nın ve SY Sge’nin literatürde ya da bu çalışma kapsamında elde edilmiş tayfsal dikine hız gözlemleri bulunmamaktadır. Işık eğrisi çözümlerinde sıkça karşılaşılan bu durum karşısında, en sık uygulanan çözüm yöntemlerinden birisi “i-q” tarama testi uygulamaktır. Yöntem ile ulaşılan fotometrik kütle oranlarının, ayırık ve yarı-ayırık sistemlerde tayfsal kütle oranlarına oldukça yakın sonuçlar verdiği bilinmektedir. Teorik eğrilerin, ışık eğrisi ile

örtüştüğü iterasyonlar sırasında en küçük χ^2 değerini veren eğim (i) ve kütle oranları (q) başlangıç değeri olarak alınmıştır (Bölüm 2.2). Elde edilen teorik çözümler şekil 3.5 ve şekil 3.6’de sunulmuştur.



Şekil 3.5 V688 Aql’nın (MOD 05) ılık eğrisi

V688 Aql’nın (MOD 05) yarı-ayrık konfigürasyona göre elde edilen teorik çözümleri (sürekli eğri) ve gözlemsel noktalar görülmektedir.



Şekil 3.6 SY Sge'nin (MOD 05) ışık eğrisi

SY Sge'nin (MOD 05) yarı-ayrık konfigürasyona göre elde edilen teorik çözümü (sürekli eğri) ve gözlemsel noktalar görülmektedir.

Sistemlerin ışık eğrilerinin, yarı-ayrık (sd) bir konfigürasyona benzerlik gösterdiği görülmüştür. Bu nedenle PHOEBE 031.a programında çözüme başlanırken, yarı – ayrık sistemler için üretilmiş olan MOD 05 tercih edilmiştir. MOD 05'de yapılacak çözümlerde yine bir başlangıç parametresi olarak kullanılan birinci bileşene ilişkin sıcaklık değeri, her iki sistem için de, çizelge 3.1'de listelenmiş olan yakın kırmızıöte renk indekslerinden türetilmiştir. Yıldızlar arası ortamın sönmüleme etkisinin uzun dalga boylarında en az oluşu nedeniyle birinci bileşene ait sıcaklık kestiriminde özellikle J-H ve H-K bantlarındaki farklar tercih edilmiştir. Bolometrik albedolar (A_1 , A_2 , Rucinski, 1969), logaritmik kenar kararma katsayıları (X_1 , X_2 , van Hamme, 1993), kütleçekim kararması (g_1 , g_2 , von Zeipel 1924) gibi fiziksel parametreler, iterasyonlar boyunca güvenilir teorik değerlerine sabitlenmiştir. Her iki sistem içinde, çözüm sırasında ikinci minimumlarda evre kayması ya da asimetrik minimum gibi yörünge basıklığına işaret eden bir durumla karşılaşılmadığı için, çözüm dairesel yörünge kabulü

altında yapılmıştır ($e = 0$). Ayrıca bileşenler arasında senkronize dönme ($F_{1,2}=1.0$) ve üçüncü ışık etkisi sıfır kabul edilmiştir ($l_3=0.0$). Yine çözüm sırasında ışık eğrilerinde leke aktivitesine işaret edecek hiçbir asimetriye de rastlanmamıştır.

Yıldız evriminin art arda ilerleyen aşamalarından olan ayırık ve yarı – ayırık sistemlerin ışık eğrisi biçimleri benzerlikler göstermektedir. Bu anlamda gerçekçi bir çözüm yaklaşımında olmak için sistemler ikinci bir modda (ayırık mod, MOD 02) daha çözüme sokulmuştur. Yukarıda bahsi geçen kabuller altında, ayırık sistemler için geliştirilen MOD 02 ile V688 Aql sistemin makul bir çözümüne daha ulaşılmıştır. Bu nedenle her iki moda ait çözümler çalışmada sunulmuştur. Ancak SY Sge için yarı-ayırık mod çözümleri ayırık mod çözümlerinden çok daha küçük hata değerleri üretmiştir.

Dikine hız eğrilerinin eksik olduğu durumlarda, bileşenler arası uzaklığın elde edilemeyişi nedeniyle mutlak parametrelere geçiş sırasında fotometrik kütle oranı kullanılmak zorundadır. Bu durum ışık eğrisi çözümlerinde sıkça karşılaşılan bir durumdur. Çeşitli Roche geometrisine sahip sistemler için fotometrik kütle oranına bağlı çözümlerin güvenilir yaklaşımlar verdiği ortaya konulmuştur. Örneğin, W Uma türü örten çift yıldızlar için Acerbi, vd. (2014), ayırık sistemler için Bulut vd. (2005, 2006), Faulkner vd. (2007), yarı – ayırık sistemler için Li vd. (2015). Terrell ve Wilson (2005)'da aşırı değen ve yarı - ayırık örten çiftlerin fotometrik kütle oranlarının güvenilir kabul edilebileceğini bildirmiştir. Bu bilgiler ışığında çözümde fotometrik kütle oranı kullanılarak mutlak parametre setine geçiş yapılmıştır. Baş yıldızların kütlelerini kestirmek için ise, Budding ve Zeilik (1987) tarafından verilen ve kütle-ışınım gücü ile Kepler'in üçüncü yasasından yararlanarak türetilen denklemden yararlanılmıştır.

$$\log(M_1) = 0.22(\log(1 + q) + 2 \log(P) + 3 \log(r_1) + 6 \log(T_1) - 20.99) \quad (3.1)$$

Birinci bileşenin kütlesi ile sıcaklığı, kesirsel yarıçapı, sistemin dönemi ve kütle oranına bağlı bu korelasyon kullanılarak, baş bileşenin kütlesi tahmin edilmiştir. Böylece mutlak parametrelere geçiş sağlanmıştır. Parametre setinin işlem adımları MATLAB kodu ile otomatize edilmiştir. Bu sayede ilgili parametrelerin panellere girilmesiyle tek

adımında, tayfsal kütle oranı bulunmayan ayırık ve yarı – ayırık sistemler için hem mutlak parametreler elde edilebilmekte, hem de dinamik paralaks yöntemi ile uzaklık kestiriminde bulunulabilmektedir.

3.2.4 Mutlak Parametrelere Geçiş

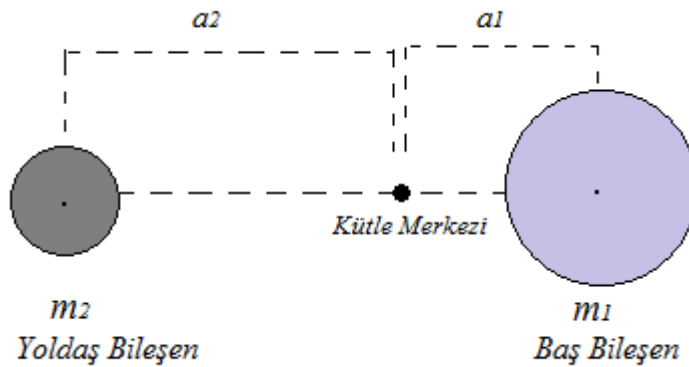
Işık eğrisi çözümleri yapılan SY Sge ve V688 Aql sistemlerine ait mutlak parametre setine, şu adımlar kullanılarak geçiş yapılmıştır:

PHOEBE tarafından sistemlerin ışık eğrisi analizinden üretilen kesirsel yarıçaplar kullanılarak ortalama kesirsel yarıçap elde edilir:

$$r = \sqrt[3]{r_{pole} \cdot r_{back} \cdot r_{side}} \quad (3.2)$$

Kesirsel yarıçap, dönem, kütle oranı ve sıcaklık değerleri Eşitlik (3.1)'de yerine konularak baş bileşene ait kütle elde edilir. Bu değer, çözümden elde edilen kütle oranı ile aşağıdaki eşitlikte yerine yazılarak yoldaş bileşenin kütlesine geçilebilir (şekil 3.7).

$$q = \frac{m_2}{m_1} = \frac{x_1}{x_2} \quad (3.3)$$



Şekil 3.7 Çift yıldız bileşenleri arası uzaklık

Çift yıldız sisteminde bileşenlerin, ortak kütle merkezinden uzaklıkları x_1 ve x_2 sembolleri ile gösterilmiştir. m_1 ve m_2 sırasıyla, baş bileşenin ve yoldaş bileşenin kütlelerini temsil etmektedir.

Dönem ve sistemin toplam kütle değerinden yararlanarak Kepler'in 3. Yasası ile bileşenler arası uzaklık değerine ulaşılır.

$$\frac{a^3}{p^2} = (M_1 + M_2)M_{\odot} \frac{G}{4\pi^2} \quad (3.4)$$

Burada M_1 ve M_2 kütleleri $M_{\odot}$ cinsindendir, $M_{\odot}$ ise kg cinsindendir. Buradan hareketle bileşen yıldızların sistemin ortak kütle merkezine olan uzaklıkları hesaplanır.

$$a = a_1 + a_2 \text{ veya } a = a_2(q + 1) \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.2)'de kesirsel yarıçapları hesaplanan bileşenlerin, SI biriminde yarıçap değerlerine geçiş yapılır;

$$R = a \cdot r \quad (3.6)$$

Bu yarıçap ve sıcaklık ile bileşenlerin ışıyım gücü hesaplanabilir:

$$L_1 = 4\pi \cdot R^2 \cdot \sigma \cdot T_1^4 \quad (3.7)$$

Hesaplanan ışıyım gücü değeri Eşitlik (2.4) ile verilen Pogson formülünde yerine konularak, sistemin mutlak parlaklığına geçiş yapılabilir. Burada σ , Boltzmann sabitidir.

Kütle, yarıçap ve sıcaklık değerleri belirlenen sistem bileşenlerinin ortalama yoğunluğu da bulunabilir.

$$\langle \rho \rangle = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi \cdot R^3} \quad (3.8)$$

Ayrıca PHOEBE çözümü sırasında üretilen birinci bileşenin potansiyel değeri (Ω_1) ile iç ve dış yüzey potansiyelleri ($\Omega_{iç}$ ve $\Omega_{dış}$) yardımıyla sistemin değme oranı da hesaplanmış olur.

$$f = \frac{\Omega_{i\zeta} - \Omega_1}{\Omega_{i\zeta} - \Omega_{d\iota\varsigma}} \quad (3.9)$$

Bu hesaplamalar sırasında oluşan biriken hatalar, Bevington ve Robinson (2003) tarafından verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır:

$$x = a.u + bv \quad , \quad \sigma_x^2 = a^2.\sigma_u^2 + b^2.\sigma_v^2 + 2ab\sigma_{uv}^2 \quad (3.10)$$

$$x = auv \quad , \quad \frac{\sigma_x^2}{x^2} = \frac{\sigma_u^2}{u^2} + \frac{\sigma_v^2}{v^2} + \frac{2\sigma_{uv}^2}{uv} \quad (3.11)$$

$$x = \frac{au}{v} \quad , \quad \frac{\sigma_x^2}{x^2} = \frac{\sigma_u^2}{u^2} + \frac{\sigma_v^2}{v^2} - \frac{2\sigma_{uv}^2}{uv} \quad (3.12)$$

$$x = au^b \quad , \quad \frac{\sigma_x}{x} = b.\frac{\sigma_u}{u} \quad (3.13)$$

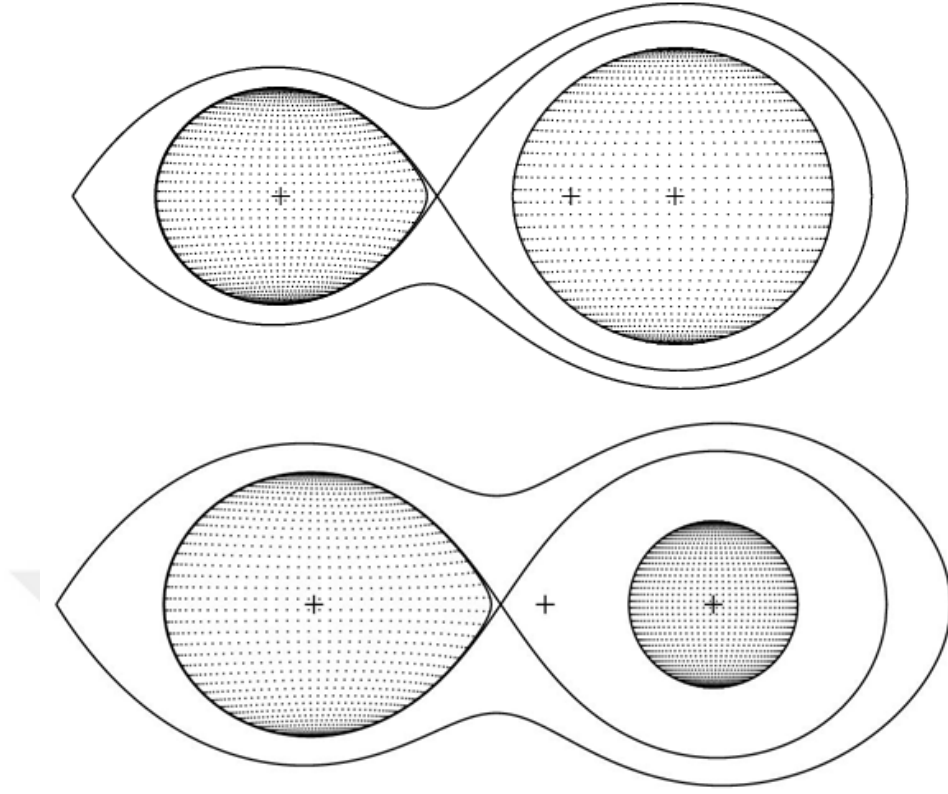
$$x = a.e^{bu} \quad , \quad \frac{\sigma_x}{x} = b.\sigma_u \quad (3.14)$$

$$x = a^{bu} \quad , \quad \frac{\sigma_x}{x} = (b.lna)\sigma_u \quad (3.15)$$

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışma kapsamında iki adet sistemin (V688 Aql ve SY Sge) ışık eğrisi analizi yapılmıştır. Bu analiz sonunda fotometrik kütle oranı kullanarak, mutlak parametre seti elde edilmiştir. V688 Aql sistemi hem ayırık hem de yarı – ayırık modda çözülmüş ve makul hatalar elde edildiği için, iki çözüm de kabul edilmiştir. Ancak sadece yarı – ayırık moda ait ışık eğrisi (Şekil 3.5) ve Roche geometrisi (Şekil 4.1) sunulmuştur. Birinci minimuma iniş kolu ve yaklaşık ikinci maksimum evresinde yeterince gözlemsel veri elde edilememiştir. Ayrıca birinci minimum civarındaki verinin çok saçılma göstermesi nedeniyle bu noktalar B bandında çözüme dahil edilmemiştir. Birinci ve ikinci minimum derinlikleri arasında kabaca 0.1^m 'lik bir parlaklık farkı görülmektedir.

SY Sge'nin ışık eğrisinde ise (şekil 3.6) sadece I bandında, birinci minimumdan çıkış kolunda yeterli veri elde edilememiştir. Birinci ve ikinci minimum noktaları arasında, kabaca 0.3^m 'lik bir fark gözlenmiştir. Minimum noktaları arasındaki fark I bandına doğru gidildikçe az miktarda da olsa azalmıştır. Bu fark, klasik Algol ışık eğrilerinde beklenen bir durumdur.



Şekil 4.1 Yarı-ayrık modda V688 Aql (üst) ve SY Sge (alt) sistemlerinin 0.75 evresindeki Roche şişimi doldurma durumları

Fiziksel ve mutlak parametreler elde edildikten sonra, çözüm parametreleri Binary Maker⁶ programına taşınarak sistemlerin Roche şişimi geometrileri oluşturulmuştur. Her iki sistem için Roche potansiyeli şişim yüzdeleri çizdirilmiştir (Şekil 4.1). Şekilden ikinci bileşenlerin evrimde daha ilerde olduğu, küresellikten saptığı ve birinci Roche yüzeylerini doldurmuş olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu sistemler yarı – ayrık türündendir.

Çalışma kapsamında incelenen 152 adet ayrık ve yarı - ayrık Algol türü örten çift yıldız sisteminin, V bandındaki mutlak parlaklıkları (M_V), iki farklı sönmüleme katsayısı kullanılarak hesaplanan dinamik uzaklıkları ($d_{(S\&F)}$ ve $d_{(SFD)}$) ve trigonometrik paralaksları ($d_{(tri)}$) hatalarıyla birlikte EK 5' de sunulmaktadır.

⁶ <http://www.binarymaker.com/>

Sistemlerden birçoğunun, mutlak parlaklıklarına ve dinamik paralaks yöntemiyle elde edilen uzaklıklarına ait hata barları elde edilememiştir. Bunun nedeni, bu sistemlerin birinci ve ikinci bileşen ışınım güçlerinin hata değerlerine erişilememiş olmasıdır. Durum EK 1 ve EK 2'den de görülebilir. Hata değerlerine ulaşamayan bu sistemlerin neredeyse tamamı Budding vd. (2004)'nin Algol kataloğundan seçilen sistemlerdir. Buna karşın çalışmada ele alınan tüm sistemlerin trigonometrik paralaks değerlerinin hatalarına ulaşılmış ve uzaklıklara dair biriken hata değerleri de hesaplanarak, EK 5'de sunulmuştur.

Literatürden derlenen 150 örnekten, 87'si fotometrik kütle oranı, 59'u tayfsal kütle oranı kullanılarak mutlak parametre seti elde edilmiş sistemlerdir. 4 sistem ise hem fotometrik hem tayfsal kütle oranı ile çözümüne ulaşılmış sistemlerdir. Ancak şu noktanın altını çizmekte fayda vardır: Bu çalışmada seçilen sistemler, EK 3'de görüleceği gibi fotometrik kütle oranı ile çözülmüş olsalar dahi, katalogda derlenmiş olan başka çalışmalardaki tayfsal kütle oranlarına oldukça yakın kütle oranları ile çözülmüş, güvenilir q değerine sahip sistemlerdir. Bunun yanı sıra yine seçilen verinin büyük bir kısmı, Budding vd. (1984) tarafından yapılan sınıflamaya göre, iyi bilinen Algol'ler (0.9) kategorisinde yer almaktadır. Literatürden alınan veri seti dışında, 2 adet sistemin daha (V688 Aql ve SY Sge) Ankara Üniversitesi Gözlemevinde elde edilen ışık eğrisi analiz sonuçları da çalışmaya dahil edilmiştir. Bu sistemler fotometrik kütle oranı kullanılarak modellenmişlerdir. PHOEBE kodu ile ulaşılan fotometrik ışık eğrisi çözümleri çizelge 4.1'de listelenmekte olup, ulaşılan mutlak parametreleri ise çizelge 4.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.1 V688 Aql ve SY Sge sistemlerine ait ışık eğrisi çözümleri

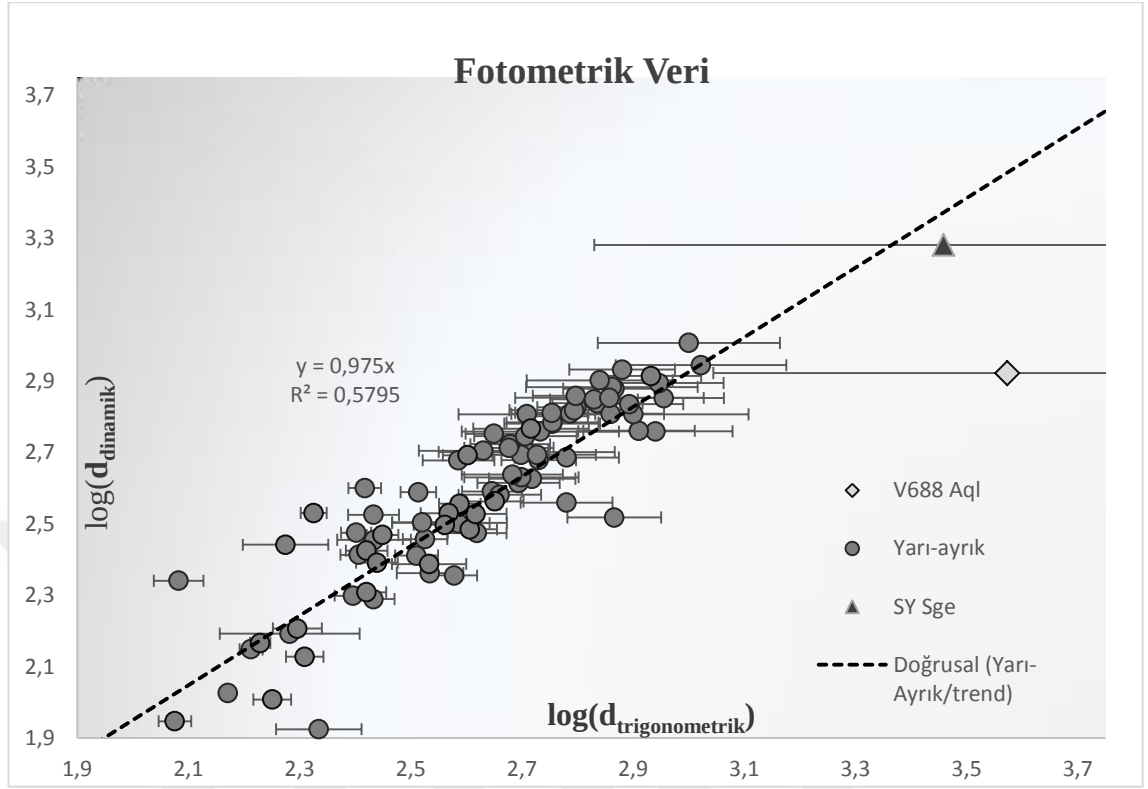
	V688 Aql		SY Sge
Parametreler	MOD 05	MOD 02	MOD 05
$a (R_{\odot})$	20.86 ± 0.04	19.45 ± 0.06	20.94 ± 0.01
$i(^{\circ})$	79.52 ± 0.04	79.32 ± 0.04	87.07 ± 0.01
q	0.728 ± 0.006	0.458 ± 0.008	0.364 ± 0.001
$T_1(K)$	12833	12840	14200
$T_2(K)$	10111 ± 13	9502 ± 19	8845 ± 12
Ω_1	5.53 ± 0.007	5.28 ± 0.016	3.05 ± 0.002
Ω_2	3.35	2.78 ± 0.003	2.66
$f(\%)$	-	-	-
A_1	1	1	1
A_2	1	1	1
$F_1=F_2$	1	1	1
$X_{1(B,V,R,I)}$	0.512	0.512	0.574
$X_{2(B,V,R,I)}$	0.268	0.268	0.306
$L_1/(L_1+L_2)_B$	0.35	0.417	0.823
$L_1/(L_1+L_2)_V$	0.37	0.436	0.808
$L_1/(L_1+L_2)_R$	0.385	0.451	0.798
$L_1/(L_1+L_2)_I$	0.382	0.446	0.78
$L_2/(L_1+L_2)_B$	0.65	0.583	0.174
$L_2/(L_1+L_2)_V$	0.63	0.564	0.192
$L_2/(L_1+L_2)_R$	0.615	0.548	0.202
$L_2/(L_1+L_2)_I$	0.618	0.554	0.21
$r_{1,pole}$	0.2074 ± 0.0004	0.2069 ± 0.0007	0.3697 ± 0.0003
$r_{1,point}$	0.2116 ± 0.0005	0.2098 ± 0.0007	0.4048 ± 0.0005
$r_{1,side}$	0.2090 ± 0.0005	0.2082 ± 0.0007	0.3838 ± 0.0003
$r_{1,back}$	0.2109 ± 0.0005	0.2094 ± 0.0007	0.3944 ± 0.0004
$r_{2,pole}$	0.3298 ± 0.0004	0.2962 ± 0.0006	0.2753 ± 0.0002
$r_{2,point}$	0.4673 ± 0.0005	-	0.3977 ± 0.0010
$r_{2,side}$	0.3452 ± 0.0004	0.3095 ± 0.0007	0.28689 ± 0.0002
$r_{2,back}$	0.3771 ± 0.0005	0.3443 ± 0.0013	0.3196 ± 0.0002
$\sum \chi^2$	1.66	1.54	0.98

Çizelge 4.2 V688 Aql ve SY Sge sistemlerine ait mutlak parametreler

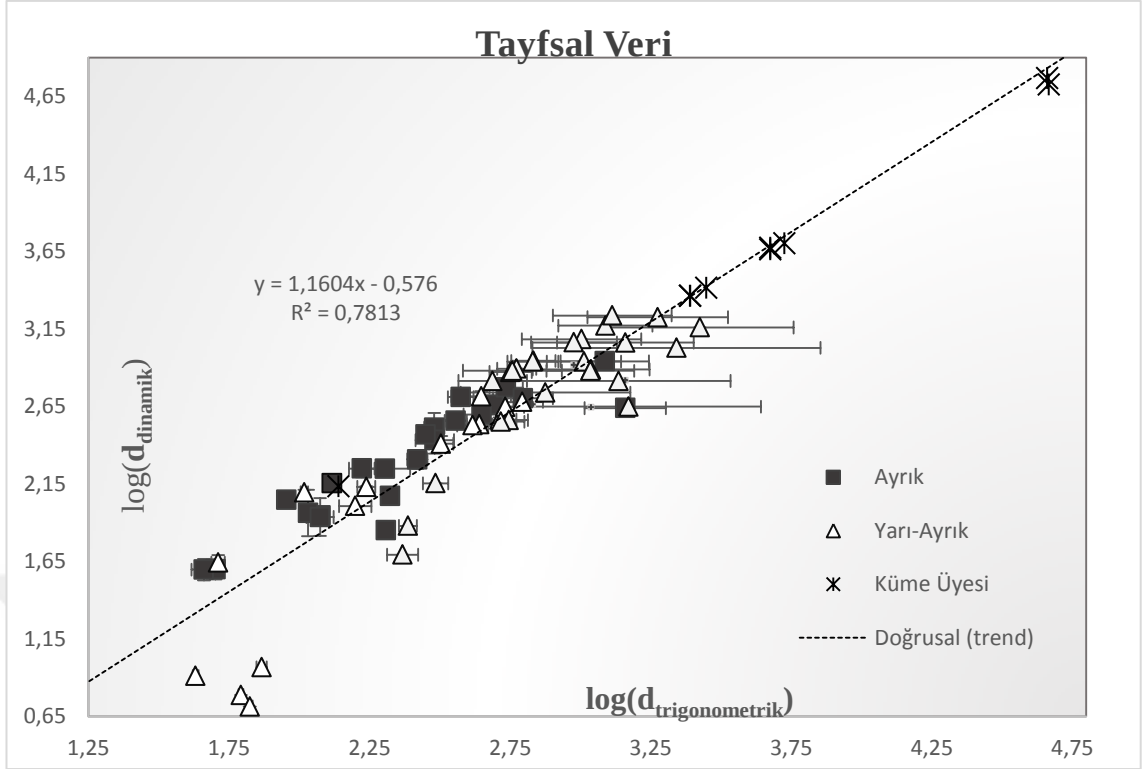
	V688 Aql		SY Sge
Parametreler	MOD 05	MOD 02	MOD 05
$M_1(M_\odot)$	4.66 ± 0.03	4.48 ± 0.04	7.23 ± 0.02
$M_2(M_\odot)$	3.39 ± 0.04	2.05 ± 0.04	2.63 ± 0.01
$R_1(R_\odot)$	4.36 ± 0.01	4.06 ± 0.01	8.01 ± 0.007
$R_2(R_\odot)$	7.3 ± 0.02	6.15 ± 0.02	6.14 ± 0.005
$T_1(K)$	12833	12840	14200
$T_2(K)$	10111 ± 13	9502 ± 19	8845 ± 12
$L_1(L_\odot)$	489 ± 2.3	422 ± 3.01	2473 ± 4.02
$L_2(L_\odot)$	528 ± 3.54	292 ± 3.07	219 ± 1.24
$a_1(R_\odot)$	8.78 ± 0.06	6.11 ± 0.1	5.58 ± 0.02
$a_2(R_\odot)$	12.07 ± 0.05	13.35 ± 0.08	15.36 ± 0.02
$\langle \rho_1 \rangle (cgs)$	0.0791 ± 0.0008	0.0945 ± 0.0001	0.0198 ± 0.0007
$\langle \rho_2 \rangle (cgs)$	0.0123 ± 0.0002	0.0124 ± 0.0003	0.0161 ± 0.0007
$\log(g_1)(cgs)$	3.83 ± 0.008	3.87 ± 0.001	3.49 ± 0.003
$\log(g_2)(cgs)$	3.24 ± 0.012	3.17 ± 0.002	3.28 ± 0.004
M_{bol}^m	-2.7 ± 0.01	-2.31 ± 0.02	3.84 ± 0.003
$A_v^m (S\&F)$	0.827	-	0.899
$d_{dinamik} (kpc)$	0.84	1.04	1.91

4.1 Uzaklık Yöntemlerinin Karşılaştırılması

EK 5’de derlenmiş olan sonuçlardan, trigonometrik paralaks yöntemi ile hesaplanan uzaklık değerleri ve Schlafly ve Finkbeiner (2011) sönüm yasasına dayalı olarak dinamik paralaks yöntemi ile hesaplanan uzaklık değerleri şekil 4.2 - şekil 4.3’de grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Grafiklerde yarı-ayrık ve ayrık konfigürasyonlar ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 4.2’de sunulan tüm veri, yarı-ayrık konfigürasyonda, fotometrik kütle oranına sahip sistemlerden oluşturulmuştur. Oysa hem ayrık hem de yarı-ayrık sistemlerin kullanıldığı ancak tamamen tayfsal kütle oranı bulunan sistemlerden türetilen bağıntı şekil 4.3’de verilmektedir. İki bağıntı arasında önemli bir farkın olmadığı ve korelasyon doğruluğunu göstermek üzere her iki bağıntının da ~ 1 eğim verdiği görülmektedir.



Şekil 4.2 Sadece fotometrik kütle oranı olan sistemlerin, trigonometrik ve dinamik uzaklıklarının karşılaştırılması



Şekil 4.3 Tayfsal kütle oranı olan sistemlerin trigonometrik ve dinamik paralaks uzaklıklarının karşılaştırılması

Schlafly ve Finkbeiner (2011)'in sönüm yasasına göre hesaplanan dinamik uzaklık değerleriyle ($d_{(S\&F)}$), Schlegel vd. (1998) 'nin sönüm yasasına göre hesaplanan dinamik uzaklık ($d_{(SFD)}$) değerlerinin ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır. Bu ortalama değerler sırasıyla, $\langle d_{(S\&F)} \rangle = 482$ pc ve $\langle d_{(SFD)} \rangle = 462$ pc olarak bulunmuştur. Ortalamaların birbirinden farkı alındığında, yaklaşık olarak 21 pc fark olduğu görülmüştür. Trigonometrik uzaklık ve her iki çalışmaya göre ayrı ayrı hesaplanan dinamik uzaklık ortalamalarının farkı alındığında ise $\langle d_{(tri)} \rangle - \langle d_{(S\&F)} \rangle \cong 35$ pc ve $\langle d_{(tri)} \rangle - \langle d_{(SFD)} \rangle \cong 56$ pc değerleri elde edilmiştir. Bu değerler hesaplanan uzaklıkların hata değerlerinin çok altında kalmaktadır. Seçilen örnek grubundaki yıldızlar oranlandığında %57.3'ünde, Schlafly ve Finkbeiner'in (2011) çalışması ile elde edilen uzaklık değerlerinin, trigonometrik paralaks değerleriyle daha uyumlu olduğu görülmüştür. Değerlerin daha uyumlu oluşu nedeniyle şekil 4.2 ve şekil 4.3'de trigonometrik paralaks uzaklıklarına karşın, Schlafly ve Finkbeiner (2011)'in sönüm yasasına göre elde edilen dinamik uzaklıklar grafiğe geçirilmiştir.

Dinamik yöntemden kaynaklı birikmiş hata değerleri (y-ekseninde $\pm 1\sigma$) şekil 4.2 - 4.3'de semboller boyutundadır. Oysa trigonometrik yöntemden gelen hata değerlerine bakıldığında (x-ekseninde $\pm 1\sigma$), uzaklık arttıkça hata barlarının da arttığı görülmektedir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Trigonometrik paralaks yöntemi 1000 pc'den daha yakın sistemler için daha doğru sonuç veren geometrik bir yöntemdir. Uzaklık arttıkça sistemin paralaktik kayma açısı küçülmektedir. Değerin küçülmesi ölçümü zorlaştırmakta ve hata değerini büyültmektedir. Bu nedenle trigonometrik paralaks yönteminin sınırlarına ulaşıldığı uzaklıklardan sonra, dinamik paralaks yöntemi alternatif bir yöntem olarak kullanılmaya başlanabilir.

Dinamik paralaks yönteminde, mutlak parametrelerin ve ilgili doğrultudaki kızarma miktarının büyük bir doğrulukta elde edilmesi, uzaklık tahmininin kesinliği bakımından büyük önem taşımaktadır (Dworak, 1974). Bu durumdan yola çıkılarak, $d_{\text{(dinamik)}}$ hesabında iki farklı kızarma yasası kullanılmak suretiyle elde edilen uzaklıklar birbiriyle kıyaslanmıştır. Seçilen veri iyi bilinen sistemlerden oluşmasına ve mutlak parametrelerin iyi belirlenmiş olmasına karşın, çözüm yöntemlerine göre iki ayrı kategoride (q_{spec} ve q_{phot} gibi) irdelenmiştir. Her iki grafikte elde edilen doğrusal korelasyon (eğim ≈ 1 olması), dinamik paralaks ile trigonometrik paralaksın uyumlu olduğunu göstermektedir. Ayrıca farklı sönüm yasalarının kullanılması, ilgili bağıntıda önemli bir fark oluşturmamıştır. Korelasyondaki eğim değerlerinin 1.00'e yakın olması, dinamik uzaklıkların trigonometrik yöntemle de doğrulandığı şeklinde yorumlanmıştır. Tayfsal kütle oranı kullanılarak çözülmüş sistemler kullanılarak elde edilen bağıntının eğiminin ~ 0.96 çıkması, hata sınırları içerisinde kabul edilebilir bir değerdir. Her iki grafikte de görüleceği gibi korelasyona aykırı bazı noktalar yer almaktadır. Bu noktaların, çözümde filtre bilgisi verilmeyen, farklı bantlarda çözümleri verilen ya da nispeten daha az güvenilir çözümlere sahip sistemlerden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

4.2 Yıldız Kümelerinin Katkısı

Son yıllarda yıldız kümelerinin dinamik evrimini incelemeye, küme içerisinde keşfedilen (d ve sd konfigürasyonlarındaki) örten çift yıldızlar yaygın olarak

kullanılmaktadır (örn. Southworth vd., 2005). Çünkü kümelerin uzaklıkları ve küme doğrultusundaki sönümlene miktarı, çeşitli güvenilir yöntemlerle (örn. anakol çakıştırması yöntemi) oldukça duyarlı bir şekilde belirlenebilmektedir. Dolayısıyla küme üyesi olan örten çift yıldızların ışık eğrisi analizinden elde edilecek dinamik paralaksları, ilgili bağıntıyı denetlemek amacıyla kullanılabilir. Bu amaçla çizelge 4.3’de verilen küme üyesi örten çift sistemler literatürden seçilerek dinamik uzaklık yöntemini geliştirmek için kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Küme üyesi olan bazı örten çiftler için elde edilen dinamik paralakslar, dinamik yöntemin doğruluğunu test etmede kullanılmıştır

Sistem Adı	Küme Adı	$d_{\text{dinamik}}(\text{pc})$	$d_{\text{küme}}(\text{pc})$	Referanslar	
				d_{dinamik}	$d_{\text{küme}}$
EROS 1044	LMC	4750 ± 1.8	4600 ± 1.2	Ribas vd., 2002	Guinan, 2002
HV 982	LMC	5320 ± 2.0	5020 ± 1.2	Clausen, 2003	Guinan, 2002
HV 2274	LMC	4750 ± 1.8	4700 ± 2.2	Guinan, 2002	Ribas vd., 2002
OGLE SMC113.3 4007	SMC	45871	5840 ± 1.8	Graczyk, 2012	Di Benedetto, 2005
HV 2226	SMC	46492 ± 1727	53135 ± 648	Bell vd., 1992	Harries vd., 2003
V615 Per	h Persei	2459	2300	Southworth vd., 2004	Argiroffi vd., 2013
V618 Per	h Persei	2465	2300	Southworth vd., 2004	Argiroffi vd., 2013
DW Car	Collinder 228	2810 ± 160	2600	Southworth ve Clausen, 2007	Levato ve Malaroda, 1981
HD 23642	Pleiades	138 ± 4.7	136.2 ± 1.2	Southworth vd., 2005	Melis vd., 2014

5. SONUÇ

Beklendiği gibi doğrusal bir fonksiyon üreten $d_{(\text{dinamik})}-d_{(\text{tri})}$ bağıntısı, maddeler halinde vermek gerekirse astronomide şu amaçlarla kullanılabilir: i) Trigonometrik yöntemin hatasının büyüdüğü $d \geq 10^3$ pc uzaklıklar için, dinamik paralaks yöntemi rahatlıkla uygulanabilir. Bu yöntemle yakın galaksilerin, yıldız kümelerinin uzaklıkları büyük duyarlılıkla belirlenebilir. ii) İlgili doğrusal bağıntı, sistem doğrultusundaki sönümlene miktarını (A_v) belirlemede de kullanılabilir. Bunun için ilgili örten sistemin çözüm uzayında, gerçek minimumun sağlandığı yerin bulunması şarttır. iii) Ankara Üniversitesi Gözlemevinde ışık eğrileri elde edilen iki ayrı örten çift sistemin de analizleri yapılarak (SY Sge ve V688 Aql), mutlak parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen mutlak parametreler ve trigonometrik paralaksları kullanılarak bu sistemler de ilgili bağıntı üzerine yerleştirilerek, katkı sağlanmıştır. iv) Uzaklık ve yıldızlararası kızarma değerleri farklı yöntemlerle de belirlenebilen kümeler içerisindeki örten çift yıldızlardan bazıları, ilgili bağıntıyı güçlendirmek için kullanılmışlardır. Hatta uzaklığı değişik yöntemlerle belirlenmiş olan LMC ve SMC içerisinde bulunan bazı örten çift sistemler de $d_{(\text{dinamik})}-d_{(\text{tri})}$ bağıntısını güçlendirmek için kullanılmışlardır.

Uzaklığı nedeniyle trigonometrik yöntemle uzaklığı hassas bir şekilde kestirilemeyen V688 Aql ve SY Sge sistemleri için, dinamik yöntemle elde edilen uzaklık değerinin güvenilirliği tartışılmıştır. Literatürden derlenen veri içerisinde duyarlı ölçüm yapılabilen trigonometrik uzaklık değerinin üst sınırı yaklaşık, 2660 pc olarak görülmektedir. Çalışma kapsamında yapılan ışık eğrisi çözümü sonunda SY Sge ve V688 Aql'nın dinamik uzaklıkları ise sırasıyla 4670 ve 3036 pc olarak belirlenmiştir. Sistemlerin Gaia veri tabanından alınan trigonometrik uzaklıklarına bakıldığında ise, hata değerinin ölçülen uzaklık değerinden kabaca iki kat daha büyük olduğu görülmektedir. Bu sistemlerin galaksi içerisinde bulunduğu konum ve uzaklık bakımından trigonometrik yöntemin yetersiz kaldığı görülmektedir. Oysa dinamik ölçüm çok daha küçük bir hata değeriyle elde edilmiştir. Şekil 4.2'de, V688 Aql ve SY Sge sistemlerinin hem dinamik hem de trigonometrik ölçümünden gelen hata barları eklenmiştir. Dinamik ölçümün hatası (y-ekseni) sembol boyutunda kalmaktadır. Uzaklık ve hata değerleri kıyaslandığında, dinamik paralaksın belli bir uzaklıktan sonra,

trigonometrik paralaks yöntemine nazaran çok daha güvenilir sonuç verdiği görülmektedir. Bunun yanında dinamik paralaks yönteminin ($d \leq 500$ pc olan) nispeten yakın kaynaklar için de uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir (bkz. şekil 4.2).

Yöntemin, galaksi içinde ya da diğer yakın galaksilerdeki ayrık ve yarı-ayrık örten sistemlerin uzaklık tahmininde kullanılması mümkündür (örn, Vilardell vd. 2006). Geometrik bir yöntem olan trigonometrik paralaks ile yapılan ölçümlerde, $\pi < 0''.001$ yay saniyesinden daha küçük açılarda hata barı çok büyüdüğünden, dinamik yöntem daha kesin sonuçlar vermektedir. Uzaklık hesabında kullanılan mutlak parametre setinin hesabında, sisteme ait tayfsal kütle oranı olmasa dahi, Budding ve Zeilik (1987) tarafından verilen bağıntı (Eşitlik (3.1)), mutlak parametre setine geçişte kullanılmıştır. Ancak baş bileşenin kütlesi (M_1) belirlenirken kullanılan Budding ve Zeilik (1987)'in bağıntısı, az sayıda örnek üzerinden sadece RS CVn türü sistemler kullanılarak türetilmiştir. Bu bağıntının SY Sge ve V688 Aql sistemlerinde, M_1 kütlesini belirlemede kullanılması, sonuçlar üzerinde sistematik bir hata üretmiş olma ihtimalini taşır. İlgili bağıntının güncel verilerle yenilenmesi gerekmektedir. Ayrıca EK 1 ve EK 2'de sistemlerin bileşenlerine ait L_1/L_2 oranlarına bakıldığında, seçilen sistemlerin %34'ünde bu oran 2'den küçük çıkmaktadır. Bu sistemlerde ışınım gücü baskın olan ikinci bileşenin uzaklık hesabında sapmaya neden olma olasılığı vardır.

Yukarıda bahsedildiği gibi dinamik ve trigonometrik uzaklıklar arasında (beklendiği gibi) var olduğu gösterilen bu doğrusal bağıntı, çift sistemin duyarlı mutlak parametrelerinin (% birkaç hata payı ile) elde edilebilmesi durumunda, uzaklığı ve ilgili doğrultudaki yıldızlararası sönümlemeyi tahmin etmede güvenle kullanılabilecek bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

- Acerbi, F., Barani, C. and Martignoni, M. 2014. First multi-color photometric study and preliminary elements for the low-mass ratio, possible progenitors of merging stars, W UMa systems TYC 3836-0854-1 and TYC 4157-0683-1. *New Astronomy*, 31, 1-7. (n.d.).
- Argiroffi, C., Caramazza, M., Micela, G., Moraux, E. and Bouvier, J. 2013. Activity and Rotation in the Young Cluster h Per. *Proceedings of the International Astronomical Union*, 9(S302), 102-105.
- Barblan, F., Burki, G., Carrier, F., Bartholdi, P. and North, P. 2004. Physical parameters of the Algol system CF Puppis from simultaneous analysis of Geneva 7-colour light curands. *New Astronomy*, 9(3), 239-247.
- Bell, S. A., Hill, G., Hilditch, R. W., Clausen, J. V., Reynolds, A. P. and Gimenez, A. 1992. Absolute Dimensions and Distance Modulus for HV: 2226 in the Small Magellanic Cloud. In *Evolutionary Processes in Interacting Binary Stars* (Vol. 151, p. 501).
- Bevington, P.R. and Robinson, D.K. 2003. *Data Reduction and Error Analyses*. 3-d edition.
- Brancewicz, H.K., Dworak, T.Z. 1980. Catalogue of Parameters for Eclipsing Binaries. *Information Bulletin on Variable Stars*, (1744), #1.
- Brown, A.G., Vallenari, A., Prusti, T., De Bruijne, J. H. J., Mignard, F., Drimmel, R., ... and Evans, D.W. 2016. Gaia Data Release 1-Summary of the astrometric, photometric, and surandy properties. *Astronomy and Astrophysics*, 595, A2.
- Budding, E., Erdem, A., Cicek, C., Bulut, I., Soyduğan, F., Soyduğan, E. and Bakis, V.D. O. 2004. Catalogue of Algol type binary stars. *Astronomy and Astrophysics*, 197, 191–197b.
- Budding, E. 1984. A Catalogue of Classical Evolandd Algol-Type Binary Candidate Stars. *Bulletin d'Information Du Centre de Donnees Stellaires*, (27), 91.
- Budding, E. 1986. Classical Algol Systems (Invited Review). *ApandSS*, 118, 241–255.
- Budding, E. and Zeilik, M. 1987. An analysis of the light curands of short-period RS Canum Andnaticorum stars-Starspots and fundamental properties. *The Astrophysical Journal*, 319, 827-835.
- Bulut, I., Demircan, O., Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Esenoğlu, H. and Yakut, K. 2005. Photometric study of the binary system V397 cephei. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 57(2), 335-339.
- Bulut, İ., Çiçek, C. and Erdem, A. 2006. “First ground-based photometry and light-curand analysis of the eccentric eclipsing binary V744 Cas”, *AN* 327, 912. (n.d.).
- Christiansen, J. L., Derekas, A., Ashley, M. C. B., Webb, J. K., Hidas, M. G., Hamacher, D. W. and Kiss, L.L. 2007. The first high-amplitude δ Scuti star in an eclipsing binary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical*

Society, 382(1), 239-244.

- Christopoulou, P. E., Papageorgiou, A., Kleidis, S. and Tsantilas, S. 2011. The First Photometric Study and Orbital Solution/Period Analysis of the Misclassified Binary System V380 Cas. *The Astronomical Journal*, 143(2), 30.
- Clausen, J. V., Storm, J.S., Larsen, S. and Giménez, A. 2003. Eclipsing binaries in the Magellanic Clouds- uvby CCD light curands and photometric analyses for HV 982 (LMC), HV 12578 (LMC), HV 1433 (SMC), and HV 11284 (SMC). *Astronomy and Astrophysics*, 402(2)(2), 509–530.
- Coronado, J., Helminiak, K. G., Vanzi, L., Espinoza, N., Brahm, R., Jordán, A. and Konacki, M. 2015. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the ASAS catalogue–VII. V1200 Centauri: a bright triple in the Hyades moving group. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448(2), 1937-1944.
- Çakırlı, Ö. 2015. The early B-type eclipsing binary GTCephei: A massiand triple system?. *New Astronomy*, 35, 71-78.
- Deb, S. and Singh, H.P. 2011. Physical parameters of 62 eclipsing binary stars using the All Sky Automated Surandy-3 data– I. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412(3), 1787-1803.
- Di Benedetto, G.P. 2005. Predicting accurate stellar angular diameters by the near-infrared surface brightness technique. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 357(1), 174-190.
- Dolgachev, V.P., Kalinina, E.P., Kholopov, P. K. 1990. Possible dynamical evolution of a subsystem of bright stars in the Sword Orionis cluster. *Problems of Celestial Mechanics and Stellar Dynamics*, 84–87.
- Duemmler, R., Doucet, C., Formanek, F., Ilyin, I., and Tuominen, I. 2003. The radial andlocities and physical parameters of ER Vul. *Astronomy and Astrophysics*, 402(2), 745-754.
- Dworak, T.Z. 1974. Determination of the distances of the nearest galaxies by method of parallaxes of eclipsing binaries. *Acta Cosmologica*, 2, 13-19.
- Dworak, T.Z. 1977, *Acta Astron.*, 27(2), 151
- Erdem, A., Sürgit, D., Engelbrecht, C. A. and Van Heerden, H.P. 2015. Absolute Parameters of Detached Binaries in the Southern Sky–I: V349 Ara and V4403 Sgr. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32.
- Erdem, A., Sürgit, D., Engelbrecht, C.A. and Van Heerden, H. P. 2015. Absolute Parameters of Detached Binaries in the Southern Sky–I: V349 Ara and V4403 Sgr. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 32.
- Erdem, A., Sürgit, D., Engelbrecht, C. A., van Heerden, H. P. and Manick, R. 2016. Absolute parameters of eclipsing binaries in Southern Hemisphere sky–II: QY Tel. *New Astronomy*, 49, 38-42.
- Faulkner, D.R., Samec, R.G., Labadorf, C.M., Behn, G. A., Chamberlain, H.A. and VanHamme, W. 2007, December. Photometric Studies of a Detached, but Near Contact System, VV Vir and an Extreme Mass Ratio W UMa Binary, GSC

- 2537 0520. In *Bulletin of the American Astronomical Society* (Vol. 39, p. 727).
- Ghoreyshi, S.M.R., Ghanbari, J. and Salehi, F. 2011. An Accretion-Disc Model for the Algol-Type Eclipsing Binary System AV Del. *Publications of the Astronomical Society of Australia*, 28(1), 38-45.
- Graczyk, D., Pietrzyński, G., Thompson, I. B., Gieren, W., Pilecki, B., Udalski, A. and Konorski, P. 2012. The Araucaria project: an accurate distance to the late-type double-lined eclipsing binary OGLE SMC113. 3 4007 in the Small Magellanic Cloud. *The Astrophysical Journal*, 750(2), 144.
- Guinan, E. 2002. Probing the Distance and Structure of the LMC Using Eclipsing Binaries: STIS Spectrophotometry. HST Proposal.
- Guinan, E.F., Fitzpatrick, E.L., Dewarf, L.E., Maloney, F.P., Maurone, P.A., Ribas, I. and Giménez, A. 1998. The distance to the Large Magellanic Cloud from the eclipsing binary HV 2274. *The Astrophysical Journal Letters*, 509(1), L21.
- Hamme, W. Van, Wilson, R.E. and Guinan, E.E. 1995. PERIODIC LIGHT CURAND CHANGES FOR β LYRAE. *THE ASTRONOMICAL JOURNAL*, 110(3), 1350–1363.
- Harries, T.J., Hilditch, R.W. and Howarth, I. D. 2003. Ten eclipsing binaries in the Small Magellanic Cloud: fundamental parameters and Cloud distance. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 339(1), 157-172.
- Helminiak, K.G. 2011. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the All-Sky Automated Surandy catalogue.
- Hong, K., Lee, J.W., Kim, S.L., Koo, J.R., Lee, C.U., Yushchenko, A.V. and Kang, Y. W. 2015. Time-series Spectroscopy of the Eclipsing Binary Y Cam with a Pulsating Component. *The Astronomical Journal*, 150(4), 131.
- Hubscher, J., Steinbach, H.-M. and Walter, F. 2009, IBSV 5889
- Karlsson, T. 2012. V-band Light Curand Analysis of epsilon Aurigae During the 2009-2011 Eclipse. *Journal of the American Association of Variable Star Obserandrs (JAAVSO)*, 40, 668. Retrieeandd from
- Kopal, Z. 1959, Close Binary Systems, NewYork: Wiley. (n.d.).
- Kopal, Z. 1956. Semi-detached Binaries and Stellar Evolution. *Astronomical Society of the Pacific Leaflets*, Vol. 8, No, p.81.
- Kordylewski, K. 1963. Obserandd Minima of Eclipsing Variables. *Information Bulletin on Variable Stars*, 35.
- Kreiner, J.M., Kim, C.H. and Na, I.S. 2001. An atlas of OC diagrams of eclipsing binary stars. Wydaw. Naukowe Akademii Pedagogicznej.
- Kukarkin, B.V., Kholopov, P.N., Efremov, Y.N., Kukarkina, N.P., Kurochkin, N. E., Medanddeva, G. I. and Frolov, M. S. 1971. First supplement to the third edition of the general catalogue of variable stars. First supplement to the third edition of the general catalogue of variable stars., by Kukarkin, BV; Kholopov, PN; Efremov, Yu. N.; Kukarkina, NP; Kurochkin, NE; Medanddeva, GI; Perova, NB; Pskovskij, Yu. P.; Fedorovich, VP; Frolov, MS. Moskva: Astronomical Council of the Academy of Sciences of the USSR, Sternberg State

Astronomical Institute of the Moscow State University, 324 p., 1.

- Kwee, K.K. and van Woerden, H. 1956. A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable. *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, Vol. 12, p.327.
- Lázaro, C., Arévalo, M. J. and Antonopoulou, E. 2006. Absolute parameters of the Algol binary V505 Sgr from infrared JK light curves. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 368(2), 959-964.
- Lazaro, C., Arevalo, M. J. and Claret, A. 2002. Infrared light curves and absolute stellar parameters of the Algol system δ Librae: is δ Librae really an oandrmassian Algol binary?. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 334(3), 542-552.
- Leavitt, H.S. and Pickering, E.C. 1912. Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular*, 173, 1-3.
- Lehmann, H., Southworth, J., Tkachenko, A. and Pavlovski, K. 2013. Physical properties of the eclipsing Delta Sct star KIC 10661783. *arXiv preprint*
- Levato, H.U.G.O. and Malaroda, S.T.E.L.L.A. 1981. SPECTRAL MORPHOLOGY IN THE OPEN CLUSTER COLLINDER 228. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 93(556), 714.
- Li, H.-L., Wei, J.-Y. and Yang, Y.-G. 2015, “A comprehensive photometric study of the eclipsing binary EP Aurigae”, *New Ast.* 35, 48. (n.d.).
- Liakos, A. and Niarchos, P. 2012. A new photometric and spectroscopic study of the eclipsing binaries CC Her and CM Lac: physical parameters and evolutionary status. *Astrophysics and Space Science*, 340(2), 281-289.
- Linnaluoto, S. and Piirola, V. 1979. Four-colour UBVY observations of W UMa. *Astronomy and Astrophysics, Supplement Series*, 36, 33–36.
- Manzoori, D. 2008. The OC curve analysis and simultaneous light curve solutions of classical Algol system U Cephei. *Astrophysics and Space Science*, 318(1-2), 57-67.
- Martínez-Pais, I. G., Arévalo, M. J. and Lázaro, C. 2008. Absolute parameters of the short-period binary HY Virginis from JHK light curves and spectroscopy. *New Astronomy*, 13(5), 304-313.
- Melis, C., Reid, M.J., Mioduszewski, A.J., Stauffer, J. R. and Bower, G.C. 2014. A VLBI resolution of the Pleiades distance controversy. *Science*, 345(6200), 1029-1032.
- Nesterov, V.V., Kuzmin, A.V. and Ashimbaeva, N.T. 1995, *AandApS* 110, 367
- Niarchos, P.G., Manimakis, V.N. and Gazeas, K.D. 2005, January. Physical Parameters of Stars in Close Binaries Derived from Gaia Photometry. In *The Three-Dimensional Universe with Gaia* (Vol. 576, p. 607).
- Ostrov, P. G. and Lapasset, E. 2003. The O4f+ O6V eclipsing binary system Sk- 67° 105 in the Large Magellanic Cloud. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 338(1), 141–146.

- Özkardeş, B. 2017. Physical parameters of neglected southern eclipsing binary IL Lib. *New Astronomy*, 54, 38-41.
- Paczyński, B. 1971. Evolutionary Processes in Close Binary Systems. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 9, p.183.
- Percy, J.R. 2007. *Understanding Variable Stars*. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Perryman, M.A., Lindegren, L., Kovalevsky, J., Hoeg, E., Bastian, U., Bernacca, P. L. and Van Leeuwen, F. 1997. The HIPPARCOS catalogue. *Astronomy and Astrophysics*, 323, L49-L52.
- Plaandc, Mirek J., Popper, Daniel M. and Ulrich, R.K. 1980. Close Binary Stars: Observations and Interpretation, 88.
- Prša, A. and Zwitter, T. 2005. A computational guide to physics of eclipsing binaries. I. Demonstrations and perspectiands. *The Astrophysical Journal*, 628(1), 426.
- Ratajczak, M., Helminiak, K. G., Konacki, M. and Jordán, A. 2013. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the ASAS catalogue–V. Inandstigation of subgiants and giants: the case of ASAS J010538– 8003.7, ASAS J182510– 2435.5 and V1980 Sgr. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433(3), 2357-2367.
- Ratajczak, M., Helminiak, K.G., Konacki, M., Smith, A.M.S., Kozłowski, S.K., Espinoza, N. and Hellier, C. 2016. Orbital and physical parameters of eclipsing binaries from the ASAS catalogue–IX. Spotted pairs with red giants. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 461(2), 2234-2249.
- Ribas, I., Fitzpatrick, E.L., Maloney, F.P., Guinan, E.F. and Udalski, A. 2002. Fundamental properties and distances of Large Magellanic Cloud eclipsing binaries. III. EROS 1044. *The Astrophysical Journal*, 574(2), 771.
- Richards, M.T., Mochnacki, S.W. and Bolton, C.T. 1988. Nonsimultaneous multicolor light-curand analysis of Algol (Beta Persei). *The Astronomical Journal*, 96, 326-336.
- Rucinski, S. M. 1969. The proximity effects in close binary systems. II. The bolometric reflection effect for stars with deep conandctiand enandlopes. *Acta Astronomica*, 19, 245.
- Schlafly, Edward F. and Finkbeiner, D.P. 2011. Measuring Reddening with Sloan Digital Sky Surandy Stellar Spectra and Recalibrating SFD. *The Astrophysical Journal*, 737(2), 13.
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P. and Davis, M. 1998. Maps of dust infrared emission for use in estimation of reddening and cosmic microwaand background radiation foregrounds. *The Astrophysical Journal*, 500(2), 525.
- Selam, S. . 2003. Değişen Yıldızların Fotometrik Özellikleri. *Ders Notu*.
- Southworth, J. and Clausen, J.V. 2007. Absolute dimensions of eclipsing binaries-XXIV. The Be star system DW Carinae, a member of the open cluster Collinder 228. *Astronomy and Astrophysics*, 461(3), 1077-1093.
- Southworth, J., Maxted, P. F. L. and Smalley, B. 2004. Eclipsing binaries in open

- clusters—I. V615 Per and V618 Per in h Persei. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 349(2), 547-559.
- Southworth, J., Maxted, P. F. L. and Smalley, B. 2005. Eclipsing binaries as standard candles—HD 23642 and the distance to the Pleiades. *Astronomy and Astrophysics*, 429(2), 645-655.
- Soydugan, F., Frasca, A., Soydugan, E., Catalano, S., Demircan, O. and İbanoğlu, C. 2007. A spectroscopic study of the Algol-type binaries S Equulei and KO Aquilae: absolute parameters and mass transfer. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 379(4), 1533-1545.
- Stromeyer, C.E. 1892. Measurement of Distances of Binary Stars. *Nature*, 47, 199.
- Szalai, T., Kiss, L.L., Mészáros, S., Vinkó, J. and Csizmadia, S. 2007. Physical parameters and multiplicity of faint southern close eclipsing binaries. *Astronomy and Astrophysics*, 465(3), 943-952.
- Terrell, D. and Wilson, R. E. 2005. Photometric mass ratios of eclipsing binary stars. *Astrophysics and Space Science*, 296(1-4), 221-230.
- Terrell, D. of S. S. S. R. I. 2001. ECLIPSING BINARY STARS: PAST, PRESENT, AND FUTURE. *JAAVSO*, 30, 1–15.
- Turcu, V., Pop, A., Marcu, A. and Moldovan, D. 2011. Y Leonis: light curve solution revised and search for photometric variations of the primary minima. *Astrophysics and Space Science*, 331(1), 105-113.
- Ulaş, B., Niarchos, P. G., Lampens, P. and Liakos, A. 2009. The Algol-type eclipsing binaries RW CrB and VZ Leo: new RI photometric study and search for pulsations. *Astrophysics and Space Science*, 319(1), 55-62.
- Van Hamme, W. 1993. New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves. *The Astronomical Journal*, 106, 2096-2117.
- Vilardell, F., Ribas, I. and Jordi, C. 2006. Eclipsing binaries suitable for distance determination in the Andromeda galaxy. *Astronomy and Astrophysics*, 459(1), 321-331.
- Von Zeipel, H. 1924. The radiative equilibrium of a rotating system of gaseous masses. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 84, 665-683.
- Williamson, R.M. and Sowell, J. R. 2012. Orbital Solutions and Absolute Elements of the Eclipsing Binary YY Ceti. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 124(915), 411.
- Williamson, R.M., Sowell, J.R. and Van Hamme, W. 2004. Orbital solutions and absolute elements of the eclipsing binary AY Camelopardalis. *The Astronomical Journal*, 128(3), 1319.
- Wilson, R.E. 2008. Eclipsing binary solutions in physical units and direct distance estimation. *The Astrophysical Journal*, 672(1), 575.
- Wilson, R.E. and Devinney, R.J. 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *ApJ* 166, 605.

- Wronka, M. D., Gold, C., Sowell, J. R. and Williamon, R. M. 2010. Orbital solutions and absolute elements of the eclipsing binary EE Aquarii. *The Astronomical Journal*, 139(4), 1486.
- Zhang, X.B., Luo, Y.P. and Wang, K. 2015. Photometric solution and frequency analysis of the oEA system EW Boo. *The Astronomical Journal*, 149(3), 96.
- Zola, S., Rucinski, S.M., Baran, A., Ogloza, W., Pych, W., Kreiner, J.M. and Siwak, M. 2004. Physical parameters of components in close binary systems: III. *Acta Astronomica*, 54, 299-312.



EKLER

EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç Bilgileri.....	52
EK 2 2004-2017 yılları arası literatür taraması sonucunda belirlenmiş olan sd ve d türü örten çift yıldız sistemleri.....	56
EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri	58
EK 4 Literatürden alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri	69
EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması	70

EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç bilgileri

istem	m_v (m)	$L_1(L_\odot)$	$L_2(L_\odot)$	$L1/L2$	A_v (m)**		π (mas)	Katalog Filtre***	d (pc)
					S&F	SFD			
AC Sct	10.35	121.43	27.43	4.43	1.69	1.96	1.23 ±0.28	G , -	909
AC Tau	11.09	12.56	5.84	2.15	0.33	0.38	1.61 ±0.43	G , -	-
AD Her	9.68	40.39	17.16	2.35	0.8	0.93	1.61 ±0.27	G , V	-
AE Cyg	11.37	16.79	0.52	32.29	0.57	0.66	1.75 ±0.25	G , -	-
AQ Mon	10.5	12.63	11.35	1.11	1.32	1.54	1.8 ±0.28	G , -	588
AQ Peg	10.47	39.83	15.34	2.6	0.31	0.36	1.17 ±0.24	G , V	-
AQ Tau	11.14	14.88	5.64	2.64	2.26	2.62	3.68 ±0.56	G , -	1111
AR Mon	8.79	46.8	41.7	1.12	0.89	1.03	2.48 ±0.28	G , -	-
AS Eri	8.3	11.48	2.95	3.89	0.13	0.15	5.06 ±0.51	G , V	292
AS Mon	10.58	74.13	17.85	4.15	1.26	1.46	1.46 ±0.27	G , -	1111
AT Cir	7.62	37.42	27.51	1.36	1.52	1.77	6.13 ±0.29	G , -	-
AT Peg	9.02	15.91	1.12	14.21	0.18	0.21	3.64 ±0.31	G , V	360
AU Lac	11.81	11.38	5.43	2.1	0.69	0.8	1.6 ±0.28	G , -	-
AU Mon	8.43	1445	117	12.35	1.9	2.21	1.48 ±0.31	G , V	-
AV Del	11.77	4.05	2.1	1.93	0.23	0.26	1.33 ±0.93	G , -	-
AW Peg	7.65	64.61	39.72	1.63	0.15	0.18	4.73 ±0.25	G , V	-
AW Vul	11.4	11.44	4.89	2.34	1.1	1.27	1.96 ±0.71	G , -	625
AY Gem	10.54	46.63	15.85	2.94	1.14	1.33	0.73 ±0.67	G , -	-
BC Her	11.53	42.3	13.23	3.2	1.37	1.6	0.97±0.29	G , -	-
Beta Per	2.12	138.27	3.87	35.73	0.4	0.47	36.27 ±1.4	H , V	278
BI Del	10.6	3.49	3.37	1.04	0.26	0.3	2.69 ±0.64	G , -	-
BL Tel	7.1	1758.06	2648.83	0.66	0.21	0.24	0.77 ±0.37	G , -	-
BO Gem	11.73	53.85	5.5	9.79	1.98	2.3	1.48 ±0.27	G , -	-
BP Vul	9.95	10.35	4.78	2.17	0.63	0.73	2.4 ±0.29	G , -	435
BQ Sgr	9.57	60.56	11.98	5.06	0.33	0.38	1.85 ±0.6	G , -	769
BT Pav	10.81	9.59	9.76	0.98	0.14	0.16	2.05 ±0.58	G , -	667
BZ Cas	11.3	42.73	18.8	2.27	2.71	3.15	0.67±0.73	G , -	-
CG Cyg	0	0.55	0.31	1.77	1.15	1.33	9.44 ±0.54	G , V	63
CO And	10.77	1.63	2.33	0.7	0.31	0.36	3.09 ±0.27	G , -	-

EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç bilgileri (devam)

CP And	12.28	23.47	14.66	1.6	0.29	0.34	0.53 ±0.3	G , -	-
DG Lac	11.1	19.43	10.7	1.82	1.52	1.76	2.59 ±0.38	G , -	-
DI Peg	9.51	3.16	0.68	4.65	0.18	0.21	5.22 ±1.51	H , V	-
DO Cas	8.54	26.82	2.15	12.47	3.91	4.54	4.29±0.55	G , V	-
DT Lup	10.66	36.9	6.46	5.71	1.15	1.33	2.1 ±0.39	G , -	667
DX Vel	10.66	12.46	2.26	5.51	1.88	2.19	2.92 ±0.4	G , -	294
EK Cep	7.89	14.79	1.55	9.54	2.24	2.61	5.32 ±0.31	G , 4400A	-
EQ Ori	10.47	26.84	3.85	6.97	0.11	0.12	1.38 ±0.3	G , -	714
ET Ori	10.74	2.45	2.28	1.07	0.2	0.23	2.98 ±0.27	G , -	278
EY Ori	9.49	29.53	34.82	0.85	0.35	0.41	2.24 ±0.26	G , -	667
FH Ori	11.37	37.2	10.64	3.5	0.33	0.39	0.99 ±0.48	G , -	909
FN Her	11.08	10.51	6.38	1.65	0.19	0.22	1.59 ±0.26	G , -	-
FP Car	9.92	11598.95	4334.87	2.68	6.16	7.17	0.92 ±0.44	G , -	-
FW Mon	9.97	118.29	51.58	2.29	0.41	0.48	0.69 ±0.39	G , -	1000
FZ Del	10.35	1.96	0.92	2.13	0.22	0.26	3.69 ±0.32	G , -	-
HO Mon	11.48	21.15	13.62	1.55	0.78	0.91	1.32 ±0.29	G , -	833
KO Aql	8.4	57.54	1.95	29.51	1.26	1.46	3.8 ±0.31	G , V	-
KQ Car	10.42	102.04	45.27	2.25	0.7	0.82	1.05 ±0.37	G , -	-
Lambda Tau	3.41	3801.9	102.3	37.16	0.76	0.88	6.74 ±0.17	H , V	-
MX Her	11.85	11.88	6.7	1.77	0.11	0.13	1 ±0.38	G , -	-
R Ara	6.65	79.91	16.61	4.81	0.79	0.92	4.63 ±0.82	G , V	-
R CMa	5.7	5.75	0.39	14.74	3.25	3.78	23.38 ±0.54	H , U,B,V	-
RR Vul	9.91	21.24	14.09	1.51	0.45	0.52	1.86 ±0.29	G , -	556
RS Sgr	6.03	940.03	62.13	15.13	0.4	0.46	2.93 ±0.45	H , -	-
RT CMa	11.16	3.08	1.88	1.64	0.37	0.43	3.69 ±0.39	G , -	-
RU Cnc	10.2	3.97	1.43	2.78	0.11	0.13	2.64 ±0.25	G , -	-
RV Lib	9.17	18.81	11.99	1.57	0.23	0.27	3.01 ±0.38	G , -	333
RV Per	10.9	46.19	3.11	14.85	0.93	1.08	1.11 ±0.28	G , -	1000
RV Pic	9.67	13.03	7.84	1.66	0.02	0.03	2.26 ±0.28	G , -	500
RW Ara	8.97	26.86	9.62	2.79	0.24	0.28	2.7 ±0.31	G , V	-
RW CrB	10.22	6.03	0.35	17.23	0.06	0.07	3.55 ±0.23	G , V	-
RX Hya	9.56	8.77	2.1	4.18	0.15	0.17	3.8 ±0.33	G , V	-
RY Eri	10.33	5.75	5.4	1.06	0.09	0.1	3.06 ±0.22	G , V	-
RY Gem	8.68	33.9	8.7	3.9	0.23	0.27	2.74 ±0.35	G , V	350
RY Per	8.63	1621.8	95.5	16.98	0.71	0.82	0.81 ±0.31	G , V	840
RZ Cas	6.26	13.18	1.45	9.09	5.64	6.56	14.99 ±0.34	G , U,B,V	73

EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç bilgileri
(devam)

RZ Cnc	8.67	32.78	27.58	1.19	0.13	0.16	2.42 ±0.31	G , V/y	-
SS Cet	9.4	33.29	2.77	12.02	0.18	0.21	2.02 ±0.35	G , -	-
SS Lib	10.47	21.64	13.9	1.56	0.43	0.5	1.63 ±0.4	G , -	-
SU Cen	9.22	30.11	5.16	5.84	0.35	0.41	2.19 ±0.37	G , -	370
SU For	10.15	34.16	9.49	3.6	0.07	0.08	1.77 ±0.3	G , -	-
SX Cas	8.96	104.58	107.37	0.97	0.99	1.15	1.36 ±0.26	G , -	-
SX Hya	8.83	10.19	1.97	5.17	0.16	0.19	4.02 ±0.3	G , -	-
SX Psc	10.76	6.07	3.41	1.78	0.21	0.25	2 ±0.47	G , -	455
SZ Her	10.05	11.75	2.34	5.02	0.09	0.11	3.83 ±0.26	G , V	-
TT Hya	7.31	22.13	12.64	1.75	0.15	0.17	4.91 ±0.38	G , V	-
TT Lyr	10.88	85	20	4.25	0.32	0.37	0.38 ±0.29	G , 5310A	-
TT Vel	10.68	16.3	6.46	2.52	0.72	0.83	1.87 ±0.46	G , -	588
TV Cas	7.22	100	6.6	15.15	2.21	2.57	6.32 ±0.83	H , V	275
TW Dra	7.46	21.38	3.16	6.77	0.05	0.06	5.9 ±0.24	G , V	-
TW Lac	11.85	45.27	21.07	2.15	2.07	2.41	1.36 ±0.29	G , -	-
TX UMa	6.98	199.5	14.79	13.49	0.06	0.07	5.31 ±0.94	G , -	256
TY Cap	10.36	28.92	1.19	24.3	0.14	0.16	1.95 ±0.55	G , -	-
TY Del	10.08	64.48	6.71	9.61	0.25	0.3	1.37 ±0.49	G , -	-
TY Lyn	9.94	47.93	15.27	3.14	0.16	0.18	1.68 ±0.27	G , -	769
TZ Dra	9.33	14.14	2.52	5.61	0.11	0.13	3.96 ±0.25	G , -	-
TZ Eri	9.61	2.18	0.62	3.52	0.14	0.16	3.27±0.34	G , V	-
U Gru	11.22	17.12	2.54	6.74	0.05	0.06	1.45 ±0.44	G , -	-
UU And	11.72	7.6	1.03	7.38	0.15	0.17	1.26 ±0.6	G , -	-
UV Mus	10.59	46.9	34.03	1.38	2.29	2.66	1.91 ±0.34	G , -	909
UW Vir	9.13	15.67	1.69	9.27	0.22	0.26	3.92 ±0.3	G , -	303
UX Her	8.97	1.34	0.09	14.89	0.28	0.32	3.89 ±0.26	G , 5500A	-
UY Vir	7.99	23.54	11.5	2.05	0.25	0.29	8.27 ±0.85	H , -	286
UZ Lyr	10.4	58.71	2.76	21.27	0.46	0.53	1.13 ±0.3	G , -	833
V Tri	10.96	10.62	2.22	4.78	0.16	0.18	2.09 ±0.35	G , V	-
V338 Her	10.2	9.21	0.89	10.35	0.08	0.09	2.58 ±0.22	G , V	-
V356 Sgr	6.99	1224.36	405.36	3.02	0.93	1.09	1.15 ±0.37	G , V	-
V359 Her	10.03	13.75	7.4	1.86	0.05	0.05	2 ±0.24	G , -	-
V501 Oph	11.22	17.5	7.19	2.43	0.48	0.56	0.92±0.33	G , -	-
V505 Sgr	6.48	25.7	3.02	8.51	0.45	0.53	8.4 ±0.57	H , -	-
V524 Sgr	10.81	7.05	5.25	1.34	0.45	0.52	2.08 ±0.43	G , -	476
V548 Cyg	8.61	112.2	5.55	20.22	0.57	0.66	1.85 ±0.28	G , 5150A	-

EK 1 Budding vd. (2004)'den seçilmiş örten çift sistemlere ait başlangıç bilgileri (devam)

V646 Cen	9.12	66.69	15.08	4.42	0.57	0.66	1.66 ±0.31	G , -	588
V687 Cyg	10.31	30.91	12.23	2.53	0.83	0.97	2.34 ±0.63	G , -	-
V959 Cyg	11.67	40.75	18.97	2.15	2.32	2.69	1.76 ±0.35	G , -	-
VW Hya	10.85	42.64	7.26	5.87	0.14	0.16	0.45±0.54	G , -	-
VX Lac	10.51	6.6	2.16	3.06	0.29	0.34	1.92 ±0.37	G , -	-
VY Mic	9.54	25.99	13.98	1.86	0.18	0.2	1.66 ±0.36	G , -	333
VZ Leo	11.56	11.39	1.16	9.82	0.09	0.1	1.74 ±0.71	G , -	417
X Gru	10.62	35.48	3.02	11.75	0.04	0.05	1.47 ±0.27	G , V	-
X Pic	10.89	16.53	3.65	4.53	0.04	0.04	1.28 ±0.28	G , V	667
XY Pup	9.32	56.43	20.74	2.72	0.21	0.25	1.97 ±0.42	G , -	714
XZ And	9.93	37.15	4.79	7.76	0.16	0.19	1.92 ±0.46	G , 5310A	-
XZ Sgr	8.94	6.92	3.52	1.97	1.51	1.76	5.61 ±0.44	G , -	-
Z Per	10.06	33.19	10.62	3.13	0.2	0.24	1.76 ±0.33	G , -	769
ZZ Cnc	8.91	39.93	76.41	0.52	0.06	0.07	1.76 ±0.27	G , -	-
ZZ Cyg	10.98	2.19	2.34	0.94	3.4	3.95	4.11 ±0.3	G , V	-
ZZ Pup	9.29	39.44	21.62	1.82	1.31	1.52	2.59 ±0.34	G , -	476
ZZ Sgr	10.04	58.74	5.08	11.56	0.24	0.28	1.39 ±0.54	G , -	1000

**A_v değerinin belirlenmesinde, S&F, Schlafly ve Finkbeiner (2011), SFD ise Schlegel vd. (1998)'i göstermektedir.

***G : Gaia, H : Hipparcos

EK 2 2004-2017 yılları arası literatür taraması sonucunda belirlenmiş olan sd ve d türü örten çift yıldız sistemleri

Sistem	m_v (m)	$L_1(L_\odot)$	$L_2(L_\odot)$	L_1/L_2	A_v (m)**		π (mas)	Katalog Filtre***	d (pc)
					S&F	SFD			
ASAS J010538-8003.7	10.25	0.53 $\pm$ 0.08	0.43 $\pm$ 0.07	1.23	0.16	0.19	2.66 $\pm$ 0.28	G, V	-
ASAS J045304-0700.4	11.13	0.16 $\pm$ 0.03	0.12 $\pm$ 0.02	1.33	0.15	0.17	7.65 $\pm$ 0.25	G, V	148
ASAS J082552-1622.8	10.29	19.05 $\pm$ 0.27	11.01 $\pm$ 0.16	1.73	0.18	0.2	21.83 $\pm$ 2.25	H, V	44
AY Cam	9.72	17.57	8.58	2.05	0.08	0.09	2.04 $\pm$ 0.22	G, V	-
CF Pup	10.29	11.8	5.3	2.23	0.09	0.11	1.84 $\pm$ 0.25	G, V	506
CM Lac	8.21	1.56 $\pm$ 0.15	1.52 $\pm$ 0.37	1.03	0.97	1.13	4.75 $\pm$ 0.28	G, V	-
Delta Lib	4.93	25.7 $\pm$ 3.55	3.63 $\pm$ 0.5	7.08	0.24	0.28	11.11 $\pm$ 0.6	H, V	-
Delta Sct	4.71	7.94 $\pm$ 0.29	0.42 $\pm$ 0.02	18.9	3.5	4.08	16.11 $\pm$ 0.31	H, V	-
EE Aqr	8.09	10.9	0.4	27.25	0.09	0.1	9.59 $\pm$ 0.28	G, V	118
ER Vul	7.374	17.96 $\pm$ 4.19	13.17 $\pm$ 3.41	1.36	0.68	0.79	19.84 $\pm$ 0.55	G, V	-
EW Boo	10.26	21.63 $\pm$ 0.65	1.45 $\pm$ 0.09	14.92	0.04	0.04	2.23 $\pm$ 0.26	G, V	-
GT Cep	8.25	1983	445	4.46	2.32	2.7	0.69 $\pm$ 0.23	G, V	-
HO Tel	8.31	14.37 $\pm$ 2.14	6.12 $\pm$ 0.82	2.35	0.11	0.13	3.3 $\pm$ 0.52	G, V	282
HY Vir	7.86	4.99 $\pm$ 2.07	3.65 $\pm$ 1.55	1.37	0.07	0.08	5.99 $\pm$ 0.63	H, V	185
IL Lib	7.57	5 $\pm$ 1.47	10.3 $\pm$ 2.54	0.49	0.27	0.31	9.3 $\pm$ 0.25	G, V	103
KIC 10661783	9.53	0.37 $\pm$ 0.06	0.25 $\pm$ 0.01	1.48	0.18	0.21	1.94 $\pm$ 0.26	G, V	-
KO Aql	10.22	104.71 $\pm$ 24.11	7.24 $\pm$ 1.67	14.46	0.06	0.07	3.55 $\pm$ 0.23	G, V	-
QY Hya	9.089	9.6 $\pm$ 47	0.86 $\pm$ 5	11.16	0.2	0.23	19.43 $\pm$ 1.08	H, V	-
QY Tel	9.67	2.63 $\pm$ 0.61	0.51 $\pm$ 0.47	5.16	0.17	0.2	3.31 $\pm$ 0.27	G, V	365
RW CrB	8.37	54.7 $\pm$ 1.3	2.7 $\pm$ 0.2	20.26	0.24	0.28	2.25 $\pm$ 0.33	G, V	390
RZ Cnc	8.67	32.78	27.58	1.19	0.13	0.16	2.42 $\pm$ 0.31	G, V	-
RZ Dra	10.31	21.03	1.93	10.9	0.12	0.14	2.29 $\pm$ 0.24	G, V	-
S Equ	6.48	9.04 $\pm$ 0.86	6.87 $\pm$ 1.02	1.32	0.45	0.53	8.4 $\pm$ 0.57	G, V	112
U Cep	8.6	5.55 $\pm$ 1.67	15.03 $\pm$ 1.51	0.37	0.02	0.03	5.94 $\pm$ 0.24	G, V	590
V1010 Oph	6.19	7.6 $\pm$ 0.06	9.65 $\pm$ 0.13	0.79	3.94	4.58	13.61 $\pm$ 0.58	G, V	-
V1200 Cen	8.5	3.24 $\pm$ 0.45	3.72 $\pm$ 0.51	0.87	0.18	0.21	8.43 $\pm$ 0.94	H, V	98
V1207 Cen	10.709	79 $\pm$ 11	69 $\pm$ 9	1.14	0.21	0.24	2.78 $\pm$ 0.25	G, V	-
V349 Ara	8.58	51.06	73.99	0.69	0.6	0.7	1.6 $\pm$ 0.39	G, V	677
V380 CAS	10.49	4.9 $\pm$ 0.58	8.95 $\pm$ 1.08	0.55	0.97	1.13	0.95 $\pm$ 0.34	G, V	-
V4403 Sgr	8.62	7.26 $\pm$ 0.03	2.69 $\pm$ 0.02	2.7	0.38	0.44	4.95 $\pm$ 1.01	H, V	199
V505 Sgr	6.92	4.89 $\pm$ 0.07	5.43 $\pm$ 0.05	0.9	0.66	0.77	4.91 $\pm$ 0.29	H, V	-

EK 2 2004-2017 yılları arası literatür taraması sonucunda belirlenmiş olan sd ve d türü örten çift yıldız sistemleri (devam)

V753 Mon	8.27	10.49 ±1.35	3.61 ±0.45	2.91	0.81	0.94	5.77 ±0.42	G, V	-
V868 Mon	9.31	12.25 ±0.9	1.61 ±0.12	7.61	0.25	0.29	3.13 ±0.31	G, V	-
Y Cam	10.6	20.89	3.24	6.45	0.1	0.16	0.82±0.3	G, V	-
Y Leo	10.07	6.96	3.89	1.79	0.05	0.06	2.5 ±0.26	G, V	-
YY Ceti	10.68	12.25	1.61	7.61	0.06	0.07	2.25 ±0.55	G, V	

**A_v değerinin belirlenmesinde, S&F, Schlafly ve Finkbeiner (2011), SFD ise Schlegel vd. (1998)'i göstermektedir.

***G : Gaia, H : Hipparcos

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri

Sistem	$q_{ph}^{(a)}$	$q_{türü}$	Roche Türü
AC Sct	0.5 (q_{ph})	-	SD
	-	0.25 (q_{SD})	SD
	-	0.47 (q_{MS})	SD
AC Tau	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.52 (q_{SD})	SD
	-	0.68 (q_{MS})	SD
AD Her	0.36 (q_{ph})	-	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	0.33 (q_{ph})	0.35 (q_{sp})	SD
	-	0.4 (q_{MS})	SD
AE Cyg	0.39 (q_{ph})	-	SD
	-	0.6 (q_{MS})	SD
	-	1 (q_{SD})	SD
AQ Mon	0.78 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15 (q_{SD})	SD
	-	0.95 (q_{MS})	SD
AQ Peg	0.12 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{SD})	SD
	-	0.21	SD
	-	0.22 (q_{MS})	SD
	-	0.3396	SD
AQ Tau	0.25 (q_{ph})	-	SD
	-	0.42 (q_{SD})	SD
	-	0.48 (q_{MS})	SD
AR Mon	-	0.11 (q_{SD})	SD
	-	0.43 (q_{MS})	SD
AS Eri	0.11 (q_{ph})	-	SD
	0.13 (q_{ph})	-	SD
	-	0.11 (q_{MS})	SD
	-	0.11 (q_{SD})	SD
AS Mon	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.58 (q_{SD})	SD
	-	0.68 (q_{MS})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

AT Cir	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.83 (q_{MS})	SD
AT Peg	0.41 (q_{ph})	-	SD
	-	0.4 (q_{SD})	SD
	-	0.41	SD
	-	0.47	SD
	-	0.48	SD
	-	0.52 (q_{MS})	SD
AU Lac	0.5 (q_{ph})	-	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD
	-	0.79 (q_{MS})	SD
AU Mon	0.1985 (q_{ph})	-	SD
	-	0.26 (q_{SD})	SD
	-	0.295 (q_{sp})	SD
	-	0.52 (q_{MS})	SD
AV Del	0.21 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.62 (q_{MS})	SD
AW Peg	0.17 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.16	SD
	-	0.16 (q_{MS})	SD
AW Vul	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.73 (q_{MS})	SD
	-	0.84 (q_{SD})	SD
AY Gem	0.1 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.51 (q_{MS})	SD
BC Her	0.26 (q_{ph})	-	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
Beta Per	-	0.217 (q_{sp})	SD
	-	0.22 (q_{MS})	SD
	-	0.23 (q_{SD})	SD
BI Del	0.12 (q_{ph})	-	SD
	-	0.02 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

BL Tel	-	0.11 (q_{SD})	SD
	-	0.36 (q_{MS})	SD
BO Gem	0.17 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.72 (q_{MS})	SD
BP Vul	0.15 (q_{ph})	-	SD
	-	0.04	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.14 (q_{MS})	SD
BQ Sgr	0.27 (q_{ph})	-	SD
	-	0.1 (q_{SD})	SD
	-	0.25 (q_{MS})	SD
BT Pav	0.22 (q_{ph})	-	SD
	-	0.7 (q_{MS})	SD
	-	0.73 (q_{SD})	SD
BZ Cas	0.31 (q_{ph})	-	SD
	0.32 (q_{ph})	-	SD
	-	0.5 (q_{SD})	SD
	-	0.68 (q_{MS})	SD
CG Cyg	0.393 (q_{ph})	-	SD
	0.411 (q_{ph})	-	SD
	0.89 (q_{ph})	-	SD
	-	0.63 (q_{MS})	SD
	-	1 (q_{SD})	SD
	-	1.03 (q_{sp})	SD
CO And	0.41 (q_{ph})	-	SD
	-	0.42 (q_{SD})	SD
	-	0.69 (q_{MS})	SD
CP And	0.16 (q_{ph})	-	SD
	-	0.16 (q_{SD})	SD
	-	0.62 (q_{MS})	SD
DG Lac	0.32 (q_{ph})	-	SD
	-	0.35 (q_{SD})	SD
	-	0.78 (q_{MS})	SD
DI Peg	0.34 (q_{ph})	-	SD
	-	0.3	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.63 (q_{SD})	SD
DO Cas	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.11 (q_{SD})	SD
	-	0.3 (q_{MS})	SD
DT Lup	0.45 (q_{ph})	-	SD
	-	0.16 (q_{SD})	SD
	-	0.44 (q_{MS})	SD
DX Vel	0.15 (q_{ph})	-	SD
	-	0.11 (q_{SD})	SD
	-	0.61 (q_{MS})	SD
EK Cep	0.48 (q_{ph})	-	SD
	-	0.01 (q_{SD})	SD
	-	0.56 (q_{MS})	SD
EQ Ori	0.26 (q_{ph})	-	SD
	-	0.12 (q_{SD})	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
ET Ori	0.45 (q_{ph})	-	SD
	-	0.77 (q_{MS})	SD
	-	1 (q_{SD})	SD
EY Ori	0.5 (q_{ph})	-	SD
	-	0.09 (q_{SD})	SD
	-	0.83 (q_{MS})	SD
FH Ori	0.34 (q_{ph})	-	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD
	-	0.68 (q_{MS})	SD
FN Her	0.31 (q_{ph})	-	SD
	-	0.06 (q_{SD})	SD
	-	0.74 (q_{MS})	SD
FP Car	0.26 (q_{ph})	-	SD
	-	0.01 (q_{SD})	SD
	-	0.48 (q_{MS})	SD
FW Mon	0.36 (q_{ph})	-	SD
	-	0.43 (q_{SD})	SD
	-	0.45 (q_{MS})	SD
FZ Del	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.12 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.7 (q_{MS})	SD
HO Mon	0.13 (q_{ph})	-	SD
	-	0.12 (q_{SD})	SD
	-	0.81 (q_{MS})	SD
KO Aql	0.19 (q_{ph})	-	SD
	0.293 (q_{ph})	-	SD
	-	0.05 (q_{SD})	SD
	-	0.2 (q_{MS})	SD
KQ Car	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
	-	0.73 (q_{SD})	SD
Lambda Tau	0.27	-	SD
	-	0.24 (q_{MS})	SD
	-	0.27 (q_{SD})	SD
	-	0.13	SD
MX Her	0.33 (q_{ph})	-	SD
	-	0.13 (q_{SD})	SD
	-	0.62 (q_{MS})	SD
R Ara	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.03 (q_{SD})	SD
	-	0.35 (q_{sp})	SD
	-	0.38 (q_{MS})	SD
R CMa	0.13 (q_{ph})	-	SD
	0.15 (q_{ph})	-	SD
	0.157 (q_{ph})	-	SD
	-	0.16 (q_{MS})	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	0.158 (q_{ph})	0.17 (q_{sp})	SD
RR Vul	0.15 (q_{ph})	-	SD
	-	0.12 (q_{SD})	SD
	-	0.65 (q_{MS})	SD
RS Sgr	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD
	-	0.5 (q_{MS})	SD
RT CMa	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.62 (q_{MS})	SD
RU Cnc	0.46 (q_{ph})	-	SD
	-	0.39 (q_{MS})	SD
RV Lib	-	0.11 (q_{SD})	SD
	-	0.77 (q_{MS})	SD
RV Per	0.21 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15 (q_{MS})	SD
	-	1 (q_{SD})	SD
RV Pic	0.11 (q_{ph})	-	SD
	-	0.06 (q_{SD})	SD
	-	0.54 (q_{BD})	SD
RW Ara	0.2 (q_{ph})	-	SD
	-	0.3 (q_{MS})	SD
	-	0.69 (q_{SD})	SD
RW CrB	0.22 (q_{ph})	-	SD
	0.31 (q_{ph})	-	SD
	-	0.25 (q_{MS})	SD
RX Hya	0.27 (q_{ph})	-	SD
	-	0.24	SD
	-	0.25 (q_{MS})	SD
	-	0.28 (q_{SD})	SD
RY Eri	0.24 (q_{ph})	-	SD
	-	0.1 (q_{SD})	SD
	-	0.69 (q_{MS})	SD
RY Gem	0.1925 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD
	-	0.24 (q_{MS})	SD
RY Per	0.256 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{MS})	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD
RZ Cas	0.34 (q_{ph})	-	SD
	0.35 (q_{ph})	-	SD
	0.33 (q_{ph})	0.331 (q_{sp})	SD
	-	0.34 (q_{MS})	SD
	-	0.35 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

RZ Cnc	0.23 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15 (q_{MS})	SD
	-	0.17 (q_{sp})	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD
SS Cet	0.25 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{MS})	SD
	-	0.21 (q_{SD})	SD
SS Lib	0.62 (q_{ph})	-	SD
	-	0.83 (q_{MS})	SD
	-	0.83 (q_{SD})	SD
SU Cen	0.19 (q_{ph})	-	SD
	-	0.13 (q_{SD})	SD
	-	0.3 (q_{MS})	SD
SU For	0.17 (q_{ph})	-	SD
	-	0.12 (q_{SD})	SD
	-	0.49 (q_{MS})	SD
SX Cas	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.1 (q_{SD})	SD
	-	0.3 (q_{MS})	SD
	-	0.4	SD
SX Hya	0.29 (q_{ph})	-	SD
	-	0.35 (q_{MS})	SD
	-	0.35 (q_{SD})	SD
SX Psc	0.28 (q_{ph})	-	SD
	-	0.62 (q_{MS})	SD
	-	0.74 (q_{SD})	SD
SZ Her	0.39 (q_{ph})	-	SD
	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.43 (q_{SD})	SD
	-	0.64 (q_{MS})	SD
TT Hya	0.2 (q_{ph})	-	SD
	-	0.16 (q_{SD})	SD
	-	0.36 (q_{MS})	SD
TT Lyr	0.27 (q_{ph})	-	SD
	-	0.32 (q_{SD})	SD
	-	0.55 (q_{MS})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

TT Vel	0.15 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15 (q_{SD})	SD
	-	0.48 (q_{MS})	SD
TV Cas	0.44 (q_{ph})	-	SD
	0.47 (q_{ph})	-	SD
	-	0.36 (q_{SD})	SD
	-	0.41	SD
	0.4 (q_{ph})	0.47 (q_{sp})	SD
	-	0.56 (q_{MS})	SD
TW Dra	0.42 (q_{ph})	-	SD
	0.47 (q_{ph})	-	SD
	-	0.43 (q_{MS})	SD
	-	0.47 (q_{SD})	SD
	-	0.53	SD
TW Lac	0.26 (q_{ph})	-	SD
	-	0.35 (q_{SD})	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
TX UMa	-	0.3 (q_{MS})	SD
	-	0.31 (q_{SD})	SD
TY Cap	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.38 (q_{SD})	SD
	-	0.82 (q_{MS})	SD
TY Del	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.4 (q_{MS})	SD
	-	0.4 (q_{SD})	SD
TY Lyn	0.11 (q_{ph})	-	SD
	-	0.09 (q_{SD})	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
TZ Dra	0.35 (q_{ph})	-	SD
	-	0.42 (q_{SD})	SD
	-	0.6 (q_{MS})	SD
TZ Eri	0.34 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08 (q_{SD})	SD
	-	0.68 (q_{MS})	SD
U Gru	0.16 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.25 (q_{MS})	SD
UU And	0.32 (q_{ph})	-	SD
	-	0.25 (q_{MS})	SD
	-	0.4 (q_{SD})	SD
UV Mus	0.25 (q_{ph})	-	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	-	0.74 (q_{MS})	SD
UW Vir	0.22 (q_{ph})	-	SD
	-	0.24 (q_{MS})	SD
	-	0.24 (q_{SD})	SD
UX Her	0.21 (q_{ph})	-	SD
	0.25 (q_{ph})	-	SD
	-	0.16 (q_{SD})	SD
	-	0.3 (q_{MS})	SD
UY Vir	0.28 (q_{ph})	-	SD
	-	0.69 (q_{MS})	SD
UZ Lyr	0.25 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{MS})	SD
	-	0.34 (q_{SD})	SD
V Tri	0.23 (q_{ph})	-	SD
	-	0.42 (q_{SD})	SD
	-	0.6 (q_{MS})	SD
V338 Her	0.28 (q_{ph})	-	SD
	-	0.18 (q_{SD})	SD
	-	0.5 (q_{MS})	SD
V356 Sgr	0.38 (q_{ph})	-	SD
	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD
	-	0.38 (q_{MS})	SD
V359 Her	0.32 (q_{ph})	-	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	-	0.86 (q_{MS})	SD
V501 Oph	0.52 (q_{ph})	-	SD
	-	0.47 (q_{MS})	SD
	-	1 (q_{SD})	SD
V505 Sgr	-	0.51 (q_{MS})	SD
	-	0.51 (q_{SD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.52 (q_{sp})	SD
V524 Sgr	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.7 (q_{MS})	SD
V548 Cyg	0.33 (q_{ph})	-	SD
	0.29 (q_{ph})	0.22 (q_{sp})	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD
	-	0.53	SD
	-	0.73 (q_{MS})	SD
V646 Cen	0.28 (q_{ph})	-	SD
	-	0.23 (q_{SD})	SD
	-	0.47 (q_{MS})	SD
V687 Cyg	0.12 (q_{ph})	-	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	-	0.52 (q_{MS})	SD
V959 Cyg	0.37 (q_{ph})	-	SD
	-	0.29 (q_{SD})	SD
	-	0.69 (q_{MS})	SD
VW Hya	0.19 (q_{ph})	-	SD
	-	0.14 (q_{SD})	SD
	-	0.75 (q_{MS})	SD
VX Lac	0.32 (q_{ph})	-	SD
	-	0.13 (q_{SD})	SD
	-	0.73 (q_{MS})	SD
VY Mic	0.13 (q_{ph})	-	SD
	-	0.19 (q_{SD})	SD
	-	0.82 (q_{MS})	SD
VZ Leo	0.38 (q_{ph})	-	SD
	-	0.81 (q_{MS})	SD
	-	0.82 (q_{SD})	SD
X Gru	0.24 (q_{ph})	-	SD
	0.29 (q_{ph})	-	SD
	-	0.08	SD
	-	0.27 (q_{SD})	SD
	-	0.81 (q_{MS})	SD
X Pic	0.56 (q_{ph})	-	SD
	0.68 (q_{ph})	-	SD
	-	0.4 (q_{BD})	SD

EK 3 Budding vd. (2004)'den alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri (devam)

	-	0.75 (q_{SD})	SD
XY Pup	0.42 (q_{ph})	-	SD
	-	0.13 (q_{sp})	SD
	-	0.17 (q_{SD})	SD
	-	0.25 (q_{MS})	SD
XZ And	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.51 (q_{SD})	SD
	-	0.69 (q_{MS})	SD
XZ Sgr	0.14 (q_{ph})	-	SD
	-	0.1 (q_{SD})	SD
	-	0.12 (q_{MS})	SD
Z Per	0.4 (q_{ph})	-	SD
	-	0.2 (q_{MS})	SD
	-	0.23 (q_{SD})	SD
ZZ Cnc	0.18 (q_{ph})	-	SD
	-	0.05 (q_{SD})	SD
	-	0.76 (q_{MS})	SD
ZZ Cyg	0.46 (q_{ph})	-	SD
	0.5 (q_{ph})	-	SD
	0.54 (q_{ph})	-	SD
	-	0.52 (q_{SD})	SD
	-	0.55 (q_{MS})	SD
	-	1	SD
ZZ Pup	0.15 (q_{ph})	-	SD
	-	0.1 (q_{SD})	SD
	-	0.67 (q_{MS})	SD
ZZ Sgr	0.3 (q_{ph})	-	SD
	-	0.15 (q_{MS})	SD
	-	0.22 (q_{SD})	SD

^(a) q_{ph} : Fotometrik kütle oranı, q_{SD} :Yarı-ayrık sistemler kabulü altında ulaşılmış kütle oranı, q_{MS} : Birinci bileşenin radyal hız eğrisi ile ulaşılmış kütle oranı, q_{BD} : Brancewicz ve Dworak (1980)'dan alınan, iteratif yöntemlerle elde edilmiş kütle oranı, q_{sp} : Her iki bileşene ait radyal hız eğrileri ile ulaşılmış kütle oranı.

EK 4 Literatürden alınan sistemlere ait Roche geometrisi ve kütle oranı bilgileri

Sıra No	Sistem	$q_{\text{türü}}$	Roche Türü	Referans
1	ASASJ010538-8003.7	q_{sp}	D	Ratajczak vd., 2013
2	ASASJ045304-0700.4	q_{sp}	D	Hełminiak vd., 2011
3	ASASJ082552-1622.8	q_{sp}	D	Hełminiak vd., 2011
4	AY Cam	q_{sp}	D	Williamon ve Sowell 2004
5	CF Puppis	q_{sp}	D	Barblan vd., 2004
6	CM Lac	q_{sp}	D	Liakos ve Niarchos 2012
7	delta Librae	q_{sp}	D	Lazaro vd., 2002
8	delta Scuti	q_{sp}	SD	Christiansen vd., 2007
9	EE Aqr	q_{sp}	SD	Wronka vd., 2010
10	ER Vul	q_{sp}	D	Duemmler vd., 2003
11	EW Boo	q_{sp}	SD	Zhangvd., 2015
12	GT Cep	q_{sp}	D	Cakirli 2014
13	HO Tel	q_{sp}	D	Sürgit vd., 2017
14	HY Vir	q_{sp}	D	Martínez-Pais vd., 2008
15	IL Lib	q_{sp}	D	Özkardeş 2017
16	KIC 10661783	q_{sp}	SD	Lehmann vd., 2013
17	KO Aql	q_{sp}	D	Soydugan vd., 2007
18	QY Hya	q_{sp}	SD	Szalai vd., 2007
19	QY Tel	q_{sp}	D	Erdem vd., 2016
20	RW CrB	q_{sp}	D	Ulaş vd., 2009
21	RZ Cnc	q_{sp}	SD	Wilson 2008
22	RZ Dra	q_{sp}	SD	Niarchos vd., 2005
23	S Equ	q_{sp}	D	Soydugan vd., 2007
24	U Cep	q_{sp}	D	Manzoori 2008
25	V1010 Oph	q_{sp}	SD	Niarchos vd., 2005
26	V1200 Cen	q_{sp}	D	Coronado vd., 2015
27	V1207 Cen	q_{sp}	D	Ratajczak vd., 2016
28	V349 Ara	q_{sp}	D	Erdem vd., 2015
29	V380 CAS	q_{sp}	D	Christopoulou vd., 2012
30	V4403 Sgr	q_{sp}	D	Erdem vd., 2015
31	V505 Sgr	q_{sp}	D	Lázaro vd., 2006
32	V753 Mon	q_{sp}	SD	Zola vd., 2004
33	V868 Mon	q_{sp}	SD	Deb ve Singh 2011
34	Y Cam	q_{sp}	D	Hong vd., 2015
35	Y Leo	q_{sp}	SD	Turcu vd., 2010
36	YY Ceti	q_{sp}	SD	Williamon ve Sowell 2012

EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması

Sıra No	Sistem	M_{bol} (m)	d_{tri} (pc)	$d_{dinamik}$ (pc)		σd (pc)	
				S&F	SFD	tri	S&F
1	AC Sct	-0.69	814	535	472	188	-
2	AC Tau	1.58	623	611	596	168	-
3	AD Her	0.34	622	443	418	104	-
4	AE Cyg	1.64	572	588	563	81	-
5	AQ Mon	1.29	557	306	277	87	-
6	AQ Peg	0.39	856	762	745	178	-
7	AQ Tau	1.46	272	265	224	41	-
8	AR Mon	-0.13	404	283	265	45	-
9	AS Eri	1.84	198	149	148	20	-
10	AS Mon	-0.17	685	640	582	128	-
11	ASAS J010538-8003.7	4.78	375	513	507	39	65
12	ASAS J045304-0700.4	6.12	131	133	131	4	21
13	ASAS J082552-1622.8	1.05	46	37	36	5	10
14	AT Cir	0.21	163	131	117	8	-
15	AT Peg	1.66	275	229	225	24	-
16	AU Lac	1.68	626	671	637	111	-
17	AU Mon	-3.24	678	427	371	141	-
18	AV Del	2.77	751	491	483	522	-
19	AW Peg	-0.31	212	315	311	11	-
20	AW Vul	1.71	511	467	430	187	-
21	AY Cam	1.2	491	425	422	54	6
22	AY Gem	0.25	1369	547	502	1256	-
23	BC Her	0.38	1031	765	690	314	-
24	Beta Per	-0.64	28	19	18	1	-
25	BI Del	2.65	371	296	290	88	-
26	BL Tel	-4.37	1300	1638	1612	632	-
27	BO Gem	0.31	676	655	565	123	-
28	BP Vul	1.79	416	277	264	51	-
29	BQ Sgr	0.09	541	533	520	176	-
30	BT Pav	1.52	488	586	580	137	-
31	BZ Cas	0.27	1483	374	305	1612	-

EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması (devam)

32	CF Pup	1.66	544	608	604	74	-
33	CG Cyg	4.9	106	1	1	6	-
34	CM Lac	3.52	211	110	102	12	-
35	CO And	3.25	324	239	234	29	-
36	CP And	0.79	1885	1509	1477	1084	-
37	delta Lib	1.07	90	94	92	5	-
38	delta Sct	2.43	62	6	5	1	-
39	DG Lac	1.04	385	443	395	57	-
40	DI Peg	3.28	192	160	158	55	-
41	DO Cas	1.09	233	43	32	30	-
42	DT Lup	0.65	475	480	440	88	-
43	DX Vel	1.82	343	214	185	47	-
44	EE Aqr	2.11	104	116	115	3	5
45	EK Cep	1.71	188	50	42	11	-
46	EQ Ori	1.02	724	597	593	160	-
47	ER Vul	1.01	50	37	35	1	6
48	ET Ori	3.05	336	266	262	31	-
49	EW Boo	1.33	448	340	339	53	21
50	EY Ori	0.22	447	525	512	52	-
51	FH Ori	0.54	1010	1065	1039	493	-
52	FN Her	1.67	629	623	614	103	-
53	FP Car	-5.77	1093	410	258	522	-
54	FW Mon	-0.84	1446	611	592	811	-
55	FZ Del	3.59	271	181	178	23	-
56	GT Cep	-3.72	1449	404	339	483	-
57	HO Mon	0.89	759	795	750	166	-
58	HO Tel	1.46	303	251	249	48	53
59	HY Vir	2.4	167	115	115	18	40
60	IL Lib	1.78	108	85	84	3	32
61	KIC 10661783	5.26	517	340	336	70	13
62	KO Aql	-0.38	263	189	172	22	-
63	KQ Car	-0.68	949	768	728	334	-
64	Lambda Tau	-4.24	148	99	93	4	-
65	MX Her	1.57	1001	944	936	378	-
66	QY Hya	2.19	51	41	40	3	6
67	QY Tel	3.5	302	302	299	25	75

EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması (devam)

68	R Ara	-0.22	216	78	74	38	-
69	R CMa	2.77	43	8	7	1	41
70	RR Vul	0.87	538	443	429	83	-
71	RS Sgr	-2.76	341	227	220	52	-
72	RT CMa	3	271	311	303	29	-
73	RU Cnc	2.91	379	210	209	36	-
74	RV Lib	1.02	332	297	291	41	-
75	RV Per	0.51	902	661	616	225	-
76	RV Pic	1.44	443	362	362	55	-
77	RW Ara	0.83	370	315	309	43	-
78	RW CrB	0.32	281	273	272	18	-
79	RX Hya	2.15	263	247	244	23	-
80	RY Eri	2.12	326	360	358	24	-
81	RY Gem	0.67	364	292	287	47	3
82	RY Per	-3.35	1229	635	602	473	-
83	RZ Cas	1.83	67	5	3	2	-
84	RZ Cnc	0.29	414	313	310	53	-
85	RZ Dra	1.34	438	336	333	46	2
86	S Equ	1.74	445	324	319	65	4
87	SS Cet	0.85	494	382	377	84	-
88	SS Lib	0.86	612	598	579	148	-
89	SU Cen	0.87	457	354	345	78	-
90	SU For	0.64	565	654	651	97	-
91	SX Cas	-1.08	735	306	284	143	-
92	SX Hya	2.03	249	185	182	19	-
93	SX Psc	2.3	500	397	390	118	-
94	SZ Her	1.87	261	370	367	18	-
95	TT Hya	0.89	204	125	123	16	-
96	TT Lyr	-0.31	2663	472	460	2046	-
97	TT Vel	1.35	534	459	435	130	-
98	TV Cas	-0.33	158	94	80	21	-
99	TW Dra	1.27	170	136	136	7	-
100	TW Lac	0.19	736	703	602	157	-
101	TX UMa	-1.09	188	166	166	33	-
102	TY Cap	1.04	512	595	589	145	-
103	TY Del	0.11	728	710	697	259	-

EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması (devam)

104	TY Lyn	0.24	594	656	649	95	-
105	TZ Dra	1.69	252	277	275	16	-
106	TZ Eri	3.62	306	128	127	32	-
107	U Cep	1.46	204	188	179	12	-
108	U Gru	1.51	692	742	739	209	-
109	UU And	2.4	796	595	589	379	-
110	UV Mus	-0.03	523	393	331	93	-
111	UW Vir	1.64	255	241	237	19	-
112	UX Her	4.35	257	226	221	17	-
113	UY Vir	0.88	121	203	200	12	-
114	UZ Lyr	0.27	885	729	704	236	-
115	V Tri	1.97	478	491	485	79	-
116	V1010 Oph	1.65	73	9	6	3	52
117	V1200 Cen	2.63	119	80	79	13	25
118	V1207 Cen	-0.69	360	348	343	32	41
119	V338 Her	2.23	388	334	332	33	-
120	V349 Ara	-0.5	625	468	448	153	58
121	V356 Sgr	-3.29	872	533	497	279	-
122	V359 Her	1.43	500	458	457	59	-
123	V380 CAS	1.89	1053	818	760	372	16
124	V4403 Sgr	2.25	202	165	160	41	18
125	V501 Oph	1.26	1086	682	658	389	-
126	V505 Sgr	2.21	119	116	112	8	-
127	V524 Sgr	2.02	482	403	390	101	-
128	V548 Cyg	-0.44	541	411	394	83	-
129	V646 Cen	-0.04	603	337	323	115	-
130	V687 Cyg	0.65	427	471	442	114	-
131	V753 Mon	1.87	173	126	118	13	1
132	V868 Mon	1.89	320	238	234	32	31
133	V959 Cyg	0.3	568	561	471	113	-
134	VW Hya	0.49	2198	708	700	2596	-
135	VX Lac	2.38	522	329	322	100	-
136	VY Mic	0.74	603	451	445	131	-
137	VZ Leo	1.99	573	683	678	233	-
138	X Gru	0.78	681	738	735	124	-
139	X Pic	1.48	783	636	634	174	-

EK 5 Trigonometrik ve dinamik paralaks yöntemleri ile elde edilen uzaklık değerlerinin karşılaştırması (devam)

140	XY Pup	0.02	508	517	509	108	-
141	XZ And	0.68	521	543	536	124	-
142	XZ Sgr	2.19	178	116	104	14	-
143	Y Cam	1.28	1220	672	654	446	-
144	Y Leo	2.15	401	457	455	42	-
145	YY Ceti	1.89	444	482	480	108	41
146	Z Per	0.64	569	565	556	108	-
147	ZZ Cnc	-0.42	567	601	599	87	-
148	ZZ Cyg	3.1	244	68	53	18	-
149	ZZ Pup	0.28	385	295	267	50	-
150	ZZ Sgr	0.23	721	662	651	281	-

Dinamik paralaks yöntemi ile uzaklık tayininde iki ayrı (S&F ve SFD) sönümleme katsayısı kullanılarak, kaynak doğrultusundaki toplam sönümleme alınarak, iki ayrı uzaklık değeri elde edilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Derya ÖZTÜRK

Doğum Tarihi : 14.08.1988

Doğum Yeri : Altındağ

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Mobil Lisesi (2002-2005)

Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri
Bölümü (2008-2012)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Uzay
Bilimleri ABD (Eylül 2013 – Haziran 2017)