



**SEÇİLMİŞ BAZI ÖRTEN YAKIN
ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE
GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI**

Hüseyin ER

**Yüksek Lisans Tezi
Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU
2018**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SEÇİLMİŞ BAZI ÖRTEN YAKIN ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE
GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI**

Hüseyin ER

ASTRONOMİ VE ASTROFİZİK ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2018**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

SEÇİLMİŞ BAZI ÖRTEN YAKIN ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE GEZEĞEN
ARAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU danışmanlığında, Hüseyin ER tarafından hazırlanan bu çalışma, 26.06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK

İmza :

Üye : Dr.Öğr.Üyesi İlham NASIROĞLU

İmza :

Üye : Doç.Dr. Eda SONBAŞ

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 05.07./2018 tarih ve 27.../...14 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK Projesi (114F460) kapsamında desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SEÇİLMİŞ BAZI ÖRTEN YAKIN ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE GEZEĞEN ARAŞTIRILMASI

Hüseyin ER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Astronomi ve Astrofizik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU

Bu çalışmada, kısa yörünge dönemine sahip (1.77–10 saat) örten yakın çift yıldız sistemlerinin (Post-Common Envelope Binary Stars, PCEBs: Ortak Zarf Sonrası Çift Yıldızlar ve Cataclysmic Variables, CVs: Kataklişik Değişenler) minimum zamanları hassas bir şekilde elde edilerek yörünge dönem değişimleri “**zamanlama**” yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu değişimlerin sistemde var olabilecek üçüncü cisimlerin (ötegezegen, kahverengi cüce, vb.) kütle çekim etkisinden veya diğer fiziksel etkenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığı tartışılmıştır. Güneş gibi yıldızların etrafındaki gezegenlerden farklı olabilecek türden bu gezegenlerin araştırılması, oluşumları, evrimleri ve bağlı oldukları çift yıldız sistemlerinin yörünge evrimi hakkında önemli bilgiler verir. Gözlem verileri, TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG T100 Teleskopu) ve Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi (ADYU60 Teleskopu)’nde bulunan teleskoplar ve hassas CCD kameralar kullanılarak elde edilmiştir. Ayrıca farklı ülkelerde bulunan bazı teleskoplar da kullanılmıştır. İncelenen kaynakların bazılarında üçüncü cisim/lerin etkisinden ve/veya fiziksel etkenlerden kaynaklı dönem değişimi gözlenmiş ve bazılarında ise herhangi bir değişim gözlenmemiştir.

2018, 67 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ötegezegenler, Yörünge Dönemi Değişimi, Örten Yakın Çift Yıldızlar

ABSTRACT

MS Thesis

SEARCHING PLANETS AROUND SOME SELECTED ECLIPSING CLOSE BINARY STARS SYSTEMS

Hüseyin ER

Atatürk University
Science Institute

Department of Astronomy and Astrophysics

Advisor: Asst. Prof. Dr. İlham NASIROĞLU

In this study we examined the eclipse timing of short period (1.77 – 10 hrs) eclipsing binary stars (Post-Common Envelope Binary Stars, PCEBs and Cataclysmic Variables, CVs) to investigate their orbital period variations through “**timing**” method. These variations can be resulted from the gravitational effects of distant orbiting third body (exoplanets, brown dwarf, etc.) or other physical effects. Identification of this kind of planets is potentially of great interest since they can guide to a better understanding of the formation and evolution of circumbinary planets and orbital period evolution of their host binary system that can be rather different from the case of single stars. The photometric data are collected with the TÜBİTAK National Observatory (TUG T100 Telescope), the Adiyaman University Observatory (ADYU60 Telescope) equipped with high sensitivity CCD cameras. In addition, some telescopes located abroad have also been used. Our results indicating a possible third body effect inferred from the updated O-C diagrams for some of these systems and an additional effect beside LTT for some of them. However, there were no periodic changes in some of them.

2018, 67 pages

Keywords: Exoplanets, Orbital Period Variations, Eclipsing Close Binary Stars

TEŞEKKÜR

Tezin oluşumunda her türlü yardım ve önerilerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı sağlayan ve zorlandığım her konuda bana destek olan tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlham NASIROĞLU'na ve Adıyaman Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. Eda SONBAŞ'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi Astronomi ve Astrofizik Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Cahit YEŞİLYAPRAK'a, arkadaşım Sayın Arş. Gör. Ahmet POLATOĞLU'na ve Y.Lisans öğrencisi Esragül ATALAY'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaların yapılması için gerekli verilerin toplanmasında gözlem zamanı tahsis eden TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi (TUG, T100, 14BT100631 nolu gözlem projesi) ve Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi (ADYU60 teleskopu) yönetimine ve personellerine teşekkür ederim.

Yüksek Lisans eğitimim sırasında üç yıl bursiyer olarak görev aldığım 114F460 nolu proje dolayısıyla TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Hüseyin ER

Haziran, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Çift Yıldızlar.....	5
2.2. Örtün Çift Yıldızlar.....	8
2.2.1. Algol türü sistemler.....	8
2.2.2. β Lyrae türü sistemler.....	9
2.2.3. W UMa türü sistemler.....	10
2.3. Roche Modeli ve Lagrange Noktaları.....	11
2.4. Katakлизмik Değişenler.....	12
2.5. Ortak Zarf Sonrası Yıldızlar.....	15
2.6. Ötegezegen Keşifleri.....	16
2.6.1. Dikine hız yöntemi.....	16
2.6.2. Geçiş yöntemi.....	17
2.6.3. Doğrudan görüntüleme yöntemi.....	18
2.6.4. Kütle çekimsel mikromercek yöntemi.....	19
2.6.5. Konum ölçüm yöntemi.....	20
2.6.6. Zamanlama yöntemi.....	20
2.7. Çift Yıldız Sistemlerinde Dönem Değişimlerine Neden Olabilecek Diğer Etkenler.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	27
3.1. Materyal.....	27
3.1.1. İncelenen kaynaklar.....	27
3.1.2. Gözlemleri.....	29

3.2. Yöntem	30
3.2.1 Gözlem verilerinin toplanması	30
3.2.2. Verilerin indirgenmesi.....	31
3.2.3. Dönem değişimlerinin incelenmesi	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMALAR	37
4.1. NSVS 14256825	37
4.2. HU Aqr	42
4.3. V470 Cam.....	47
4.4. HW Vir	50
4.5. NSVS 07826147	52
5. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	68

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	: Çift yıldız sisteminde yarı büyük eksen (bileşenler arası uzaklık)
c	: Işık hızı
E	: Eksentrisite anomalisi
e_i	: Eksentrisite
G	: Evrensel çekim sabiti
K	: LTT etkisinin yarı genliği
L	: Örtülmenin çevrim numarasını
M	: Kütle
M_J	: Jüpiter kütlesi ($\sim 1.90 \times 10^{27}$ kg)
M_{\odot}	: Güneş kütlesi ($\sim 1.99 \times 10^{30}$ kg)
P_0	: Çift yıldız sisteminin yörünge dönemi
R	: Yıldız yarıçapı
T_0	: Örtülmenin referans minimum zamanını
τ	: LTT sinyali
Δt	: t değerindeki değişme miktarı
w	: Perihelin argümanı

Kısaltmalar

AB	: Astronomik Birim (Dünya ile Güneş arasındaki mesafe: 1.5×10^{11} m)
Parsek	: Parsec = ~ 3.26 ışık yılı = $\sim 3 \times 10^{16}$ m
ADYU60	: Adıyaman Üniversitesi Gözlemevi Teleskopu
APPS	: The Anglo-Australian Planet Search
BJD	: Barycentric Julian Date
CBP	: Circumbinary Planet
CCD	: Charge Coupled Device
CE	: Common Envelope
CNe	: Classical Novae

CNES	: Centre National D'etudes Spatiales (Fransız Uzay Ajansı)
CV	: Cataclysmic Variable
dM	: M dwarf
DNe	: Dwarf Novae
EA	: Eclipsing Algol
EB	: Eclipsing β Lyra
ESA	: European Space Agency (Avrupa Uzay Ajansı)
ESO	: European Southern Observatory
EW	: Eclipsing W Uma
DAG	: Doğu Anadolu Gözlemevi, Erzurum
HARPS	: The High Accuracy Radial Velocity Planetary Search Project
HAT	: Hungarian Automated Telescopes
JD	: Julian Date
LTT	: Light Travel Time Effect
mCVs	: Magnetic Cataclysmic Variables
NL	: Nova Like
NSVS	: North Sky Variability Survey
O-C	: Observed - Calculated
PCEBs	: Post-Common Envelope Binary Stars
RNe	: Recurrent Novae
SARA	: South-eastern Association for Research in Astronomy
sdB	: subdwarf star with spectral type B
sdOB	: OB subdwarf
SNe	: Supernovae
TUG	: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi
VLT	: Very Large Telescope
WASP	: Wide Angle Search for Planets

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. HU Aqr ve NSVS 07826147 çift yıldız sistemlerinin Rozhen ve ADYU gözlemevlerinden elde edilen örtülme ışık eğrileri.....	4
Şekil 2.1. Çift yıldız sisteminin temsili gösterimi.....	5
Şekil 2.2. Örtün çift yıldızların temsili gösterimi	7
Şekil 2.3. Algol'ün ışık eğrisi ve temsili gösterimi	9
Şekil 2.4. β Lyrae'nin ışık eğrisi ve temsili gösterimi	10
Şekil 2.5. W Uma'nın ışık eğrisi ve temsili gösterimi.....	10
Şekil 2.6. Roche modelinin temsili gösterimi.....	11
Şekil 2.7. Sırasıyla, ayrık, yarı ayrık ve degen çift yıldız sistemlerinin temsili görüntüsü	12
Şekil 2.8. Kutup ve orta kutup yıldızların temsili gösterimi.....	15
Şekil 2.9. Bünyesinde gezegen barındıran sistemdeki Doppler etkisinin temsili gösterimi.....	17
Şekil 2.10. Geçiş olgusunun temsili gösterimi	18
Şekil 2.11. 2M1207 yıldızında doğrudan görüntüleme yöntemi ile gözlenen gezegen adayı.....	19
Şekil 2.12. Kütle çekimsel mercekle etkisinin temsili görüntüsü.....	20
Şekil 2.13. LTT etkisinin temsili gösterimi	21
Şekil 2.14. İkinci minimumun birinci minimuma göre evre kaymasının gösterimi	26
Şekil 3.1. TUG T100 ile sub-array yöntemi ile görüntü okuma hızını düşürerek HU Aqr için elde edilen örtülme ışık eğrisi	31
Şekil 3.2. V470 Cam ve NSVS 14256825'in TUG T100 ve ADYU60 teleskopları kullanılarak elde edilen örtülme ışık eğrilerine örnekler	33
Şekil 3.3. HU Aqr çift yıldız sistemlerinin TUG T100 teleskopundan elde edilen örtülme ışık eğrisi.....	33
Şekil 4.1. NSVS 14256825 için TUG, ADYU, SKO, KRK ve SUH gözlemevlerinden elde edilen örtülme ışık eğrileri ve uygulanan fit modeli	39
Şekil 4.2. NSVS 14256825: Farklı veri setleri için elde edilen O-C diyagramları.....	39

Şekil 4.3. NSVS 14256825: Veri Seti -A ve -B' den oluşan O-C diyagramlarına uygulanan fit modelleri ve kalan artıklar	40
Şekil 4.4. NSVS 14256825: Veri Seti -C'den oluşan O-C diyagramına uygulanan fit modeli ve kalan artıklar	41
Şekil 4.5. NSVS 14256825'nin 2017-yılı verileri ile birlikte güncellenen O-C diyagramı.....	42
Şekil 4.6. HU Aqr için 2010 yılına kadar yapılan optik gözlemlerden elde edilen O-C diyagramı ve uygulanan kinematik kuadratik efemeris modeli	44
Şekil 4.7. HU Aqr için 2014 yılına kadar yapılan tüm gözlemlerden elde edilen O-C diyagramı ve uygulanan kinematik modeller	44
Şekil 4.8. HU Aqr için 2017 Mayıs ayına kadar yapılan tüm gözlemlerden elde edilen O-C diyagramı ve uygulanan kinematik modeller	45
Şekil 4.9. HU Aqr için 2017 Kasım ayına kadar yapılan tüm gözlemlerden elde edilen O-C diyagramı ve uygulanan kinematik modeller	46
Şekil 4.10. V470 Cam'nin farklı zamanlarda elde edilen verilerinde oluşturulan O-C diyagramları	49
Şekil 4.11. V470 Cam için lineer efemeris sonucu oluşturulan O-C diyagramı. Gri alan yeni verilerimizi göstermektedir.	50
Şekil 4.12. HW Vir'nin O-C diyagramdaki LTT etkisinin Kepler-Kinematik modeli ile fit edilmesi ve fit sonucunda elde edilen artıklar	51
Şekil 4.13. NSVS 07826147 çift yıldız sisteminin minimum değerlerine uygulanan Lineer efemeris modelleri	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Tez kapsamında incelenen kısa dönemli çift yıldız sistemlerinin listesi.....	3
Çizelge 4.1. NSVS 14256825: Veri Seti-C için uygulanan modelden elde edilen efemeris parametreleri	41



1. GİRİŞ

Güneş Sistemi dışındaki gezegenlerin (ötegezegen) keşfi gün geçtikçe artmakta ve bu keşifler araştırmacıların bu konu üzerindeki ilgisini giderek arttırmaktadır. Bu ilgi de gezegen sistemlerinin keşfi için yeni yöntemlerin geliştirilmesine öncü olmaktadır. Bu keşiflerin büyük çoğunluğu sırasıyla Dikine (Radyal) Hız (veya Doppler hızı), Geçiş (Transit), Doğrudan Görüntüleme ve Zamanlama (Timing) yöntemleri ile yapılmaktadır. Kullanılan diğer iki yöntem ise Kütle Çekimsel Mikromercek ve Konumölçüm (Astrometri) yöntemidir.

Bu yöntemler ile yapılan keşifler arasında en dikkat çekici olanı ise KEPLER uzay aracının geçiş yöntemi ile bir çift yıldız sistemi etrafında keşfettiği gezegendir (Doyle *et al.* 2011). Çift sistemler etrafındaki P-tipi yörüngeler olarak adlandırılan bu tür sistemlerdeki geçişler gezegenlerin varlığı konusunda şüphe bırakmamaktadır. Hatta KEPLER'in keşiflerinden önce “zamanlama” gözlemlerinden bazı çift yıldız sistemlerinin etrafında gezegenlerin varlığına dair kanıt bulunmaktadır (Lee *et al.* 2009). Bu kanıt çift yıldız sistemlerindeki iki yıldızın birbirlerini örtme zamanlarında gözlenen periyodik değişimin Işık-Zaman Etkisi (LTT effect: Light Travel Time Effect) olgusu ile irdelenmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Bu yöntem ile daha sonraları CV'ler ve onlara benzer özellikte olan PCEB'ler gibi sistemlerinin etrafında gezegen veya üçüncü cisimlerin varlığından söz edilmiştir. Bu sistemlerin gözlenen ve hesaplanan minimum zamanları arasındaki farkların (O-C: Observed – Calculated) doğrusal ışık elemanlarıyla (lineer efemeris) irdelenmesinden sonra kalan artıklar (residual) çevrimsel yapılı değişimler gösterir. Bu değişimler gezegenlerin etrafında dolandığı çift yıldız sistemine yaptığı kütle çekimsel etki sonucu sistemdeki yıldızların birbirlerini örtmesi sırasında sistemin ışığının bize biraz daha geç veya erken gelmesinden kaynaklanır. Bu Işık-Zaman Etkisi ölçülebilir olup bu türden çift yıldız sistemlerinde gezegen olup olmadığını araştırmak için kullanılabilir (Horner *et al.* 2012a; Marsh *et al.* 2014).

Ötegezegenlerin keşfi “Gezegenler yıldızları çevreleyen maddeden nasıl oluştu?” ve “Gezegen sisteminin bağlı oldukları yıldızın dev yıldız veya yoğun yıldız dönüşme

sürecinde akıbeti nedir?” gibi temel soruları cevaplamaya doğru daha çok yakınlaştırsa da yakın çift yıldız sistemlerindeki gezegenlerin evrim hikâyesinin karmaşık olması bu tür gezegenlerin ve bağlı oldukları yıldız sistemlerinin yörünge evrimleri hakkında birçok soruyu daha açığa çıkarmaktadır. Özellikle, PCEB ve CV’ler gibi yakın çift yıldız sistemlerinde gezegenlerin olması oldukça ilginç ve önemli bir durumdur. Bunun nedeni, bu tür sistemlerin evrimleri süresince “ortak zarf” (Common Envelope, CE) evresi gibi özel aşamalardan geçmesidir. Bu evrede sistemdeki büyük kütleli yıldız (birincil) standart evrimi süresince kırmızı dev olmak için genişler ve Roche lobunu (şişimini) doldurarak diğer bileşene karasız bir şekilde madde aktarmaya başlar. Madde aktarımı süresince sistem ortak zarf evresine girerek sistemin yörüngesi büzülür ve yörünge döneminin kısılmasına neden olur. Bu sırada dev zarfın içindeki sürtünmeler nedeniyle ikincil yıldızın açısal momentumunda da bir kayıp oluşmaya başlar. Bunun sonucunda birincil yıldızın dış zarfı deformasyona uğrayarak yerini yoğun bir yıldıza (beyaz cüce vb.) bırakır. Böylece, bur tür sistemler genelde CV’lerin atası olduğu düşünülen PCEB’lere dönüşür. Bu evrim sürecinden yola çıkarak ötegezegenler hakkında “Sistem ana kol sonrası evrimine (post-main sequence evolution) girmeden önce gezegenler sistemdeki yıldızlar ile birlikte aynı zamanda mı oluştu? Gezegenler ortak zarf evresinde evrimleşen çift yıldızdan fırlatılarak kaybolan maddenin bir kısmını korumak için ortak zarf evresinden önce mi veya daha sonra ortak zarf maddesinden mi oluştu?” gibi sorular ortaya çıkıyor. Dolayısıyla, bu tür gezegenlerin çalışılması yakın çift yıldız sistemlerinin etrafındaki gezegen oluşumu ve evrimi sürecine ve bağlı oldukları yıldızların evrimi sırasında bu gezegenlerin hayatta kalma sürecine yeni bir bakış açısı getirecektir. Bu yüzden bu gezegenlerin tartışıldığı gibi gerçekten var olup olmadıklarını araştırmak yakın çift yıldız sistemleri için oldukça önemlidir (Warner 1995; Hellier 2001; Beuermann *et al.* 2012a; Horner *et al.* 2012a).

Bu tezde yapılan çalışmalar ile zamanlama yöntemi kullanılarak seçilmiş yakın örten çift yıldız sistemlerinde üçüncü cisim varlığının araştırılması amaçlanmıştır. Bu tür araştırmalar, Güneş gibi yıldızların etrafındaki gezegen sistemlerinden farklı olabilecek türden gezegenlerin oluşumunu, evrimini ve bağlı oldukları çift yıldız sistemlerinin yörünge evriminin daha iyi anlaşılması bakımından önemlidir. Tez kapsamında

incelenen kaynaklar (Çizelge 1.1) kısa yörünge dönemine (birkaç saatlik) sahip olup bir gözlem sezonu içerisinde birçok örtülme gözlenebilmiş ve kullanılan hassas CCD kameralar sayesinde bu minimum zamanları birkaç saniye doğrulukla tespit edilebilmiştir. Kaynak seçiminde dikkat edilen diğer bir husus ise gözlenecek kaynakların keskin ve derin minimumlara (Şekil 1.1) sahip olmasıdır.

Çizelge 1.1. Tez kapsamında incelenen kısa dönemli çift yıldız sistemlerinin listesi

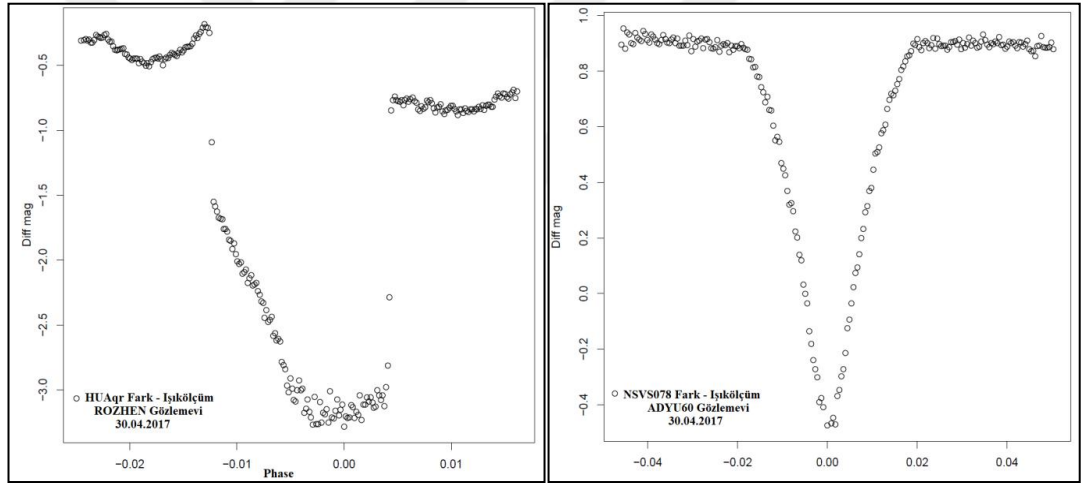
Kaynak	Tür	Dönem (gün)	Kadır (V)	Poz Süresi/Filtre
HU Aqr	AM Her (CV)	0,087	18,0	3s / filtresiz
NSVS 14256825	Algol (PCEB)	0,110	13,2	7s / filtresiz
NSVS 07826147	Algol (PCEB)	0,159	13,0	10s / filtresiz
V470 Cam	Algol (PCEB)	0,096	14,7	10s / filtresiz
HW Vir	Algol (PCEB)	0,117	10,5	5s / filtresiz

Bu kaynakların gözlemleri, çoğunlukla TUG T100 (kısmen RTT150) ve ADYU60 teleskopu ile yapılmıştır. Ayrıca gözlemler için Skinakas Gözlemevi (1.3m, Yunanistan), Suhora ile Krakow gözlemevleri (60cm, Polonya), National Astronomical Gözlemevi (2m, Bulgaristan), del Roque de Los Muchachos Gözlemevi (Liverpool 2m, La Palma, İspanya) ve Thai Ulusal Gözlemevi (2.4m, Tayland) gibi yurtdışında bulunan ve 1–2 metre sınıfı teleskoplara sahip olan gözlemevleri de kullanılmıştır.

Gözlenen kaynakların CCD verilerinin indirgenmesinde Python, IRAF ve Sextractor gibi yazılımlar kullanılmıştır. İndirgeme işlemi yapıldıktan sonra örtülme ışık eğrileri fark ışık ölçümü (differential photometry) yapılarak elde edilmiştir (Şekil 1.1). Daha sonra O-C diyagramlarını oluşturmak için kullanılan minimum zamanları, örtülme ışık eğrilerinin uygun fonksiyonlarla fit edilmesi sonucu hassas bir şekilde hesaplanmıştır.

Uygun fitler sonucunda jülyen zamanı (JD, Julian Date) cinsinden elde edilen minimum zamanları Güneş Sistemi merkezli jülyen zamanlarına (BJD, Barycentric Julian Date) dönüştürülmüş ve bu zamanlar kullanılarak O-C diyagramları oluşturulmuştur. Sistemde dönem değişimine neden olan herhangi bir LTT etkisi varsa bu etki doğrusal ışık

elemanları fitinden sonra sistematik bir artış olarak gözlenir. LTT etkisinden kaynaklanan bu artışların tekrarlayan olması beklenir. Ayrıca bu tür sistemlerin minimum zamanlarındaki bu değişimler bazen farklı mekanizmalardan (çift sistemdeki manyetik etkinlik, madde / açıl momentum kaybı, madde aktarımı gibi, bkz. Bölüm 2.7) kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle elde ettiğimiz dönem değişimlerinin gezegenlerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını tespit etmek ve doğru sonuçlar elde etmek için bu türden sistemlerin uzun dönemli olarak gözlenmesi gerekmektedir. Bu tezde yapılan çalışmalar kısmen ve tam olarak içinde bulunduğum çalışma grubu tarafından uluslararası dergilerde yayınlanan ve aşağıda bilgileri verilen makalelerden derlenmiştir.



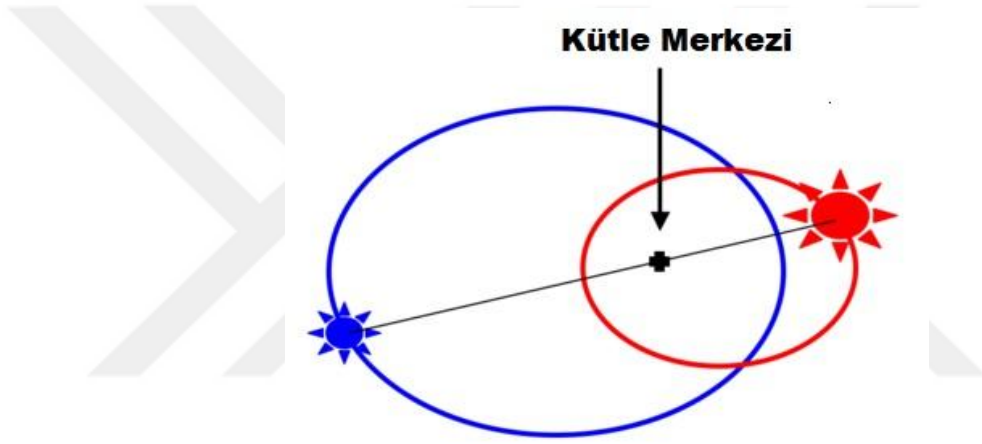
Şekil 1.1. HU Aqr ve NSVS 07826147çift yıldız sistemlerinin Rozhen ve ADYU gözlemlerinden elde edilen örtülme ışık eğrileri (diff mag: fark ışık ölçümleri)

- i) Nasiroglu *et al.* 2017. Is There a Circumbinary Planet around NSVS 14256825? The Astronomical Journal, Volume 153, 137, 11. 2.
- ii) Nasiroglu *et al.* 2018. Searching for planets around eclipsing binary stars using timing method: NSVS 14256825. Proceedings IAU Symposium No. 330, 2017, Volume 12, pp. 405–406
- iii) Slowikowska *et al.* 2018. The HU Aqr O-C Diagram Trend Change: Are There Still Any Circumbinary Planets? Joe 5 (2018), Issn 2572–7955.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Çift Yıldızlar

Çift yıldız sistemleri, ortak kütle merkezi etrafında kütle çekim etkisi altında Kepler yasalarına göre yörünge hareketi yapan (Şekil 2.1) iki veya daha fazla yıldızdan oluşan sistemlerdir (Binnendijk 1970).



Şekil 2.1. Çift yıldız sisteminin temsili gösterimi (Anonim 2018a)

İki gökcisimi arasındaki kütle çekim kuvvetinden faydalanarak çift yıldız bileşenlerinin kütleleri, yarıçapları ve ışınım güçleri gibi temel parametreler hesaplanabilir. Bu parametreler yıldızların oluşum süreçleri ve evrim teorileri hakkında bilgi sahibi olmamıza yardımcı olur (Selam 2010). Çift yıldız sistemleri ayrıca galaksi ötesi uzaklıkların saptanmasında, CV'ler, X-ışın çiftleri vb. gökcisimlerinin yanında nova ve süpernova gibi olayların anlaşılmasında da önemli rol oynamaktadır.

Bazen, gökyüzünde iki yıldız birbirlerine çok yakın görünse de gerçekte birbirleri ile kütle çekimsel olarak etkileşmeyip çok uzak mesafelerde (yüzlerce parsek) bulunurlar. Bakış açımıza göre birbirine yakın ve çiftmiş gibi görünen bu yıldızlara “*optik çift yıldızlar*” denilmekte olup gerçekte çift yıldız değildir. Bununla birlikte çoğu yakın çift yıldız etkileşim halinde olup birbirleri etrafında dönen sistemlerden oluşmaktadır.

Gökyüzündeki yıldızların yarısından fazlası iki veya daha fazla yıldızı içeren çoklu sistemlerden ve geri kalanı ise Güneş gibi tek yıldızlardan oluşmaktadır. Çoklu sistemler genellikle birbirleri etrafında yörüngede dolanan bir tek yıldız ve bir çift yıldızdan (*üçlü sistem*) veya iki çift yıldızdan (*dörtlü sistem*) oluşur (Karttunen, 2007).

Çift yıldız sistemleri gözlemsel olarak keşfedilme ve incelenme yöntemlerine göre genellikle aşağıdaki gibi sınıflandırılır;

i) Görsel çift yıldızlar: Aralarında geniş mesafeler bulunan (10–100 Astronomik birim; AB) ve uygun teleskoplar ile bakıldığında iki ayrı bileşen olarak görülebilen çiftlere denir. Bu tür sistemlerde yer alan yıldızlar her ne kadar kütle çekimsel olarak birbirlerine bağlı olsa da etkileşim halinde değildir. Sistemde parlak olana “baş yıldız” ve daha sönük olana ise “yoldaş yıldız” denilmektedir. Bilinen birkaç yüz görsel çift olmakla birlikte bunların üç ve dört bileşenli olan sistemleri de tespit edilmiştir (Karttunen 2007; Mobberley 2009).

ii) Astrometrik çift yıldızlar: Kütle merkezi etrafında dönen bileşenlerden sadece daha parlak olanı gözlenebilen ve diğer bileşeni parlak olanın gökyüzünde yaptığı salınım hareketinden yola çıkarak varlığı tespit edilebilen sistemlerdir. Örneğin; birincil bileşenin kütlesi kendi parlaklığından hesaplanabilirse yörünge hareketlerinden yola çıkarak ikincil yıldızın da kütlesi hesaplanabilmektedir. 1830 yılında Sirius yıldızının gökyüzündeki konumunun zamana bağlı değişiminden yola çıkarak çift sistem olduğu keşfedilmiştir. Daha sonra görsel olarak küçük bileşenin bir beyaz cüce olduğu tespit edilmiştir (Good 2003; Percy 2007).

iii) Tayfsal çift yıldızlar: Bileşenler birbirine çok yakın olduğundan gözlemler sırasında tek yıldızmış gibi görünür. Bu tür yıldızların tayflarında görünen ve ikinci bileşeni işaret eden düzenli Doppler kaymaları çift yıldız olduklarını gösterir. 1880 yılında tayf çizgilerinde düzenli değişimler görülen ζ Ursae Majoris (Mizar) keşfedilen ilk tayfsal çift sistemdir (Karttunen 2007).

Işık değişimleri incelendiğinde ışık eğrilerinde farklı derinliklere sahip iki minimum noktası görülür. Parlak yıldızın önünden sönük yıldızın geçmesiyle daha derin minimum meydana gelir ve birinci minimum olarak isimlendirilir. Sönük yıldızın önünden parlak yıldızın geçmesi durumunda oluşan minimuma ikinci minimum adı verilir. Sistemin önceki gözlemlerinden doğru bir şekilde elde edilmiş minimum zamanı olan T_0 , yörünge dönemi P ve çevrim sayısı L bilinir ise;

$$BJD = T_0 + P_0L \quad (2.2)$$

formülü ile sistemin ileride tekrar ne zaman örtülme gerçekleştireceği hesaplanabilir (Budding and Demircan 2007).

Yukarıda bahsedilen sınıflandırmalar gözlem yöntemlerine göre yapılmış olup bir çift yıldız sistemi birden fazla yöntem kullanılarak gözlemleri yapılabilmektedir. Dolayısıyla bir çift yıldız sistemi aynı anda birkaç ayrı sınıfta yer alabilmektedir.

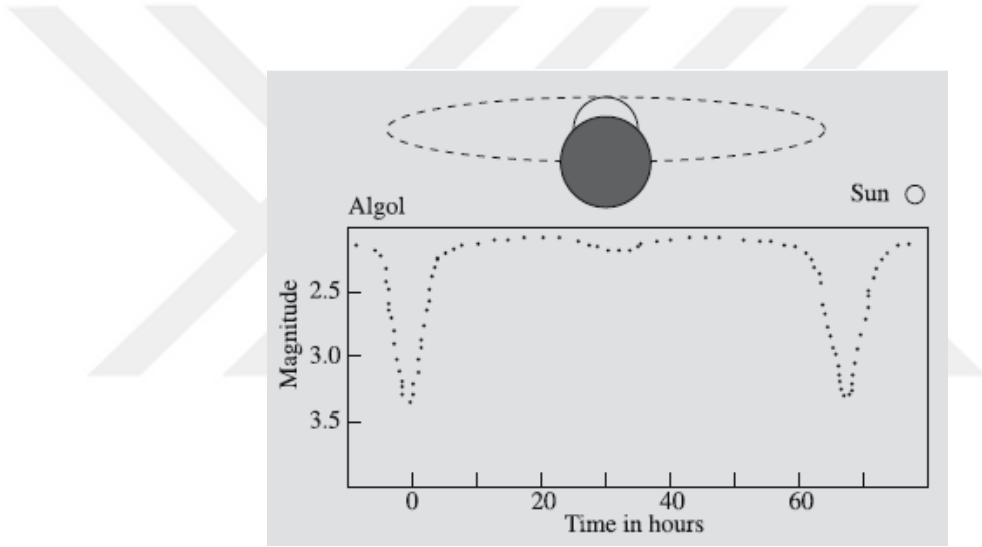
2.2. Örten Çift Yıldızlar

Gözlemsel olarak elde edilen ışık eğrilerinin biçimi, örten değişen çift yıldızların alt türlerinin belirlenmesinde ve diğer bilimsel çalışmaların gerçekleştirilmesinde kullanılır. Örten çiftler, ışık eğrilerinin şekillerine göre; Algol türü (EA), β Lyrae türü (EB) ve W UMa türü (EW) sistemler olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar.

2.2.1. Algol Türü Sistemler

1667 yılında ilk kez G.Montanari (1671) tarafından gözlemlenen β Persei yıldızı Algol türünün ilk örneğidir. Bu tür sistemlerin çoğunun yörünge dönemleri uzundur. Bu yüzden bileşen yıldızlar arasındaki mesafede büyük olacağından Kepler yasalarına göre bileşenler şekil bozulmasına uğramamış veya çok az uğramış sistemlerdir (Andronov 2012). Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri ana kol yıldızı diğeri ise evrimleşmiş,

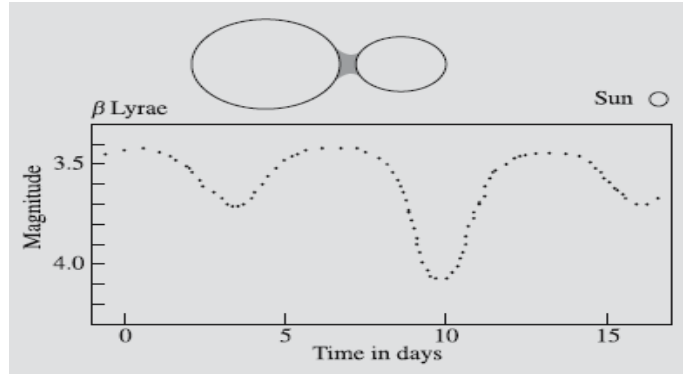
Roche lobunu doldurmuş ve baş yıldıza madde aktaran bir sistem olarak düşünülmektedir (Chen *and* Reuning 1966; Karttunen 2007). Algol türü sistemlerin örtülmeler dışında ışık eğrilerinde dikkate değer bir değişim gözlenmemektedir. Işık eğrilerinde iki minimum olup yıldızların parlaklık farkları nedeniyle birinci minimum ikincisine göre genellikle daha derin bir ışık eğrisine sahiptir. Birincil minimumda daha büyük ve soğuk olan yıldız daha küçük ve sıcak olan yıldızın önünden geçer ve ışık eğrisinde derin bir minimum meydana gelir. İkinci minimumda ise küçük ve parlak yıldız dev yıldızın diskinin önünden geçerken sistemin toplam parlaklığında büyük bir azalma olmadığı için ışık eğrisinde küçük bir değişim görülür (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Algol'un ışık eğrisi ve temsili gösterimi (Karttunen 2007)

2.2.2. β Lyrae Türü Sistemler

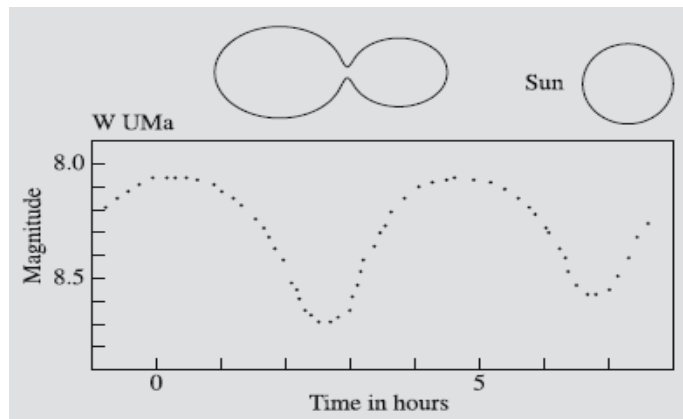
Bu tür sistemlerde bileşenlerden biri Roche lobunu aşırı doldurarak diğer bileşene sürekli bir madde aktarımı gerçekleştirir. Bileşenler birbirlerine çok yakın olduğundan yıldızların birinde veya her ikisinde de elipsoidal bir şekil bozukluğu meydana gelmektedir. Bu nedenle örtülmelerin olmadığı yerlerde de ışık eğrisinde değişimler gözlenebilir (Karttunen 2007). Bu değişimler nedeniyle minimumların tam zamanlarını kestirmek kolay olmayabilir. Sistemdeki yıldızların sıcaklıkları ile yarı çaplarına bağlı olan ışınım güçlerinin birbirlerinden farklı olması nedeniyle birinci ve ikinci minimumun derinlikleri arasındaki fark oldukça belirgindir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. β Lyrae'nin ışık eğrisi ve temsili gösterimi (Karttunen 2007)

2.2.3. W UMa Türü Sistemler

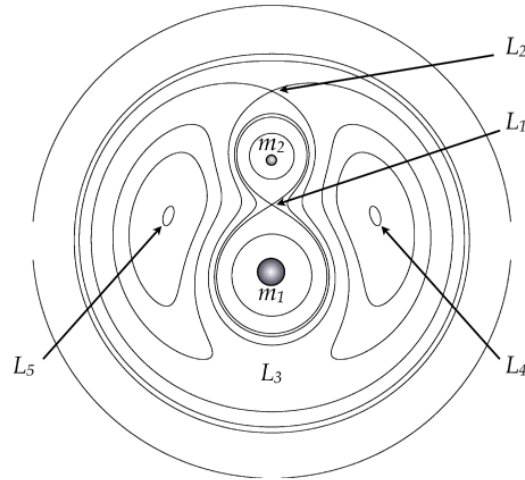
Farklı kütlelerde, fakat hemen hemen aynı sıcaklıklara sahip, birbirine çok yakın ve her ikisi de Roche lobunu doldurmuş bileşenlerden meydana gelir. Bileşenlerin birbirine yakın olması nedeniyle aralarındaki kütle çekimi kuvveti fazla olduğu için şekil bakımından küresellikten oldukça uzaktır. Bu tür sistemlerin ışık eğrilerindeki değişim süreklidir. Fakat birinci ve ikinci minimum derinlikleri hemen hemen aynıdır (Şekil 2.5). Bu sistemler “aşırı degen” sistemler olarak da bilinir. Bileşenlerin özelliklerine göre A ve W olmak üzere iki alt gruba ayrılır. Bu gruplandırmanın temeli ışık eğrilerinin derinliklerindeki farklılıklara dayanır (Binnendijk 1977; Karttunen 2007).



Şekil 2.5. W Uma'nın ışık eğrisi ve temsili gösterimi (Karttunen 2007)

2.3. Roche Modeli ve Lagrange Noktaları

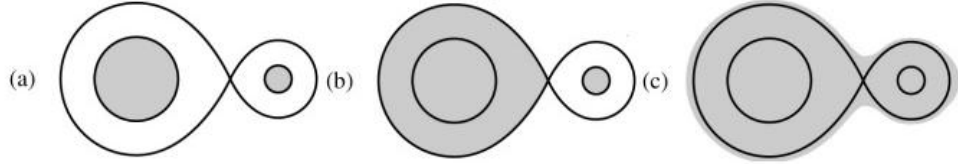
Her iki yıldızı saran ve L_1 Lagrange noktasında kesişen eş potansiyel yüzeyleri yıldızların kütle çekimi ve merkezkaç kuvvetlerinden oluşur. Bu noktada toplam etkin çekimsel kuvvet sıfıra eşit olup yıldızlar birbirini dengeleyecek şekildedir. “∞” şeklindeki yapının her iki yarısı, bu bölgede bulunan bileşen yıldız tarafından kontrol edilir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi “∞” şeklinde iki noktasal kütleli saran bu bölgeler Roche lobu olarak adlandırılır. Roche lobu, bileşenler arası uzaklık ve kütleye bağlıdır (Hilditch 2001). Roche lobunun içinde ve dışında çekimsel kuvvetin sıfır olduğu beş Lagrange noktası vardır. L_1 ; birinci lagrange noktası veya iç lagrange noktası olarak adlandırılır ve bileşenler arasında madde aktarımının kararsız olduğu noktadır. L_2 ve L_3 noktası maddenin uzaya doğru hareket ettiği yarı kararsız noktalar, L_4 ve L_5 ise maddenin birikebileceği kararlı noktalardır (Skelton 2009).



Şekil 2.6. Roche modelinin temsili gösterimi (Regos 2005)

Yakın çift yıldızlar, Şekil 2.7’de görüldüğü gibi Roche loblarını doldurmaları esas alınarak üç sınıfa ayrılmıştır (Kopal 1955). Bunlar, “*ayrık çift yıldızlar*”; her iki bileşende Roche lobunu doldurmamış ve bileşenler arasında neredeyse etkileşimin olmadığı sistemlerdir. “*Yarı ayrık çift yıldızlar*”; sadece tek bir bileşeni Roche lobunu doldurmuş sistemlerdir. Bu tür sistemlerde madde aktarımı Roche lobunu doldurmuş bileşenden diğerine L_1 noktası üzerinden akabilir. CV’ler yarı ayrık sistemlerdir. Ayrıca

eğer sistemdeki her iki bileşen de Roche lobunu doldurmuşsa bu durumda bu sistemler “*değen sistemler*” olarak adlandırılır (Eggleton 2006).



Şekil 2.7. Sırasıyla, ayrıık, yarı ayrıık ve değen çift yıldız sistemlerinin temsili gösterimi (Schwarzschild 1965)

2.4. Kataklistmik Değişenler

CV’ler, değişen yıldızların sıcaklık, yoğunluk ve basınç gibi içsel değişimlerini temel olarak yapılan ve çift yıldız sisteminin geniş bir grubunu oluşturan patlayan alt sınıfıdır. Bu sistemler, bir beyaz cüce ve ona madde aktaran Roche lobunu doldurmuş düşük kütleli bir yıldızdan oluşmuş yarı ayrıık çift yıldız sistemleridir. Beyaz cüceye başyıldız diğerine ise eş/yoldaş yıldız denilmektedir. Eş yıldız genellikle ana kol (K, M, ya da G tayf türü) üzerinde yer alabildiği gibi bu ana kol yakınlarında yer alan geç tip bir yıldız da olabilir. Eş yıldızın dev ya da dejenere bir yıldız olduğu durumlar da vardır (Warner 1995; Hellier 2001).

Bu sistemlerdeki sıcak leke, yığılma diski ve bileşen yıldızın yüksek ışıınımı gibi bazı etkiler beyaz cücenin gözlenmesini zorlaştırmaktadır. Fakat yüksek eğim açısına sahip ve düşük madde aktarımı olan sistemlerde gözlenebilmesi daha mümkündür. CV’lerde madde aktarımı sırasında, çoğunlukla beyaz cüce etrafında hidrojen zengin bir yığılma diski oluşur. Bu hidrojen tabakası belirli bir yoğunluk ve sıcaklığa ulaşmasıyla nükleer füzyon tepkimelerini başlatarak zamanla sistemin parlaklığında değişime neden olan şiddetli patlamalar (nova, süpernova vb.) meydana getirebilir (Andronov 2005; Hellier 2001). Bu patlamalar, CV’lerin karakteristik özelliklerine göre farklılıklar gösterir. CV’ler kendi içinde ayrıca alt sınıflara ayrılırlar: Klasik Novalar (CNe), Cüce Novalar (DNe), Tekrarlayan Novalar (RNe), Simbiyotik Yıldızlar (Z And), Nova-Benzeri Sistemler (NLs) ve Süpernovalar (SNe) gibi.

i) *Klasik novalar*: Çoğunlukla “nova” olarak adlandırılan bu sistemlerde eş yıldızdan beyaz cüceye doğru olan madde aktarımı açısal momentumun korunumu prensibine göre doğrudan beyaz cücenin üzerine düşmeyip etrafında bir disk oluşturur. Hidrojen bakımından zengin olan madde termonükleer tepkimeler sonucunda beyaz cüce yüzeyinde şiddetli bir “nova” patlaması oluşturur. Bu patlamaların görünür parlaklığı 6 ile 19 kadir aralığındadır. Patlama dönemi ise 10^4 – 10^5 yıl gibi olması nedeniyle bu patlamalar sadece bir defa gözlenebilir (Shara 1989; Gehrz *et al.* 1998).

ii) *Tekrarlayan novalar*: Birden fazla klasik nova benzeri patlamalar göstermiş CV’lerin küçük bir alt sınıfıdır. Bir CV ikinci bir patlamayı gösterdiği zaman tekrarlayan nova olarak sınıflandırılır. Bu patlamalar, düzensiz aralıklarla (10–100 yıl) 4–9 kadir parlaklık ile meydana gelmektedir. Patlamalar, genellikle çok hızlı bir evrim gösterir ve 10 gün ile birkaç ay kadar sürebilir (Starrfield *et al.* 1988; Anupama 2002).

iii) *Cüce novalar*: Bileşenler arasındaki madde aktarımı beyaz cüce üzerinde bir yığılma diski oluşturur. Bu akış sürecinde kütle çekimsel potansiyel enerjinin serbest kalması sonucu bu sistemlerde 20–300 günlük aralıklarla normal ve süper patlamalar görülür. Patlamalar 2–7 kadirlik ani bir parlaklıkla 2–20 gün arasında devam eder. Normal patlamalar, yığılma diskindeki sabit madde aktarım oranı nedeniyle ve süper patlamalar ise yığılma diskindeki termal kararsızlıklar nedeniyle meydana gelir (Lasota *et al.* 1995; Urban and Sion 2006). Cüce Novalar patlama özelliklerine göre kendi aralarında, SS Cyg (normal), Z Cam (normal veya sessizlik) ve SU Uma (süper) olmak üzere 3 alt gruba ayrılır (Nogami *et al.* 2003).

iv) *Simbiyotik yıldızlar*: Düzensiz fotometrik değişimler gösteren uzun dönemli çift yıldız sistemlerdir. Bu sistemler, soğuk-kırmızı bir dev ile sıcak bir ana kol yıldızdan oluşmaktadır. Yörüngesel dönemleri 200–1000 gündür. Yıldız rüzgârından veya Roche lobunun taşmasından kaynaklanan kırmızı devden yoğun bileşene doğru olan madde aktarımı sırasında sistem çok sıcak ve parlak olur. Bu sistemler enerji üretimlerine göre “aktif” ve “sessizlik” dönemi gibi iki süreç ile karakterize edilir (Muerset *et al.* 1991; Mikolajewska 2011).

v) *Nova benzeri sistemler*: Işık eğrileri ve tayflarının tipik özellikleri Klasik ve Cüce Novalara benzediğinden bu ismi alır. Bazılarında patlama görülürken bazılarının da ise hiç görülmez. Sessizlik dönemlerinde disk üzerine aktarılan madde miktarı cüce novalara göre çok fazladır. Bu nedenle yığılma diskleri çok parlaktır. Bu grubun başlıca üyeleri AM CVn değişenleri (AM Canum Venaticorum), DQ Her (DQ Hercules), AM Her (AM Hercules) ve UX UMa yıldızlarıdır (Honeycutt 2001; Froning *et al.* 2003).

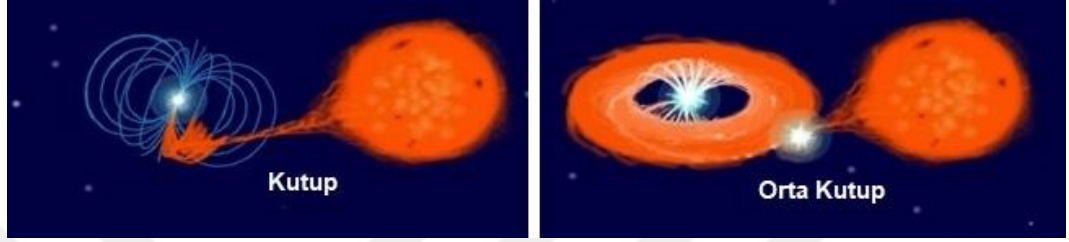
vi) *Manyetik kataklismik değişenler*: CV'lerin güçlü manyetik alana sahip beyaz cüceleri içeren türlerine Manyetik Kataklismik Değişen (mCV)'ler denir. mCV'ler; DQ Her yıldızları (Intermediate Polar; Orta Kutup) ve AM Her yıldızları (Polar, Kutup) olarak iki gruptan oluşur (Warner 1995; Hellier 2001; Lasota 2004).

“AM Her yıldızları”, manyetik alan şiddeti çok güçlü (10^7 – 10^8 G) bir beyaz cüceye sahiptirler. Beyaz cücenin kendi eksenini etrafındaki dönme zamanı ile çiftin yörüngesel dönme zamanı birbirlerine eşittir ($P_{\text{spin}}=P_{\text{yörünge}}$). Bu sistemlerde güçlü manyetik alan nedeniyle yığılma diski oluşmayıp eş yıldızdan beyaz cüceye akan madde manyetik alan çizgileri boyunca doğrudan beyaz cücenin bir veya her iki manyetik kutbuna doğru hareket etmeye zorlanır ve sıcak bir “toplanma noktası” oluşturur (Şekil 2.8a).

“DQ Her yıldızları”, manyetik alan şiddeti orta seviyede (10^6 – 10^7 G) olan bir beyaz cüce içerirler. Bu grupta beyaz cücenin dönme zamanı, sistemin dönme zamanından daha kısadır ($P_{\text{spin}}/P_{\text{yörünge}} \sim 0,1$). Bu sistemlerdeki beyaz cüceler AM Her yıldızlarındakine göre daha büyük yörünge ayırımına ve daha küçük manyetik alana dolayısı ile daha küçük manyetosferlere sahiptir. Bu nedenle, beyaz cüce etrafında manyetik alan etkisinin güçlü olduğu bölgeye kadar bir yığılma diski oluşur. Bu bölgeden sonra madde akışı manyetik alan kutupları boyunca beyaz cüceye doğru oluk şeklinde akar (Şekil 2.8b).

vii) *Süpernovalar*: Ani bir patlama ile parlaklıkları 16–20 kadar yükselen sistemlerdir. Süpernova patlamaları nova patlamalarına benzer olmakla birlikte şiddetleri nova patlamalarına göre oldukça büyüktür. Ani patlamalarından dolayı

CV'lerin bir üyesi olarak sınıflandırılırlar. Patlamalar, yıldızlararası ortama ağır elementler fırlatarak yeni yıldızların veya yıldız sistemlerinin oluşumuna katkıda bulunurlar. Ayrıca galaksi ötesi uzaklıkların ve parametrelerin saptanmasında önemli rol alırlar (Perlmutter *et al.* 1999; Percy, 2007).



Şekil 2.8. (a) Kutup ve (b) orta kutup yıldızların temsili gösterimi

2.5. Ortak Zarf Sonrası Yıldızlar

Çift yıldızların evrim senaryosuna göre başlangıçta her ikisi ana kol yıldızı olan sistemdeki yıldızlardan büyük kütleli olanı (başyıldız: $1-9 M_{\odot}$) evrimleşerek kırmızı dev veya asimptotik dev kol aşamasına doğru genişler, Roche lobunu doldurur ve taşmaya başlar, sonrada düşük kütleli yıldıza (bileşen yıldız: $1 M_{\odot}$ 'den az) doğru dinamik olarak kararsız bir madde aktarımı başlar. Madde aktarımı bileşen yıldızın Roche lobunu doldurur ve sistem “ortak zarf” evresine girerek her iki yıldızı çevreleyen ortak bir zarf oluşturur. Bu evre yaklaşık olarak 10^3 yıl sürer. Evre boyunca sistemdeki iki bileşen birbirine daha yakın olmaya başlar ve yörünge dönemi günler mertebesinde birkaç saatlik zaman dilimine kısılır. Ortak zarf evresinde zarfın içindeki dinamik sürtünmeler nedeniyle kaybedilen yörüngesel açısal momentum dev yıldızın zarfının atılmasında kullanılır. Bu evre sonrasında başyıldız bir beyaz cüce (CO beyaz cücesi veya NeMgO beyaz cücesi) veya alt cüce yıldızına dönüşür, bileşen yıldız ise bir ana kol yıldızı olarak kalır. Böylece, sistem CV'lerin atası olduğu düşünülen ve daha yoğun bir sistem olan Ortak Zarf Sonrası Çift Yıldız, PCEB'ye dönüşür. Daha sonra, ikinci yıldız Roche lobunu doldurarak beyaz cüceye doğru sistemde ikinci bir madde aktarımını başlatarak sistemin bir CV'ye doğru evrimleşme sürecini başlatır (Paczynski 1976; Warner 1995; Hellier 2001; Schreiber *and* Gansicke 2003).

2.6. Ötegezegen Keşifleri

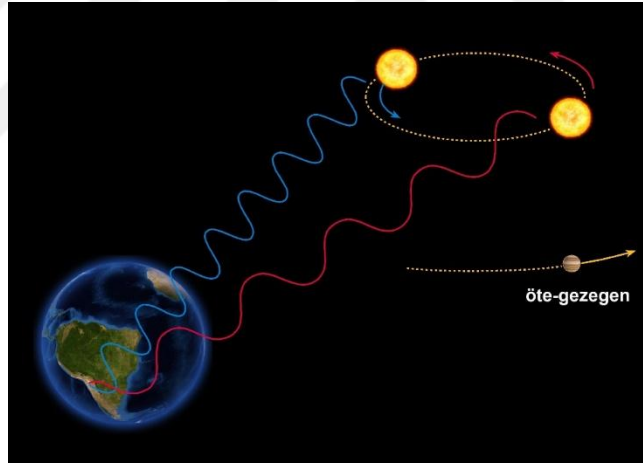
Güneş sistemimiz dışındaki gezegenler ötegezegen (exoplanet) olarak adlandırılır. Ötegezegenler, Jüpiter kütesinin yaklaşık 13 katından daha küçük (büyük ise kahverengi cüce) ve bir yıldız veya bir yıldız kalıntısının yörüngesinde dolanan gezegenler olarak tanımlanmıştır (Boss *et al.* 2007). Ötegezegen keşiflerinde farklı yöntemler kullanılarak şuna kadar 3786 gezegen keşfedilmiştir. Bunların 2834'ü tekli ve 624'ü ise çoklu gezegen sistemleridir (Anonim 2018c). Bu keşiflerin çoğunluğu sırasıyla Dikine Hız, Geçiş, Doğrudan Görüntüleme, Zamanlama, Kütle Çekimsel Mikromercek ve Konum ölçüm yöntemleri ile yapılmıştır.

İlk ötegezegen keşif çalışmalarına 1938 yılında Sproul Gözlemevi'nde konum ölçüm tekniği kullanılarak başlanmıştır (van deKamp 1943). Ötegezegen keşiflerine öncü olan ilk keşif ise, 1992 yılında Wolszczan *and* Frail (1992) tarafından PSR 1257+12 milisaniye atarcasının etrafında bulunan gezegenin keşfi olmuştur. Bu keşiften hemen sonra, 51 Pegasi yıldızının radyal hız değişimleri incelenerek etrafında dolanan bir gezegenin ($0.41 M_{\text{jup}}$) olduğu tespit edilmiştir (Mayor *and* Queloz 1995). Bu ötegezegen Güneş tipi bir yıldız etrafında keşfedilen ilk ötegezegen olması nedeniyle oldukça önemlidir. Daha sonra bu keşif Marcy *and* Butler (1995) tarafından yapılan çalışmalar sonucunda da doğrulanmıştır. 1998 yılında dikine hız tekniği kullanılarak M tayf türünden bir yıldız etrafında dolanan dev bir gezegen ($2.1 M_{\text{jup}}$) olan "Gliese 876 b" keşfedilmiştir (Marcy *et al.* 1998). Kısa bir süre sonra dikine hız yöntemi kullanılarak "HD 209458 b" ötegezegeni keşfedilmiştir (Mazeh *et al.* 2000). Ayrıca bu ötegezegen geçiş yöntemi kullanılarak gözlenmiş ve ışık eğrisi elde edilmiştir (Brown *et al.* 2001). Bu bulgular sonrasında, radyal hız ve geçiş yöntemi ötegezegen araştırmaları için daha kapsamlı bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

2.6.1. Dikine Hız Yöntemi

Şuna kadar Güneş benzeri yıldızların etrafında dolanan yüzlerce gezegenin büyük bir çoğunluğu HARPS (the High Accuracy Radial velocity Planetary Search project, Mayor

et al. 2009) ve APPS (the Anglo-Australian Planet Search, Wittenmyer *et al.* 2012a) gibi uluslararası “dikine hız” programları kullanılarak keşfedilmiştir. Bu programlar hem düşük dikine hızların algılanabilmesi (düşük kütleli gezegenlerin keşfedilebilmesi için) hem de daha uzun gözlemsel verilerin erişimine olanak sağlanması için kullanılmaktadır. Dikine hız yöntemi ile hassas tayfölçerler kullanılarak gezegeni olan bir yıldızın dikine hızındaki küçük düzenli değişimler araştırılmaktadır. Yıldız (tek veya çift yıldız) bir ötegezegenine sahip ise, yıldız ile gezegenin ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yaparken yıldızın yalpalanmasına ve dikine hızında bazı değişimlerin olmasına neden olur. Bu değişimler, yıldız bize yaklaşırken gelen ışığın maviye ve bizden uzaklaşırken de ışığın kırmızıya kayması şeklinde görülür (Mayor *and* Frei 2003). Bu olay Doppler olayı olarak da bilinmektedir (Şekil 2.9). Bu düzenli değişimler ölçülerek gezegenin kütlesi ile yörüngesinin eğimi hesaplanabilmektedir.

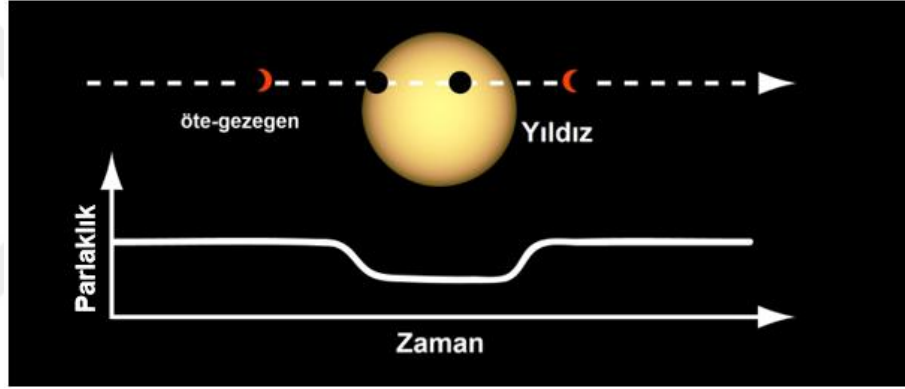


Şekil 2.9. Bünyesinde gezegen barındıran sistemdeki Doppler etkisinin temsili gösterimi (Anonim 2018d)

2.6.2. Geçiş Yöntemi

Ötegezegen keşifleri için çok kullanılan diğer bir yöntem ise “geçiş” yöntemidir. Bu yöntem, bakış açımıza göre bir gezegenin bağlı olduğu yıldızın önünden geçerken örtülmeden dolayı neden olduğu yıldızın parlaklığındaki küçük ve düzenli ışık değişimlerinin ölçüldüğü bir yöntemdir (Şekil 2.10). Çok hassas ışıkölçerler ile gözlenebilen bu değişimler gezegenlerin fiziksel boyutları hakkında bilgiler verir

(Mayor *and* Frei 2003; Santos 2008). Geçiş yöntemi kullanılarak keşfedilen ilk gezegen HD209458B'dir (Charbonneau *et al.* 2000). Şimdilerde bu yöntemin kullanıldığı yer-tabanlı gözlemlere WASP (Wide Angle Search for Planets (Collier *et al.* 2007) ve HAT (Hungarian Automated Telescopes, Howard *et al.* 2012) gibi projeler öncülük etmektedir. Bununla birlikte geçiş yöntemini kullanarak yaptığı keşiflerle gezegen kataloğuna büyük katkı sağlayan gözlemevlerinden birisi olan NASA'nın 0.95 metrelik KEPLER uydusudur (Doyle *et al.* 2011). Ayrıca bu tür çalışmalarda kullanılan diğer bir önemli gözlemevi olarak Fransız Uzay Ajansı (CNES) ile Avrupa Uzay Ajansı (ESA) işbirliğinde uzaya gönderilen CoRoT uydusu da örnek verilebilir.

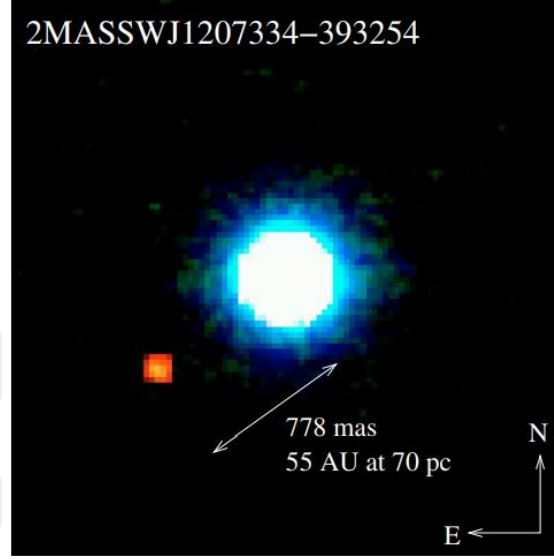


Şekil 2.10. Geçiş olgusunun temsili gösterimi (Anonim 2018e)

2.6.3. Doğrudan Görüntüleme Yöntemi

‘Doğrudan görüntüleme’ yöntemi ile yapılan gezegen keşfi en zor yöntemlerden biridir. Bu yöntem, sistemdeki gezegenin yıldız üzerine uyguladığı etkilere bakılmaksızın doğrudan gezegenin kendisinin görüntülenmesine dayanan bir yöntemdir. Kızılötesi ışıktaki daha iyi sonuç veren bu yöntemde yıldızın parlaklığı maskelenerek bölge taraması yapılır (Mayor *and* Frei 2003). Bu yöntemin başarılı bir şekilde sonuçlanabilmesi için ayrıca atmosferik çalkantı etkilerinden de kurtulmak gerekmektedir. Doğrudan görüntüleme yöntemi, ilk kez, ESO (European Southern Observatory)'nun VLT (Very Large Telescope) teleskopu kullanılarak 2M1207 kahverengi cüce yıldızının etrafında bir gezegen olabileceği öngörülmüştür (Chauvin *et al.* 2004). Daha sonra, Chauvin *et al.* (2005) tarafından aynı teleskop ve yöntem ile

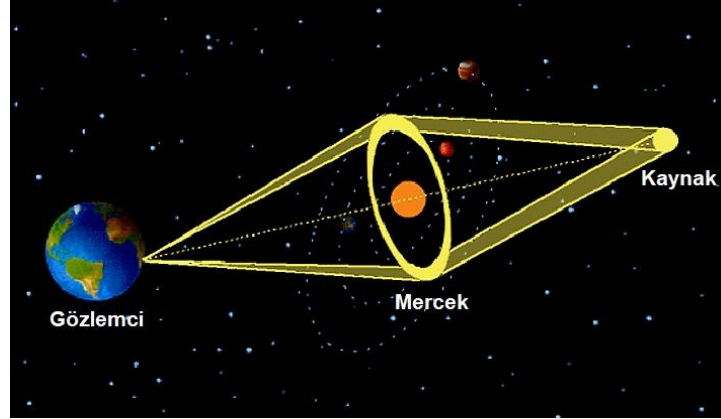
yapılan detaylı incelemeler sonucunda bu yıldızın etrafında bir gezegen olduğu doğrulanmıştır (Şekil 2.11). Ayrıca diğer yöntemler (tayfsal, astronomik ve fotometrik gözlemler) kullanılarak da bu gezegenin varlığı teyit edilmiş ve ismi 2M1207 b olarak literatüre geçmiştir (Ducourant *et al.* 2008).



Şekil 2.11. 2M1207 yıldızında doğrudan görüntüleme yöntemi ile gözlenen gezegen adayı (Chauvin *et al.* 2004)

2.6.4. Kütle Çekimsel Mikromercek Yöntemi

Bu yöntemde mercek etkisinin görülebilmesi için bir biri ardına sıralanmış iki yıldızın bakış doğrultumuz ile aynı hizada olması gerekir. Bu etki, bize yakın olan yıldızın kütle çekim alanının artalandaki yıldızın ışığı üzerine bir merceklenme etkisi olarak görülür (Şekil 2.12). Bu hizalanma sırasında artalandaki yıldızın ışığı bükülerek sanal bir görüntü oluşur ve bu yıldızın ışığı bu etki ile biraz daha büyütülmüş olur. Böylece, bu geçici etki süresince iki yıldızın zamana karşı ölçülen toplam ışık şiddetinde önce bir artma ve bunu takiben de bir azalma görülür. Eğer, yakın yıldızın bir gezegeni var ise, bu gezegenin kendi kütle çekim alanı ayrıca ayırt edilebilir bir ilave mikromercek etki oluşturacaktır (Selam 2008; Wright *and* Gaudi 2012).



Şekil 2.12. Kütle çekimsel mercek etkisinin temsili görüntüsü (Anonim 2018f)

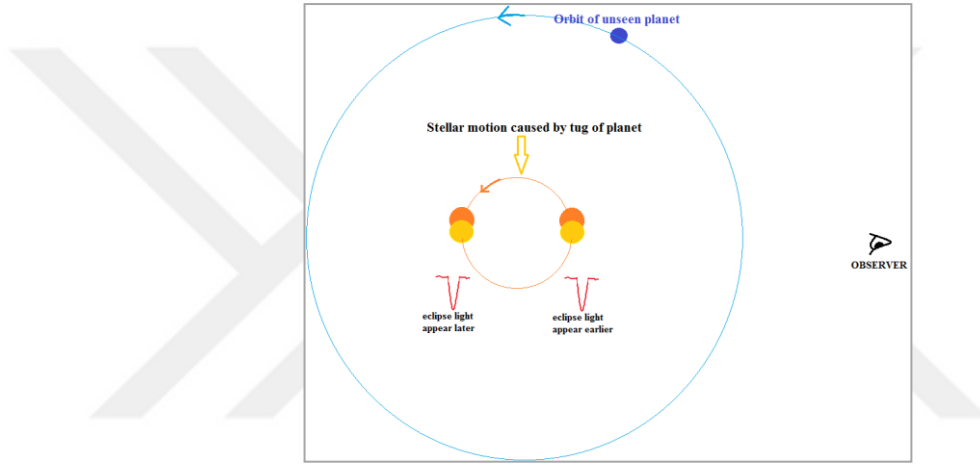
2.6.5. Konum ölçüm yöntemi

Gezegen keşifleri için kullanılan bir diğer yöntem ise “konum ölçüm” yöntemidir. Konum ölçüm yöntemi, gezegeni ile ortak kütle merkezi etrafında yörünge hareketi yapan bir yıldızın gezegenden kaynaklı gökyüzü düzlemindeki hareketinin hassas ölçümlerle tespit edilmesinden yola çıkarak gezegen keşfi için kullanılan bir yöntemdir (Wright and Gaudi 2012). Yaklaşık $1.5 M_{\text{jup}}$ sahip HD 176051 b gezegeni konum ölçüm yöntemi ile keşfedilen ilk ve tek gezegenidir (Mutterspaugh *et al.* 2010). Ayrıca dikine hız yöntemi ile keşfedilmiş olan Gliese 876b gezegenin kütlesi, konum ölçüm yöntemi kullanılarak belirlenen ilk gezegen kütlesidir (Benedict *et al.* 2002).

2.6.6. Zamanlama Yöntemi

Son yıllarda, Güneş-benzeri yıldızlardan çok farklı yıldızların gezegen sistemine sahip olduğu keşifleri yapılmıştır. Bunlardan en dikkat çekici olanı ise kısa dönemli örtülme gösteren CV’ler ve PCEB’ler gibi sistemlerin etrafındaki gezegen keşifleridir. Bu keşifler, çift yıldız sisteminin kütle merkezinin hareketinden kaynaklanan ve sistemdeki bileşenlerin karşılıklı olarak birbirlerini örtme zamanlarındaki periyodik değişimlerin ölçülmesi sonucu görülen LTT etkisinin incelenmesiyle yapılmıştır (Beuermann *et al.* 2012a; Marsh *et al.* 2014). Bu etki, sistemdeki iki yıldızın kütle merkezinin görünmeyen üçüncü bir cismin veya gezegen sisteminin kütle çekimi etkisinden kaynaklanmaktadır

(Şekil 2.11). Bu görünmeyen cisimler sistemin kütle merkezi etrafında dolanırken bakış yönümüz doğrultusunda iki merkezi bileşen yıldızın ileri ve geriye doğru sallanmasına neden olabilir. Bu nedenle, merkezi iki yıldız bize daha yakın olduğunda örtülmeden gelen ışık gözlemciye biraz daha erken veya merkezi iki yıldız biraz daha uzak olduğunda ise ışık biraz daha geç gelir. Bu LTT etkisi ölçülebilir olup bu türden çift yıldız sistemlerinde üçüncü cismin olup olmadığını araştırmak için kullanılabilir (Horner *et al.*2013).



Şekil 2.13. LTT etkisinin temsili gösterimi

Yakın çift yıldız sistemlerinin büyük dikine hız değişimleri, onların çevresindeki gezegenlerden kaynaklanan küçük salınımları maskeleyeceğinden dikine hız tekniğinin bu sistemler üzerindeki hassasiyeti yetersiz kalmaktadır. Benzer şekilde geçiş yöntemi ile yakın çift sistemlerin etrafında dolanan gezegenleri incelemek için çok uzun ve çok hassas ışık ölçüm gözlemleri gerekmektedir. “Zamanlama” yöntemindeki LTT sinyalinin yarı-genlik değeri K , sistemdeki üçüncü cismin kütlesi ve dönemi ile orantılı ($K \sim M_3$ ve $K \sim P_3^{3/2}$) olduğundan diğer keşif yöntemlerinin (dikine hız ve geçiş gibi) tersine bu yöntemi uzun yörünge dönemli ve büyük kütleli gezegenler için daha hassas bir yöntem yapmaktadır. Bununla birlikte çift yıldız sisteminin düşük kütleli olması LTT etkisinin genlik değerini arttırdığından bu yöntemi yakın çift yıldız sistemlerinde kullanmak daha çok avantaj sağlamaktadır. Bu yüzden, zamanlama yöntemi yakın çift yıldız sistemi etrafında dolanan gezegen sistemlerinin keşfi için kullanılabilir en iyi

ve hassas yöntemdir (Pribulla *et al.* 2012). Yer tabanlı ışık ölçüm gözlemlerinden elde edilen ve LTT yöntemi ile yola çıkarak etrafında gezegen olduğu düşünülen ilk sistem HW Vir'dir (Lee *et al.* 2009). Benzer şekilde zamanlama yöntemi kullanılarak etrafında gezegen varlığından bahsedilen diğer sistemler ise HU Aqr (Schwarz *et al.* 2009; Qian *et al.* 2011; Gozdziewski *et al.* 2012; 2015), DP Leo (Qian *et al.* 2010a), NN Ser (Beuermann *et al.* 2010), RZ Dra (Yang *et al.* 2010), QS Vir (Almeida and Jablonski 2011), UZ For (Potter *et al.* 2011), ve NSVS 14256825 (Almeida *et al.* 2013)'dir.

KEPLER'in, özellikle Kepler-47 çift yıldız sisteminin etrafında dolanan iki gezegenin keşfi ile bu sistemlerdeki gezegenlerin varlığı kanıtlanırsa da, yakın çift yıldız sistemlerinin minimum zamanlarındaki değişimler farklı fiziksel mekanizmalardan kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle zamanlama yöntemi ile araştırılan bu tür sistemlerdeki gezegenlerin güvenli tespiti için en azından iki kritere ihtiyaç duyulur. Birincisi, minimum zamanlarındaki bu değişimin kaynağının sistemdeki gezegen olduğunu doğrulamak için LTT sinyalinin zamanla tekrarlayan ve periyodik olan bir sinyal olması gerekir. Bu yüzden gözlem verileri, değişimdeki en uzun dönemin en az iki tam çevrimini kapsamalıdır. Diğer bir şart ise keşfedilen gezegenin, bağlı olduğu sistemdeki bileşen yıldızların yaşları ile karşılaştırılabilir bir zaman ölçeğinde dinamik olarak kararlı (yörüngelerinin kararlı) olması gerekir (Orosz *et al.* 2012; Horner *et al.* 2013; Hinse *et al.* 2014). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda bu sistemlerin her birinde önerilen gezegenlerin dinamik evrimleri incelenmiş ve bunlardan sadece NN Ser (Horner *et al.* 2012b) ve UZ For (Horner *et al.* 2014) sürekli kararlılık testini geçmiştir. HU Aqr (Horner *et al.* 2011), NSVS 14256825 (Wittenmyer *et al.* 2013), SZ Herculis (Hinse *et al.* 2012), HW Vir (Horner *et al.* 2014) gibi sistemlerde önerilen gezegen sistemlerinin yalnızca birkaç yüz-yıl ile bin-yıllık bir zaman ölçeğinde dinamik olarak kararsız oldukları bulunmuştur. Daha sonraki çalışmalarda, Gozdziewski *et al.* (2012) tarafından HU Aqr için elde edilen yeni veriler sonucunda sistemde ikili ve tekli gezegen modelleri tartışılmıştır. 2011–2014 yılları arasında HU Aqr'den alınan veriler sonucu sistem tekrar incelenmiş ve O-C eğrisinde önceki yıllara göre bir sapma gözlenmiştir. Bu sapmanın 3. cisim ile birlikte sistemin diğer fiziksel etkenlerinden kaynaklanıyor olabileceği öngörülmüştür (Gozdziewski *et al.* 2015).

2.7. Çift Yıldız Sistemlerinde Dönem Değişimine Neden Olabilecek Diğer Etkenler

Yakın bir çift yıldız sisteminde gözlenen dönem değişimini açıklamak için önerilen diğer fiziksel mekanizmalar madde aktarımı, madde ve açısal momentum kaybı ve manyetik etkinlik olarak sıralanabilir.

i) *Madde aktarımı*: Çift yıldız sistemlerinin O-C diyagramında parabolik bir değişim gözlenmesi durumunda bileşenler arasında korunumlu madde aktarımı durumu olabilir. Korunumlu madde aktarımında bir bileşen tarafından kaybedilen maddenin tamamı eşi tarafından kazanılır. Böylece çift sistemin toplam kütlesi, toplam yörüngesel açısal momentumu ile birlikte korunmuş olur. Bu nedenle $M_1 + M_2 = M_T$ sabit kalır ($dM_1 = -dM_2$). Madde aktarım oranını hesaplamak için (Rovithis-Livaniou, 2005),

$$\dot{M} = \frac{\dot{P}}{3P} \frac{M_1 M_2}{(M_1 - M_2)} (M_\odot/\text{yıl}) \quad (2.3)$$

eşitliği kullanılabilir. Burada \dot{M} güneş kütlesi cinsinden madde aktarım oranını, M_1 , M_2 sistemdeki bileşenlerin kütlelerini, P sistemin yörüngesel dönemini ve \dot{P} ise dönem değişimini ifade etmektedir.

ii) *Madde ve açısal momentum kaybı*: Çift yıldız sistemlerinde madde kaybı dönem değişimine sebep olabilecek diğer etkenlerden biridir. Bu sistemlerde en çok olması beklenen olaylardan biri olan ve korunumlu olmayan madde kaybı yıldız rüzgarları veya Roche lobu taşması nedeniyle gerçekleşebilir. Bir nova veya süpernova sonucunda da madde kaybı meydana gelebilir. Yıldız rüzgarları nedeniyle madde kaybı için yazılabilecek en basit gösterim,

$$\frac{\dot{P}}{P} = \frac{-\dot{M}}{(M_1 + M_2)} \quad (2.4)$$

şeklindedir (Rovithis-Livaniou, 2005).

Dönem değişimine neden olan diğer bir etken olan açısal momentum kaybı ise manyetik frenleme veya kütle çekimsel radyasyon nedeniyle oluşur (Andronov *et al.* 2003; Brinkworth *et al.* 2006; Vogel *et al.* 2008; Rappaport *et al.* 1983). Çift yıldız sistemlerindeki bileşen yıldız bir kabuk dinamo mekanizması tarafından beslenen bir manyetik alana sahiptir. Açısal momentum kaybı bu manyetik alan kuvvetine ve yıldız rüzgarlarına bağlıdır. Bu mekanizmaya kısaca “manyetik frenleme” denilmektedir. Kısa dönemli sistemlerde önemli olan bir diğer açısal momentum kayıp mekanizması ise kütle çekimsel radyasyondur. Çift sistemler bu radyasyonu yayarken beraberinde açısal momentum kaybı da gerçekleştirir. Yıldız rüzgarları ile açısal momentum kayıp oranı, kütle çekimsel radyasyonun neden olduğu açısal momentumun kayıp oranından çok daha büyüktür. Sistemin toplam açısal momentum oranı, her iki mekanizma tarafından gerçekleşen açısal momentum kayıp oranı toplanarak elde edilir. Bu açısal momentum kaybı, yörünge ayırlığı azaldıkça artmakta, fakat sistemin toplam kütlesi azaldıkça azalmaktadır. Sistemdeki toplam açısal momentum, J ;

$$J = M_1 M_2 \sqrt{\frac{Ga}{M}} \quad (2.5)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada M_1 ve M_2 , bileşenlerin kütleleri, M sistemin toplam kütlesi a ise yörünge yarı-büyük eksen uzunluğunu tanımlar. Sistemde açısal momentum kaybı, j ;

$$j = \frac{1}{3} \left(\frac{G^2}{2\pi M} \right)^{\frac{1}{3}} M_1 M_2 \frac{\dot{P}}{P^{\frac{2}{3}}} \quad (2.6)$$

eşitliği ile verilir. Bağlantıda P ve \dot{P} sırasıyla, çift sistemin yörünge dönemini ve yörünge dönem değişimini ifade etmektedir.

Kütle çekimsel radyasyonun neden olduğu açısal momentum kaybı, J_{grav} ;

$$\left(\frac{dJ}{dt}\right)_{grav} = -\frac{32}{5} \frac{G^{7/2}}{c^5} a^{-7/2} M_1^2 M_2^2 M^{1/2} \quad (2.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, c ışık hızıdır.

Manyetik frenleme nedeniyle oluşan açısal momentum kaybı, \dot{J}_{fren} ise

$$\left(\frac{dJ}{dt}\right)_{fren} = -3.8 \times 10^{-30} M R_O^4 \left(\frac{R}{R_O}\right)^Y \omega_3 \quad (2.8)$$

eşitliği ile verilir. Burada, ω rad s⁻¹ cinsinden bileşen yıldızın açısal dönme frekansını, R ve R_O sırasıyla bileşen yıldızın ve Güneş'in yarıçaplarını tanımlar.

iii) *Manyetik etkinlik*: Bir çift yıldız sistemindeki bileşen yıldızın Güneş benzeri manyetik çevrimi sonucunda ortaya çıkan manyetik etkinliği sistemin O-C diyagramında kısa zaman ölçeğinde görünen yarı düzenli veya yarı periyodik değişimlere neden olabilir (Applegate 1992; Lanza *et al.* 1998). Bu manyetik etkinlik yıldızın çekirdeği ile onun dış bölgeleri arasında transfer edilen bir miktar açısal momentum üretebilir. Bu transfer, yıldızın çekirdeği ile onun dış kabuğunun açısal hızlarının değişmesine ve bunun sonucunda ikisi arasında uyumsuzluklara ve şekilsel olarak bozulmalara neden olur. Böylece yıldızın kuadrupol momentinde O-C diyagramına yansıyan yarı-periyodik değişimler/salınımlar meydana gelir. Çift yıldız sisteminde manyetik etkinlik nedeniyle dönem değişimi;

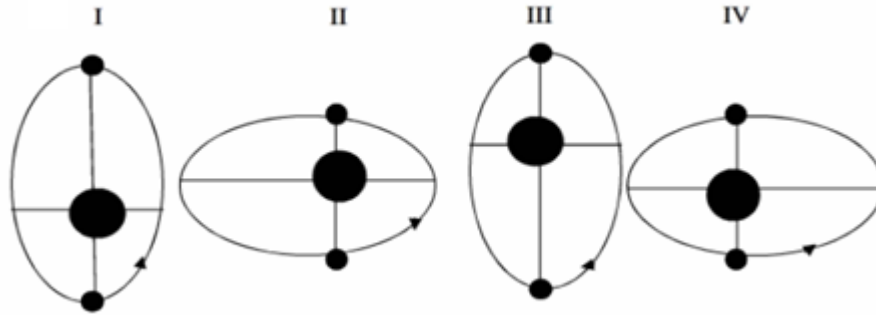
$$\frac{\Delta P}{P} = -9 \frac{\Delta Q}{M_{etk} a^2} \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, ΔP sistemdeki yörüngesel dönem değişimini, M_{etk} ve ΔQ sırasıyla manyetik olarak aktif yıldızın kütlesini ve kütle çekimsel kuadrupol momentini, a ise çift yıldız sisteminin yörünge ayrıklığını tanımlar.

iv) *Eksen dönmesi*: Kütle kaybı ve madde aktarımı gibi fiziksel etkenler dönem değişimi üzerinde tekyönlü bir değişime neden olur ve sistemin yörüngesel periyodu uzar veya kısalmır. Fakat eksen dönmesi çift yönlü periyodik bir değişime neden olur. Eksen dönmesi 3 farklı şekilde karşımıza çıkmaktadır:

- Işık eğrisindeki ardışık birinci ve ikinci minimum zamanların farklılık göstermesi
- Minimumlardaki iniş ve çıkış kollarının asimetrisi
- İkinci minimumun birinci minimuma göre evre kayması göstermesi

Eksen dönmesinin sayısal olarak gözlenmesi için en uygun durum, yan minimumların baş minimumlara göre kayma miktarlarını elde etmektir. Bu işlem için de minimum sürelerinin gözlemlenmesi gerekmektedir. Şekil 2.14’de birinci minimumlar sürekli sıfır evreye oturtularak ikinci minimumların 0.5 evre civarındaki sinusoidal olarak salınması gösterilmektedir.



Şekil 2.14. İkinci minimumun birinci minimuma göre evre kaymasının gösterimi (Bozkurt 2006)

Bu sistemler genelde sinüs eğrisine sahip bir değişime sahip iken bunun dışında birbirine paralel çevrimli değişim gösteren türleri de görülebilir. Teorik ve gözlemsel bulguların karşılaştırılması için eksen dönmesi gösteren sistemlerin analizleri ve böylece bileşen yıldızların içyapı sabitine ulaşılması önemlidir (Bozkurt 2006).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada, bazı yakın örten çift yıldız sistemlerinin (CV'ler ve PCEB'ler gibi) minimum zamanları hesaplanarak yörüngesel dönemlerinde herhangi bir değişimin olup olmadığı “*zamanlama*” yöntemi kullanılarak incelendi ve varsa, bu değişimlere neden olan etkenlerin neler olduğu tartışıldı. İncelenen kaynakların listesi Çizelge 1.1’de verilmiştir. Seçilen kaynakların kısa yörünge dönemine sahip olması nedeniyle bir gözlem sezonu içerisinde birçok örtülme gözlenebildi (her ay için 1–3) ve kullanılan hassas CCD kameralar sayesinde minimum zamanları birkaç saniye doğrulukla tespit edilebildi. Ayrıca yılın her zamanı için gözlenebilecek aday kaynaklar seçilmiştir. Kaynak seçiminde dikkat edilen diğer bir husus ise gözlenecek kaynakların keskin ve derin minimumlara (Şekil 1.1) sahip olmasıdır.

3.1.1. İncelenen Kaynaklar

i) NSVS 14256825

NSVS 14256825 sdOB ile dM türü yıldızları içeren ve 159 dakikalık yörüngesel döneme sahip olan bir PCEB sistemidir (Almeida *et al.* 2012). Ayrıca HW Vir türü bir çift yıldız sistemi olan NSVS 14256825’nin parlaklığı 13.22–14.03 (V) kadir aralığındadır (Wils *et al.* 2007). Spektroskopik ve fotometrik gözlemlerden, sistemin eğimi $i = 82.5^\circ \pm 0.3^\circ$, bileşenlerin kütlesi ile yarıçapları $M_1 = 0.419 \pm 0.070 M_\odot$, $R_1 = 0.188 \pm 0.010 R_\odot$ ve $M_2 = 0.109 \pm 0.023 M_\odot$, $R_2 = 0.162 \pm 0.008 R_\odot$ ve bileşenler arası uzaklığı $a = 0.80 \pm 0.04 R_\odot$ olarak hesaplanmıştır (Almeida *et al.* 2012). Bu sistem, North Sky Variability Survey (NSVS) ile keşfinden (Wozniak *et al.* 2004) bu yana takip edilmiş ve birçok minimum zamanı elde edilmiştir (Kilkenny *and* Koen 2012; Beuermann *et al.* 2012a; Almeida *et al.* 2013; Lohr *et al.* 2014).

ii) HU Aqr

AM Her yıldızlarının bir üyesi olan HU Aqr, oldukça yüksek manyetik alanlı bir beyaz cüce ile M4V türü bir eş yıldıza ve 125 dakikalık yörüngesel döneme sahip bir çift yıldız sistemidir (Warner 1995). Örtülme anında sisteminin parlaklığı 3–4 kadir düşebilmektedir (Şekil 1.1b). Hem optik (15–19 kadir) hem de X-ışını dalga boylarında polarlar arasında en parlak olanıdır (Schwope *et al.* 1993; Schwope *et al.* 2001). Bu nedenle, 1993 yılında ROSAT tarafından keşfedildiğinden beri, çeşitli dalga boylarında en kapsamlı olarak gözlemlenen ve çalışılan polardan biri haline gelmiştir (Schwope *et al.* 1993, 2001; Harrop-Allin *et al.* 1999; Bridge *et al.* 2002; Schwarz *et al.* 2009). Schwope *et al.* (2001) tarafından ilk defa sistemin yörüngesel döneminde yarı-periyodik bir değişimin olduğu bildirilmiştir.

iii) V470 Cam

Hamburg Schmidt Quasar Survey ile keşfedilen V470 Cam (HS 0705+6700), parlaklığı 14.6 (R) kadir olan, sdB ve dM türü yıldızları içeren ve 138 dakikalık yörüngesel döneme sahip olan bir PCEB'dir. Işık eğrisi ve radyal hız ölçümlerinden, birinci ve ikinci bileşenlerin sırasıyla kütleleri $0.483 M_{\odot}$ ve $0.134 M_{\odot}$, yarıçapları $0.239 R_{\odot}$ ve $0.186 R_{\odot}$, sistemin yörünge yarı-ana eksenini $0.81 R_{\odot}$ ve eğimi 84° olarak hesaplanmıştır (Drechsel *et al.* 2001). Bu sistem için, keşfinden bu zamana kadar birçok minimum zamanı elde edilmiş ve ışık eğrisi parametrelerinin doğruluğu üzerine çalışmalar yapılmıştır (Niarchos *et al.* 2003).

iv) HW Vir

sdB çift yıldız sistemlerinin prototipi olan HW Vir 168 dakikalık bir yörüngesel döneme sahip degen bir çift sistemdir (Menzies *and* Marang 1986). Ayrıca UV Sky Surveys ile parlaklığı 10.5 (V) kadir olarak belirlenmiş (Carnochan *and* Wilson 1983) ve Włodarczyk *and* Olszewski (1994) tarafından Mt. Shuro Gözlemevin'deki 60 cm'lik teleskop kullanılarak birinci bileşenin yarıçapı $R_1 = 0.18 R_{\odot}$ ve kütlesi $M_1 = 0.5 M_{\odot}$

olan sıcak sdB alt-cüce, ikinci bileşenin yarıçapı $R_2 = 0.18 R_{\odot}$ ve kütlesi $M_2 = 0.15 M_{\odot}$ olan H-R diyagramında ana kola yakın bir yıldız olarak tespit edilmiştir. Bu sistemin dönem değişimi neredeyse keşfinden bu yana birçok araştırmacı tarafından takip edilmiştir. İlk minimum zamanı 1984'te elde edilmiştir (Marang *and* Kilkenney 1989; Kilkenney *et al.* 1991, 1994, 2000). Sistemin azalan yörüngesel dönemi ilk olarak Kilkenney *et al.* (1994) tarafından rapor edilmiştir.

iv) NSVS 07826147

Kısa dönemli (233 dk) değen bir çift yıldız sistemi olan NSVS 07826147, sdB ve dM türü yıldızları içeren yedinci sistemdir (Kelley *and* Shaw 2007). HW Vir türü olan bu sistemin parlaklığı 13.08 (V) kadir olup oldukça derin bir minimuma sahiptir (Şekil 1.1). Sistemin fiziksel parametreleri $M_1 = 0.376 \pm 0.055 M_{\odot}$, $R_1 = 0.166 \pm 0.007 R_{\odot}$, $M_2 = 0.113 \pm 0.017 M_{\odot}$, $R_2 = 0.152 \pm 0.005 R_{\odot}$ ve yörüngesel ayrıklığı ise $a = 0.98 \pm 0.04 R_{\odot}$ olarak bulunmuştur (For *et al.* 2010). İlk dönem değişimi For *et al.* (2010) tarafından incelenmiştir.

3.1.2. Gözlemleri

Seçilen kaynakların gözlemleri, ağırlıklı olarak Antalya Bakırlitepe'de bulunan TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi bünyesindeki SI 1100 Serisi CCD kameraya sahip 100 cm'lik T100 teleskopu ile kısmen de Andor DW436 kameraya sahip RTT150 teleskopu ve Adıyaman Üniversitesi Merkezi Araştırma Merkezi Laboratuvarına bağlı gözlemevi bünyesindeki yüksek hızlı ve hassasiyetli Andor İkon-M 934 CCD kameraya sahip 60 cm'lik ADYU60 teleskopu ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Girit adasında bulunan Skinakas (SKO) Gözlemevindeki 1.3 m'lik teleskop (Andor DZ436 CC kamera) ve Polonya'da bulunan Suhora (SUH) ile Krakow (KRK) gözlemlerindeki 60 cm'lik küçük çaplı teleskoplar (sırasıyla Apoge Alta U47 ve iKon DZ-936B-BV CCD kameralar) da kullanılmıştır. Bununla birlikte Bulgaristan Ulusal Astronomi Gözlemevinde (NAO) bulunan 2 metrelik teleskop (Princeton Instruments VersArray, PIVA dijital kamera sistemi), del Roque de Los Muchachos gözlemevindeki (ORM, La

Palma, İspanya) 2 metrelik robotik Liverpool teleskopu (RISE kamera, Steele *et al.* 2004) ve Thai Ulusal Gözlemevinde (TNO, Tayland) bulunan 2.4-m'lik teleskop (ULTRASPEC, Dhillon *et al.* 2014) gibi yurtdışında bulunan bazı teleskoplarla da gözlemler yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan teleskopların ayrıntılı bilgilerine ulaşmak için ayrıca bkz. Gozdziwski *et al.* (2012, 2015), Nasiroglu *et al.* (2017) ve Slowikowska *et al.* (2018).

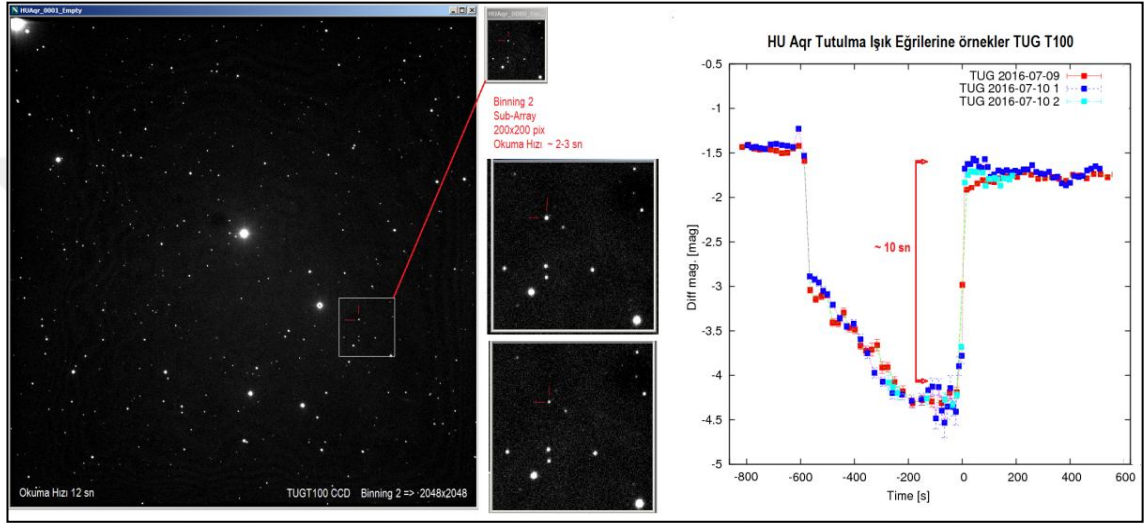
3.2. Yöntem

3.2.1 Gözlem Verilerinin Toplanması

Gözlem verilerinin büyük bir çoğunluğu filtresiz (beyaz ışık) ve temel görüntü indirgeme verileri Bias, Dark ve Flat her gözlem gecesi için ayrı ayrı alındı. TUG T100 teleskopu, ADYU60 teleskopu ve yurtdışında kullanılan teleskoplar ile gözlem yapılırken, kaynaklardan daha iyi ışık toplanabilmesi için gözlem zamanları özellikle Yeniay dönemlerine (karanlık gecelerde) göre planlandı. Örtülme ışık eğrilerinin hassas bir şekilde elde edilebilmesi için kullanılan CCD kameraların görüntü okuma süreleri ve incelenen kaynakların parlaklıkları oldukça önemlidir. Bu nedenle, incelenen kaynakların parlaklıklarına göre uygun teleskoplar kullanılmıştır. ADYU60 teleskopu için poz süresi kaynağın parlaklığına bağlı olarak 10 ile 20 s arasında değişmektedir. Kullanılan CCD (1Kx1K) kameranın görüntü okuma süresi 1 s'den daha kısa bir süre olup, gözlem zamanında incelenen kaynaklardan seri ve hızlı bir şekilde veri alma imkanı sağlamaktadır.

TUG T100 teleskopunda ise poz süresi kaynağın parlaklığına göre 3 ile 10 s arasında değişmektedir. Bu teleskopta gözlem sırasında CCD'nin (4Kx4K) görüntü okuma hızını düşürmek için binning-2x2 modu kullanıldı ve okuma hızı 12–13 s'ye kadar düşürüldü. HU Aqr gibi bazı sönük cisimlerin gözlemi sırasında ise Binning-2x2 modu ile birlikte Sub-Array modu kullanılarak görüntü boyutu 300x300 piksele ve poz süresi 3–5 s'ye düşürülerek okuma hızı 2–3 s'ye düşürüldü. Şekil 3.1.'de Sub-array yöntemi ile HU Aqr'in gözleminden elde edilmiş ışık eğrileri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi

sadece ilgilenilen alanın görüntüsü alınarak hızlı bir şekilde foton sayımı yapılabilmektedir. Bu yöntem kullanılarak HU Aqr ve örtülme ışık eğrisi buna benzer diğer çift yıldız sistemleri için örtülmelerin iniş/çıkış (ingress/egress) kolları ve minimum zamanları hassas bir şekilde elde edilebilmektedir. Uygulanan gözlem yöntemleri için ayrıca bkz. Gozdziwski *et al.* (2012, 2015), Nasiroglu *et al.* (2017).



Şekil 3.1. TUG T100 teleskopunda Sub-Array yönteminin kullanılması

Görüntü boyutu ve poz süresi düşürülerek görüntü okuma hızı 2–3 s'ye düşürülmüş ve HU Aqr çift yıldız sistemindeki örtülmenin çıkış kolu hassas bir şekilde gözlenebilmiştir.

3.2.2. Verilerin İndirgenmesi

Veri indirgeme işlemi *Python*, *Iraf* ve *SExtractor* gibi yazılımlar kullanılarak yapıldı. Veri indirgeme işlemi sırasında standart Bias (anlık görüntü), Dark (Kara akım) çıkarımı ve Flat (düz alan görüntüsü) düzeltmeleri yapıldı. Andor CCD'ler için dark üretimi ihmal edilebilir seviyede olduğu için o CCD'lerden alınan görüntüler için sadece Bias ve Flat indirgemesi yapıldı. Temel amacımız sadece fark ışık ölçümünü elde etmek olduğu için herhangi bir standart yıldız gözlenmedi. Fakat veri indirgeme süresince karşılaştırma yıldızı olarak kaynağa hem parlaklık hem de konum olarak en yakın yıldız kullanıldı.

Bu işlemlerden sonra her bir yıldızın örtülme ışık eğrisi fark ışık ölçümü yapılarak elde edildi. Daha sonra, O-C diyagramlarının elde edilmesinde kullanılan minimum zamanları, örtülme ışık eğrilerinin uygun fonksiyonlar (Gauss, Sigmoid, polinom, vb.) ile fit edilmesi sonucunda hassas bir şekilde hesaplandı. Şekil 3.2 ve 3.3’de ADYU60 ve TUG T100 teleskopları ile yapılan gözlemlerden elde edilen bazı çift yıldız sistemlerinin örtülme ışık eğrileri ve minimum zamanlarının hesaplanması için uygulanan fit modellerine örnekler verilmiştir.

Minimum zamanları her bir kaynak için literatürdeki hesaplanma şekline göre ele alındı. Bazı kaynaklarda bu zaman örtülme sürecinin tam orta noktası ve bazı kaynaklarda ise örtülmedeki çıkış veya iniş kolunun tam orta noktası olarak hesaplanmıştır. Örnek olarak, V470 Cam, NSVS 14256825, HW Vir, vb., çift yıldız sistemlerinin örtülme ışık eğrileri ters Gauss fonksiyonunun $G(\tau)$ bir polinom $P(\tau)$ ile çarpımından elde edilen eşitlik ile fit edilerek minimum zamanları hesaplandı. Bu eşitlik,

$$F(t) = P(\tau) \min(1, G(\tau)) \quad (3.1)$$

$$G(\tau) = p_2 - p_3 \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{|\tau|}{p_4} \right)^{p_5} \right] \quad (3.2)$$

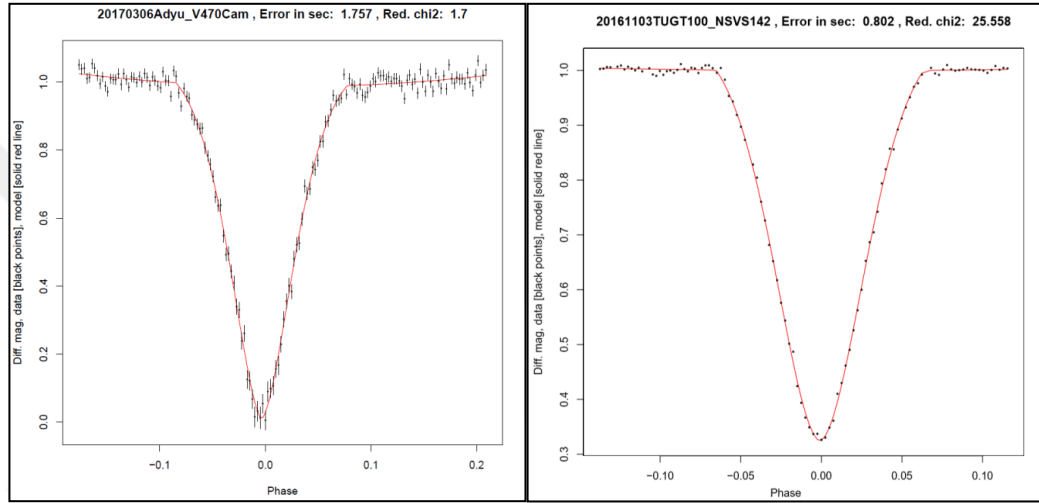
$$P(\tau) = p_6 + p_7 \tau + p_8 \tau^2 \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilebilir (Beuerman *et al.* 2012). Burada, $\tau = t - p_1$ ve p_i , $i = 1...8$ ise fit parametreleridir. Uygulanan bu model her bir örtülme ışık eğrisinin tam orta noktası olan minimum zamanını tespit etmektedir (Şekil 3.2).

HU Aqr gibi çift yıldız sistemlerinin minimum zamanları örtülmelerdeki çıkış kolunun sigmoidal bir fonksiyon ile fit edilerek tam orta noktalarının tespit edilmesiyle hesaplanmıştır (Şekil 3.3). Bu sigmoidal fonksiyon,

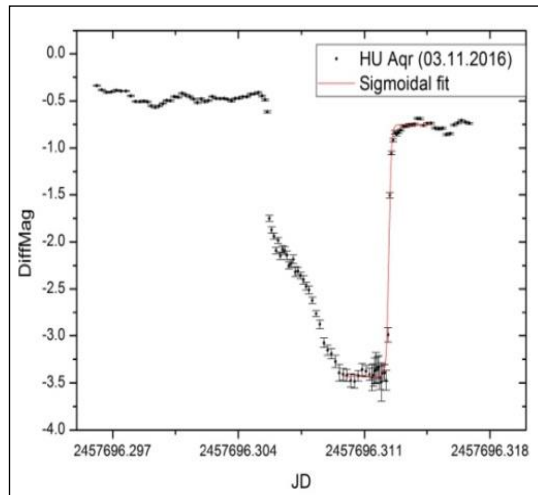
$$I(t) = a_1 + \frac{(a_2 - a_1)}{(1.0 + \exp([t_0 - t]/\Delta t))} \quad (3.4)$$

burada, a_1 ve a_2 sırasıyla örtülmedeki çıkış kolundan önceki ve sonraki değerler, t_0 : a_1 ve a_2 limit değerleri arasındaki orta nokta (minimum zamanı), Δt : t değerindeki değişme miktarı (Gozdziewski *et al.* 2012).



Şekil 3.2. V470 Cam ve NSVS 14256825'in ADYU60 ve TUG T100 teleskopları ile yapılan gözlemlerden elde edilen ışık eğrileri

Siyah noktalar indirgeme sonrası fark ışık ölçümünden elde edilen örtülme ışık eğrilerini, kırmızı çizgi ise minimum zamanını elde etmek için ışık eğrisine uygulanan fit modelini (Eşitlik 3.1) göstermektedir.



Şekil 3.3. HU Aqr'in TUG T100 teleskopundan elde edilen örtülme ışık eğrisi
Burada örtülmenin çıkış kolu Eşitlik 3.4 ile fit edilerek minimum zamanı tespit edilmiştir.

Işık eğrilerinin uygun fonksiyonlar ile fit edilmesi sonucu JD olarak elde edilen minimum değerleri her bir kaynak için BJD değerlerine dönüştürüldü (Eastman *et al.* 2010). BJD'ye dönüştürülen minimum zamanlarından gözlenen minimum (O = Observed) zamanları ve $T_{calc}(L) = T_0 + P_0L$ eşitliğinden ise hesaplanan minimum (C = Calculated) zamanları elde edilebilir. Bu değerlerin farkının O-C, çevrim (L) değerlerine karşılık grafiği ise O-C diyagramını verir (Budding *and* Demircan 2007; Andrae *et al.* 2010).

3.2.3. Dönem değişimlerinin incelenmesi

İncelediğimiz kaynakların yörüngesel dönemlerinde değişim olup olmadığına bakmak için her bir kaynağın elde edilen minimum zamanları doğrusal ışık elemanları ile fit edilir. Bunu yaparken, çift yıldız sistemindeki iki yıldızın izole olduğunu ve sistemdeki dönem değişimine neden olan herhangi bir mekanizmanın olmadığını göz önünde tutarak minimum zamanlarının

$$BJD = T_0 + P_0L \quad (3.5)$$

şeklinde doğrusal olması beklenir (Hilditch 2001). Burada, T_0 doğruluğundan emin olunan başlangıç minimum zamanını (referans epoch), P_0 sistemin yörünge dönemini, L ise T_0 'dan itibaren meydana gelen örtülme sayını veya çevrim numarasını simgeler.

Sistemde dönem değişimine neden olan herhangi bir LTT etkisi varsa bu etki doğrusal ışık elemanları fitinden sonra sistematik bir artık olarak gözlenir. LTT etkisinden kaynaklanan bu artıkların tekrarlayan olması beklenir. Bu yüzden objelerin dönem değişimlerinin verimli bir şekilde incelenebilmesi için her bir obje için uzun dönemli veri toplanması gerekmektedir. LTT etkisini tartışabilmek için aşağıdaki gibi yeni fit modelleri uygulanır.

LTT etkisinin doğrusal ışık elemanları ile birleştirilmesiyle sistemin minimum zamanı,

$$T_{\ddot{ort}}(L) = T_0 + P_0 L + \tau(K_i, P_i, e_i, \omega_i, T_i) \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, τ , LTT sinyalinin simgelemektir. Sistemdeki gezegenlerin yörünge parametrelerini temsil eden $(K_i, P_i, e_i, \omega_i, T_i)$ ise aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Hilditch (2001)'i takiben sistemdeki dönem değişimlerine neden olan LTT etkisine uygulanabilecek fit modellerinden doğrusal ışık elemanlı modeli

$$(O - C) = T_{\ddot{ort}}(L) - T_0 - P_0 L = \tau(K_i, P_i, e_i, \omega_i, T_i) \quad (3.7)$$

ve kuadratik ışık elemanlı modeli,

$$(O - C) = T_{\ddot{ort}}(L) - T_0 - P_0 L - \beta L^2 = \tau(K_i, P_i, e_i, \omega_i, T_i) \quad (3.8)$$

şeklinde gösterilebilir. Kuadratik ışık elemanlı modelindeki $\beta = P\dot{P}/2$ niceliğinden dönem değişimlerinin sistemde olabilecek diğer fiziksel mekanizmalardan kaynaklanıp kaynaklanmadığı tartışılabilir. Fitler sonucunda yörünge dönemindeki değişimlerden elde edilen artıklar incelenir ve bir veya birden fazla Kepler yörünge modeli ile fit edilerek sistemde gezegen olup olmadığı tartışılır.

Burada çift yıldız sistemindeki iki yıldız, kütleleri toplanarak (m_*) tek bir yıldızmış gibi düşünülür. Eşitlik 3.7'den yola çıkarak sistemdeki herhangi bir gezegen için LTT sinyali

$$\tau(t) = -\frac{\zeta_i}{c} \quad (3.9)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada, c ışık hızı ve ζ_i

$$\zeta_i(t) = K_i \left[\sin\omega_i(\cos E_i(t) - e_i) + \cos\omega_i \sqrt{1 - e_i^2} \sin E_i(t) \right] \quad (3.10)$$

Bu eşitlikteki $i = 1,2..$ gezegenlerin numarası, e_i ve ω_i sırasıyla sistemin dinamik merkezine göre gezegenlerin yörünge eksentrisitesi ve perihelin argümanı, $E_i(t)$ ise $n_i(t - T_i) = E_i(t) - e_i \sin E_i(t)$ şeklinde Kepler eşitliklerinden elde edilen eksentrisite anomalisidir. Bu eşitlikteki $n_i = 2\pi/P_i$ Kepler'in 3. yasası uyarınca gezegenin LTT yörüngesindeki ortalama hareketini temsil eder. T_i ve $P_{i=1,2}$ sırasıyla gezegenlerin perihelden geçiş zamanı ve yörünge dönemini temsil eder. LTT sinyalinin yarı-genlik değerleri K_i ,

$$K_1 = \left(\frac{1}{c}\right) \frac{m_1}{m_1+m_*} a_1 \sin I_1 \quad \text{ve} \quad K_2 = \left(\frac{1}{c}\right) \frac{m_2}{m_1+m_2+m_*} a_2 \sin I_2 \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir. Burada, $a_{i=1,2}$ gezegen yörüngelerinin yarı-büyük eksen uzunluğu, $I_{1,2}$ referans düzlemi ile gezegenlerin gerçek yörüngesi arasındaki açı, m_* yıldızların toplam kütlesi ve $m_{1,2}$ ise gezegenlerin kütesidir. Daha sonra, fitlerden elde edilen parametrelerden yola çıkarak, incelenen dönem değişimlerinin kaynağının ne olduğu tartışılır.

LTT sinyalinden yola çıkarak, dönem değişimleri için uygun en-küçük-kareler yöntemi uyguladıktan sonra kütle-fonksiyonu da elde edilebilir. Buradaki G , evrensel çekim sabitidir.

$$f(m_i) = \frac{(m_i \sin I)^3}{(m_i+m_*)^2} = \frac{4\pi^2}{G} \frac{(a_i \sin I)^3}{P_i^2} \quad (3.12)$$

Kullanılan yöntem ve modellerin ayrıntıları için bakınız (Goździewski *et al.* 2012).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMALAR

Çalışmalarımız kapsamında Haziran 2014 ve Ocak 2018 tarihleri arasında incelenen kaynaklardan 300'e yakın minimum zamanı elde edilmiş ve bu kaynakların O-C diyagramları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, bazı sistemlerin O-C diyagramlarında gözlenen değişimlerin olası bir LTT etkisi sonucunda oluştuğu ve bazılarında ise LTT'ye ek olarak veya sadece fiziksel etkenlerin sebep olduğu düşünülmektedir. Bazı sistemlerin O-C diyagramlarında ise herhangi bir değişimine rastlanmamıştır. Çoğu kaynakta gözlenen değişimlerin daha iyi irdelenebilmesi için daha uzun dönemli gözlem verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

4.1. NSVS 14256825

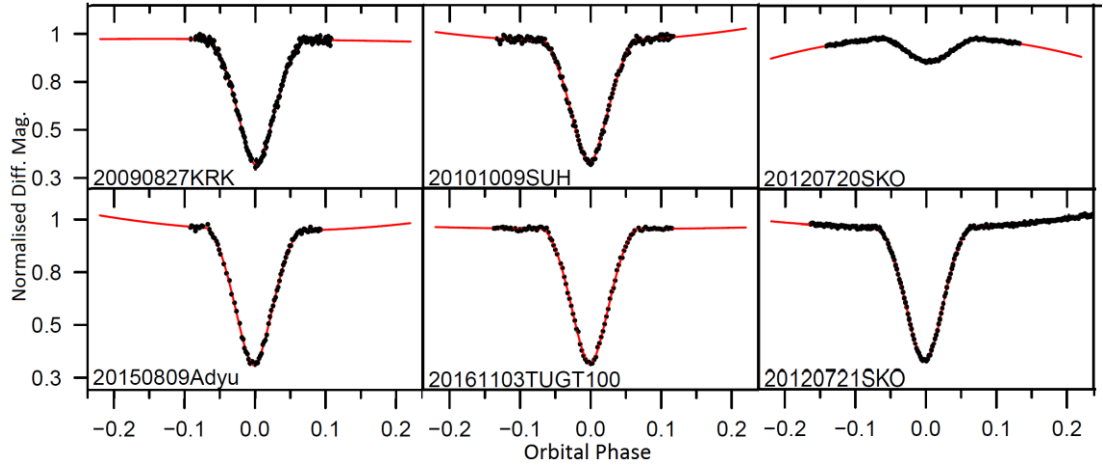
NSVS 14256825'nin minimum zamanları şüana kadar Wils *et al.* (2007), Kilkenny *and* Koen (2012), Beuermann *et al.* (2012a), Almeida *et al.* (2013) ve Lohr *et al.* (2014) tarafından elde edilmiş ve sistemin O-C diyagramı incelenmiştir. Bununla birlikte Qian *et al.* (2010b) ve Zhu *et al.* (2011)'de bu sistemin O-C diyagramında değişimlerin olduğunu önermiş, fakat bu önerilerini destekleyecek herhangi bir gözlemsel veri paylaşmamışlardır. Kilkenny *and* Koen (2012) sistemin yörüngesel döneminde $\sim 1.1 \times 10^{-10} \text{ ss}^{-1}$ oranında bir artış olduğunu, Beuermann *et al.* (2012a) ise sistemin yörüngesel dönemindeki değişimin çevrimsel bir yapıda olduğunu ve bu değişimin sistemdeki 12 M_{jup} kütleli ve ≥ 20 yıllık döneme sahip bir ötegezegenin neden olduğunu önermişlerdir. Daha sonra, Almeida *et al.* (2013) literatürdeki listeye 10 yeni minimum zamanı ekleyerek O-C diyagramındaki değişimin sistemdeki jüpiter benzeri iki dev gezegenin (sırasıyla dönem ve yarıçapları 3.5 yıl ve 6.7 yıl, 3 M_{jup} ve 8 M_{jup}) neden olduğu LTT etkisinden kaynaklandığını öne sürmüşlerdir.

Wittenmyer *et al.* (2013), Almeida *et al.* (2013)'nin önerdikleri iki gezegen modelinin dinamiksel kararlılık testini içeren bir çalışma yapmış ve bu modelin 1000 yıldan biraz daha kısa bir zaman ölçeğinde dinamiksel olarak kararsız olduğunu rapor etmişlerdir.

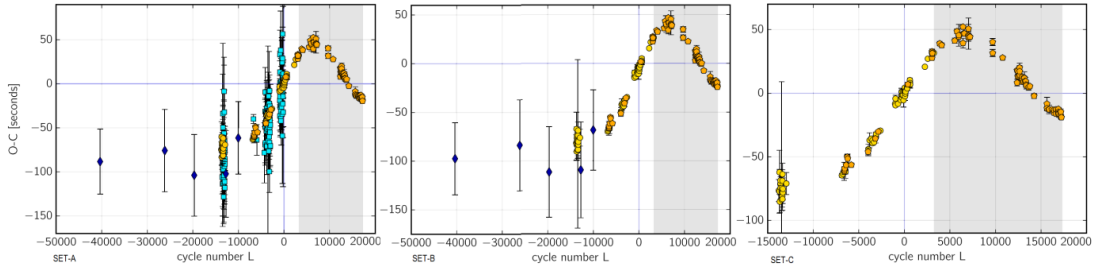
Daha sonraki bir çalışmada ise mevcut tüm minimum zamanları üzerine Jakobiyen-tabanlı LTT modeli (Eşitlik 3.6–3.11; Gozdziwski *et al.* 2012) uygulanarak O-C diyagramı irdelenmiş ve halihazırda bulunan bu literatür verilerinin ikili veya tekli gezegen modelini açıklamak için yeterli olmadığı rapor edilmiştir (Hinse *et al.* (2014). Son olarak, Lohr *et al.* (2014) bu sistem için SuperWASP arşivinden derlenen birçok yeni minimum zamanı paylaşmış ve bu minimumlar, 2006–2011 yılları arasındaki O-C diyagramında görülen dönem artışına uyması dışında önceki modelleri açıklamak için herhangi bir katkı sağlamamıştır.

Çalışmalarımız kapsamında NSVS 14256825 için 2009–2016 yılları arasında 83 yeni minimum zamanı toplandı. Bu değerlerinin büyük bir çoğunluğu TUG T100 ve ADYU60 (51 minimum) teleskopları ile geri kalan kısmı ise Skinakas, Suhora ve Krakow gözlemlerinde (32 minimum) yapılan gözlemlerden elde edildi (Şekil 4.1). Böylece, ilk örtülmenin gözlemlendiği tarihten bu yana (17 yıl) literatürdeki değerler ile birlikte toplamda 153 minimum zamanı ve sistemin O-C diyagramı güncellenerek yeniden incelendi. SuperWASP arşivinden derlenen minimum zamanları bu 153 minimum değerlerine dahil değildir. Veri indirilmesi ve analizi için “yöntem” kısmında (Bölüm 3.2) anlatılan adımlar takip edildi. Elde edilen tüm minimum zamanları BJD’ye çevrildi. Literatürden ve çalışmalarımız kapsamında elde edilen tüm veriler aynı koşullar altında toplanmadığı, bazıları büyük hata oranlarına ve dağılımlara sahip olduğu için bu verileri üç-set şeklinde incelendi. Doğrusal ışık elemanları (lineer efemeris) kullanılarak üç veri seti için elde edilen O-C diyagramları Şekil 4.2.’te verilmiştir. Burada, “gri” renk ile boyanmış bölge çalışmalarımız kapsamında elde edilen verileri göstermektedir.

- *Veri Seti-A*, tüm verileri içermektedir: ASAS ve NSVS verileri (Beuermann *et al.* 2012a), SuperWASP verileri (Lohr *et al.* 2014) ve çalışmalarımız kapsamında elde edilen veriler dahil tüm CCD verileri.
- *Veri Seti-B*, bu veri setinden SuperWASP verileri çıkarılmıştır.
- *Veri Seti-C*, bu veri setinden SuperWASP, ASAS ve NSVS verileri çıkarılmıştır.



Şekil 4.1. NSVS 14256825 için TUG, ADYU, SKO, KRK ve SUH gözlemlerinden elde edilen örtülme ışık eğrileri ve bu eğrilere uygulanan fit modeli (Eşitlik 3.1).



Şekil 4.2. NSVS 14256825'nin farklı veri setleri için elde edilen O-C diyagramları. Lacivert dörtgenler ASAS ve NSVS verilerini, açık mavi kareler SuperWASP verilerini, sarı renkli daireler literatürdeki CCD verilerini ve turuncu renkteki beşgenler (gri alan) ise çalışmalarımız kapsamında toplanan verileri göstermektedir.

Veri Seti-A için elde edilen lineer efemeris parametreleri;

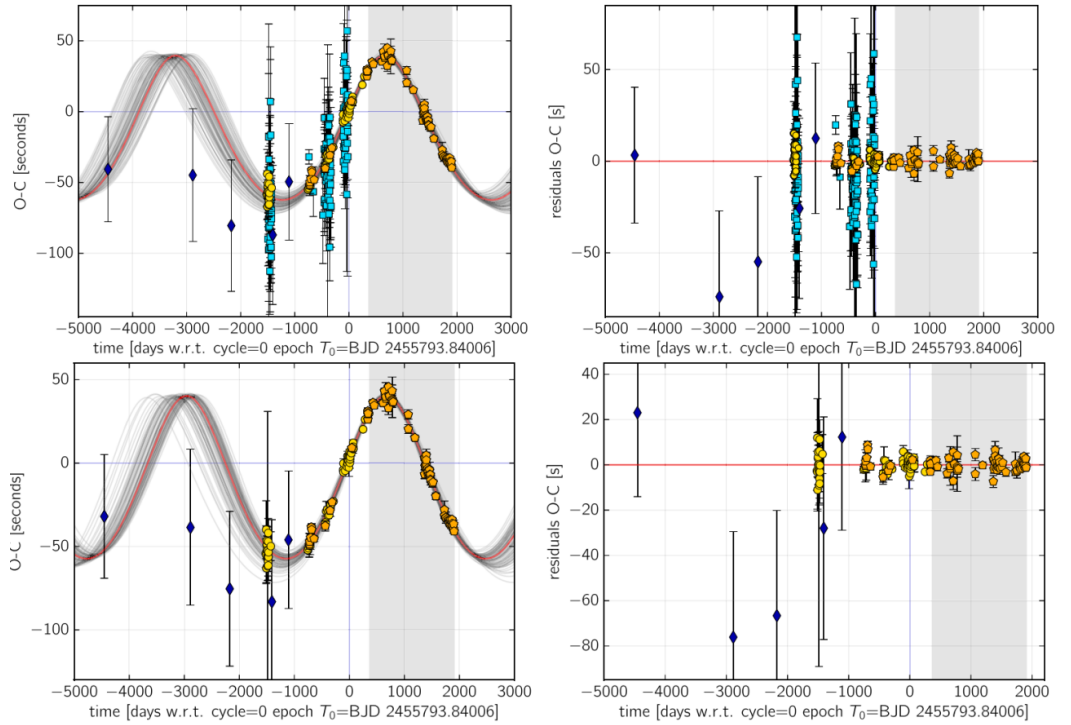
$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2455793.84004 (2) + L 0.110374083(2) \quad (4.1)$$

Veri Seti-B ve C için elde edilen lineer efemeris parametreleri;

$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2455793.84005 (3) + L 0.110374082(3) \quad (4.2)$$

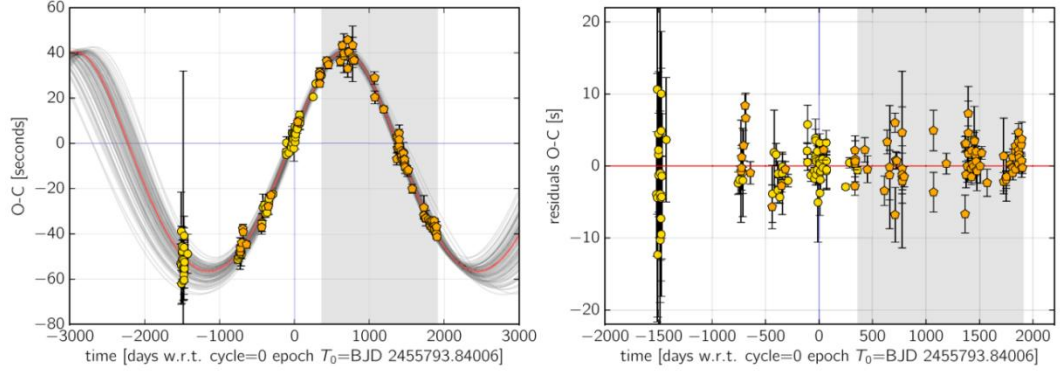
burada, T_{efem} L çevriminin minimum zamanının (BJD) lineer efemerisini tanımlıyor. $L=0$ çevrimine karşılık gelen minimum zamanı $T_0 = \text{BJD } 2455793.840061$. Eşitlik 4.1 ve 4.2'den de görüldüğü gibi her ne kadar ASAS, NSVS ve SuperWASP verileri O-C diyagramında görülen yarı-sinüsoidal eğilimden sapsmış görünse de, her üç veri seti için lineer efemeris parametreleri birbirleri ile aynı değerde bulundu.

Her üç veri setindeki minimum zamanlarını sistemde olduğu varsayılan üçüncü cisim ile modellemek için Eşitlik 3.7’de verilen formül kullanıldı. Her bir set için uygulanan fit modeli ve kalan artıklar Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te verildi. Şekil 4.4’te görüldüğü gibi, Veri Seti-C’ye uygulanan fit modelinden O-C diyagramında görülen LTT’ye neden olan üçüncü cismin 10 yıllık döneme ve yaklaşık $15 M_{\text{Jup}}$ kütlesine sahip bir kahverengi cüce olduğu düşünülmektedir. Veri Seti-C için uygulanan modelden elde edilen efemeris parametreleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu sonuçlar daha önce elde edilenlerden oldukça farklıdır. Örneğin, Beuermann *et al.* (2012a) tarafından üçüncü cisim için elde edilen yörüngesel dönem 20 ile 70 arasında olup, dönemin 20 yıl olması halinde sistemin eksantrisitesi $e=0.5$ bulunmuştur. Uyguladığımız modelden, LTT sinyalinin yarı-genliği, Hinse *et al.* (2014) tarafından elde edilenden yaklaşık 2 kat daha büyük bulunmuştur. O-C diyagramının genliği, yıldızlarda manyetik çevrim oluşması için gerekli enerji miktarını hesaplamak için önemlidir. Bu kaynak için elde edilen sonuçların ayrıntıları için bkz. Nasiroglu *et al.* (2018).



Şekil 4.3. Veri Seti-A (sol üst panel) ve Veri Seti-B (sol alt panel) için en iyi fit modeli (kırmızı çizgi)

Sağ paneller; en uygun çözümden kalan artıklar.

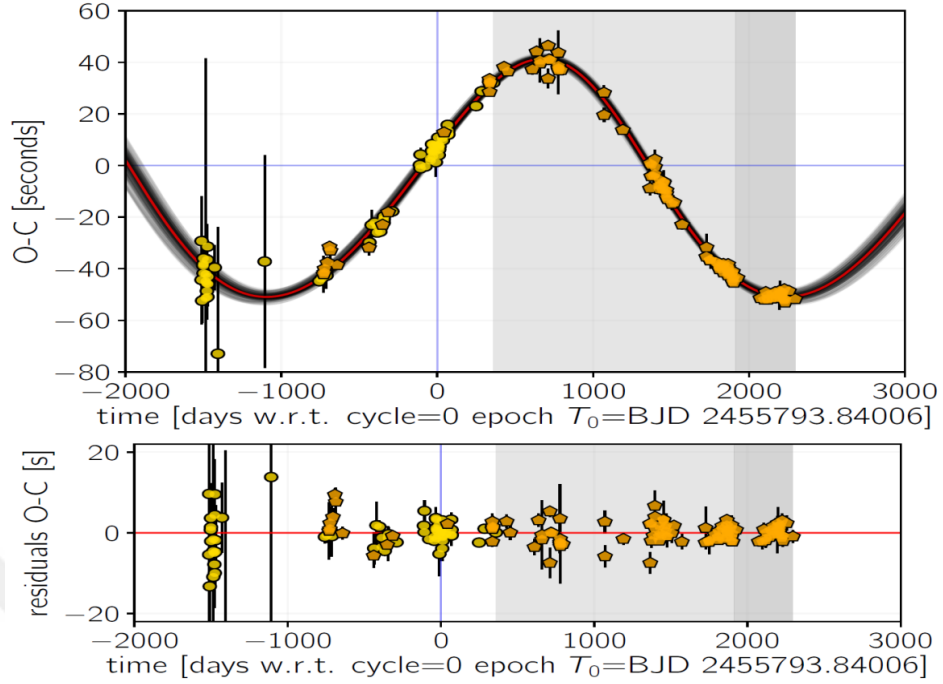


Şekil 4.4. Veri Seti-C için en iyi fit modeli (kırmızı çizgi)
Sağ panel; en uygun çözümden kalan artıklar.

NSVS 14256825 için 2017 yılında elde edilen 4 yeni minimum zamanı (2'si TUG T100 ve 2'si ADYU60'tan) listeye eklenerek sistemin O-C diyagramı yeniden fit edildi. Elde edilen yeni sonuçlar daha önce Nasiroglu *et al.* (2017)'de yayınlanan sonuçları bir kez daha doğruladı. Bu yeni sonuçlar IAU Sempozyumunda yayınlandı (Nasiroglu *et al.* 2018). Son olarak, bu sistem için 2017 yılının ikinci yarısında 24 yeni minimum zamanı daha elde edildi. Yeni veriler, O-C diyagramında daha önce elde edilen çevrimsel yapının devam ettiğini açık bir şekilde göstermekte ve sistemdeki üçüncü cismin varlığı konusunda oldukça güçlü kanıtlar sunmaktadır (Şekil 4.5).

Çizelge 4.1. Veri Seti-C için uygulanan modelden elde edilen efemeris parametreleri.

Parameter	Value	$+\sigma$	$-\sigma$
K (s)	48.9	1.6	1.2
P (day)	3632.8	169.6	131.7
x	0	0.045	0.042
y	0.175	0.032	0.031
τ (day)	7938.5	246.5	161.8
P_{bin} (day)	0.110374099	2×10^{-9}	3×10^{-9}
Δt_0 (day)	-5×10^{-5}	2×10^{-5}	2×10^{-5}
σ_f (s)	1.8	0.2	0.2
Mass (M_{Jup})	14.75	0.13	0.13
a (au)	3.74	0.12	0.09
e	0.175	0.012	0.003
ω (deg)	90.11	15.37	12.89



Şekil 4.5. NSVS 14256825 için 2017 yılının ikinci yarısında elde edilen yeni veriler ile birlikte güncellenen O-C diyagramı ve uygulan fit modeli
Açık-gri olan bölge Nasiroglu *et al.* (2017)'de yayınlanan veriler. Koyu-gri olan bölge ise yeni elde edilen ve henüz yayınlanmayan verileri göstermektedir.

4.2. HU Aqr

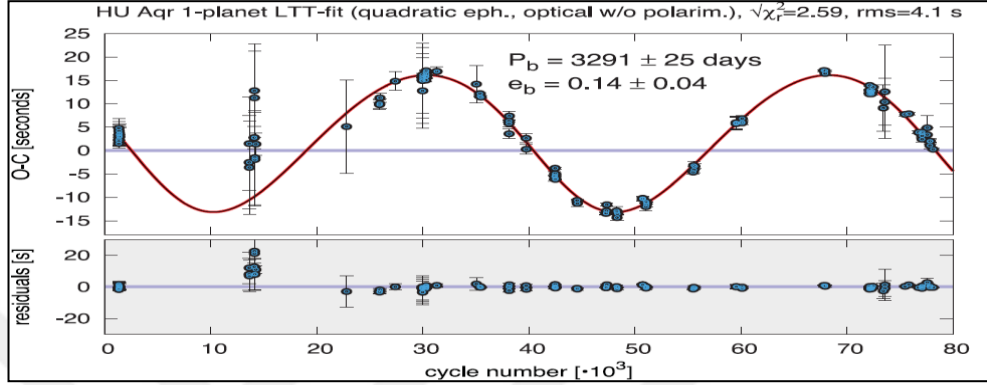
Polar sınıfının en parlak ve en çok çalışılan üyelerinden biri olan HU Aqr, 15–19 kadir arasında değişen bir parlaklığa sahiptir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi örtülme anında sisteminin parlaklığı yaklaşık 3–4 kadir düşebilmektedir. Örtülme süresince iniş ve çıkış kolunun geçiş süresi yaklaşık 7–10 s arasında değişmektedir. Bu sistemde minimum zamanı örtülmedeki çıkış kolunun tam orta noktası (Şekil 3.3 ve Eşitlik 3.4) olarak hesaplandığından bu zamanı hassas bir şekilde tespit edebilmek için büyük teleskoplar ve onlara takılı hızlı CCD'ler ile gözlemler yapılması gerekmektedir. Yurt dışında bulunan 2-m çaplı teleskoplar ve onlara takılı kameralar ile bu işlem kolaylıkla yapılabilmektedir (Şekil 1.1). TUG T100 teleskopu ile sub-array yöntemi (Bölüm 3.2.1) kullanılarak bu sistemin örtülme ışık eğrileri ve dolayısı ile minimum zamanları hassas bir şekilde elde edilebildi (Şekil 3.1). Ayrıca fotometrik bir gecede ADYU60 teleskopu kullanılarak 5–8 s'lik poz süresi (CCD'nin okuma hızı yaklaşık 1 s) ile yapılan bir

gözlemde 1 adet minimum zamanı hassas bir şekilde elde edilebildi. Çalışmalarımız süresince bu sistem için Mayıs 2015 ve Kasım 2017 tarihleri arasında 30'u TUG, 7'si TNO, 5'i NAO, 3'ü LT ve 1'i ADYU gözlemevinden olmak üzere toplamda 46 yeni minimum zamanı elde edildi. Böylece, yeni veriler ile birlikte bu sistem için toplamda 24 yıllık bir veri arşivi oluşturulmuş oldu (Nisan 1993–Kasım 2017). Elde edilen yeni minimumların 33'ü Slowikowska *et al.* (2018) tarafından yapılan bir çalışmada yayımlandı.

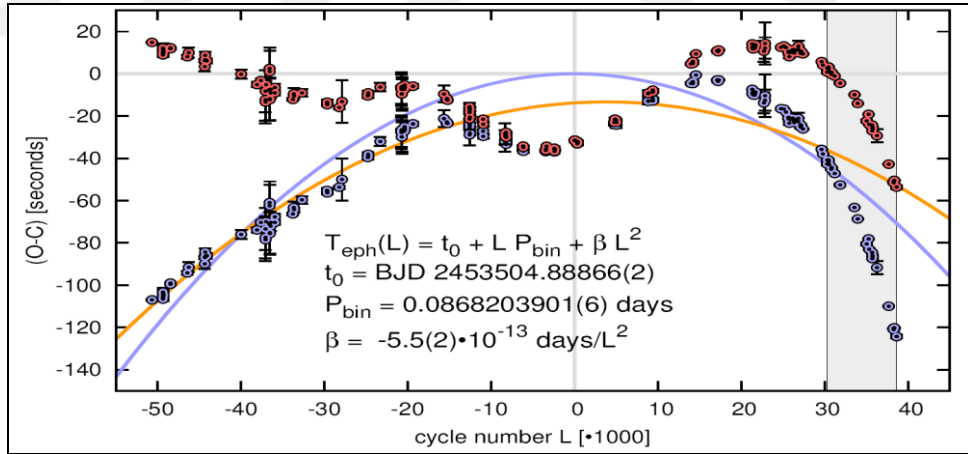
HU Aqr çift yıldız sistemi, 1971'deki keşfinden bu yana sürekli takip edilmiş ve şuana kadar 250'den fazla minimum zamanı elde edilmiştir (Warner 1995; Schwope *et al.* 1993, 2001). Schwope *et al.* (2001) ilk defa sistemin yörüngesel döneminde yarı-periyodik bir değişimin olduğunu rapor etmişlerdir. Son zamanlarda birçok makalede O-C diyagramındaki değişimler, HU Aqr sisteminin yörüngesinde dolanan tekli gezegen (Schwarz *et al.* 2009; Gozdziwski *et al.* 2012) modeli ve hatta ikili gezegen modeli (Qian *et al.* 2011; Gozdziwski *et al.* 2012) ile açıklanmaya çalışılmıştır. İkili gezegen modelinin 10^3 – 10^4 yıllık bir zaman ölçeğinde kararsız olduğu rapor edilmiştir (Horner *et al.* 2011; Wittenmyer *et al.* 2012). Gozdziwski *et al.* (2012) literatürde bulunan tüm veriler üzerine uygulanacak uygun bir N-cisim modelinin kararlı iki-gezegen modeli için bir çözüm üretme ihtimali olduğunu, fakat bunun içinde sistemin yörüngesel dönemindeki değişimin fiziksel etkilerden kaynaklanmayan bir düşüşe sahip olması gerektiğini öne sürmüşlerdir. Gozdziwski *et al.* (2012) sadece optik gözlem verilerini kullanarak O-C diyagramında sistem etrafında bir gezegenin varlığına dair kanıtlar gösteren yarı-sinüsoidal sinyaller elde etmiştir (Şekil 4.6). Bours *et al.* (2014) bu sistemin tekli, ikili ve üçlü gezegen sistemi modelleri için kararlılık testi uygulamış ve üç modelin de kısa zaman ölçeğinde kararsız olduğunu rapor etmiştir.

Yine grubumuzun, 2011–2014 yılları arasında elde edilen yeni verilerden (22 minimum) yaptığı başka bir çalışmada ise HU Aqr'nin O-C diyagramındaki değişim tekrar incelenmiş ve bu değişimde önceki yıllara göre aşağı doğru bir sapma olduğu gözlenmiştir. Bu sapmanın ikili gezegen sisteminden kaynaklanıyor olabileceği tartışılmış, fakat bu modelin de kararsız olduğu rapor edilmiştir (Şekil 4.7). Bununla

birlikte O-C diyagramında gözlenen bu sapmanın üçlü gezegen sisteminden ve/veya sistemdeki bileşen yıldızın manyetik etkinliği gibi diğer fiziksel etkenlerden kaynaklanıyor olabileceği tartışılmıştır (Goździewski *et al.* 2015).



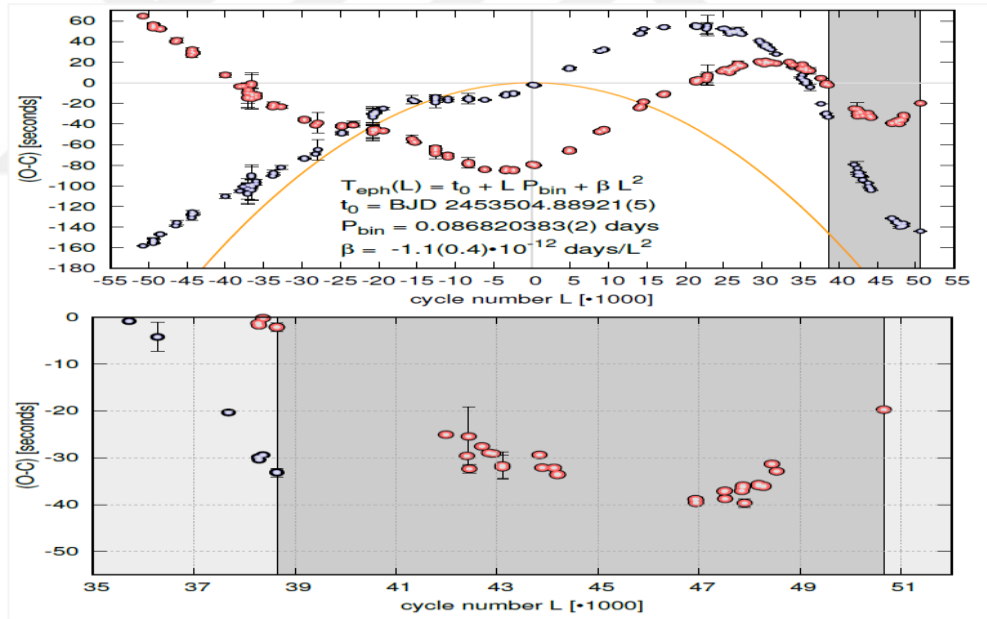
Şekil 4.6. HU Aqr için 2010 yılına kadar yapılan optik gözlemlerden elde edilen O-C diyagramına uygulanan kinematik kuadratik efemeris modeli ile sistemde yaklaşık $7 M_{\text{jup}}$ kütleli üçüncü bir cismin varlığı tartışılmıştır (Goździewski *et al.* 2012).



Şekil 4.7. HU Aqr için 2014 yılına kadar yapılan tüm gözlemlerden elde edilen O-C diyagramına uygulanan kinematik lineer (mavi) ve Kuadratik (kırmızı) efemeris modeli ile sistemde 12 ve $25 M_{\text{jup}}$ kütleli ikili-gezegen modeli tartışılmıştır. Gri-renk ile gölgelenen kısım 2012–2014 yılları arasında alınan yeni verileri göstermektedir (Goździewski *et al.* 2015).

Çalışmalarımız kapsamında, HU Aqr için, Mayıs 2015 – Mayıs 2017 tarihleri arasında olmak üzere farklı teleskoplar kullanılarak yapılan fotometrik gözlemlerden elde edilen 33 yeni minimum zamanı ile sistemdeki yörüngesel dönem değişimi Eşitlik 3.7 ve 3.8 kullanılarak tekrardan incelenmiştir. Şekil 4.8’de görüldüğü gibi 24 yıllık verilerden

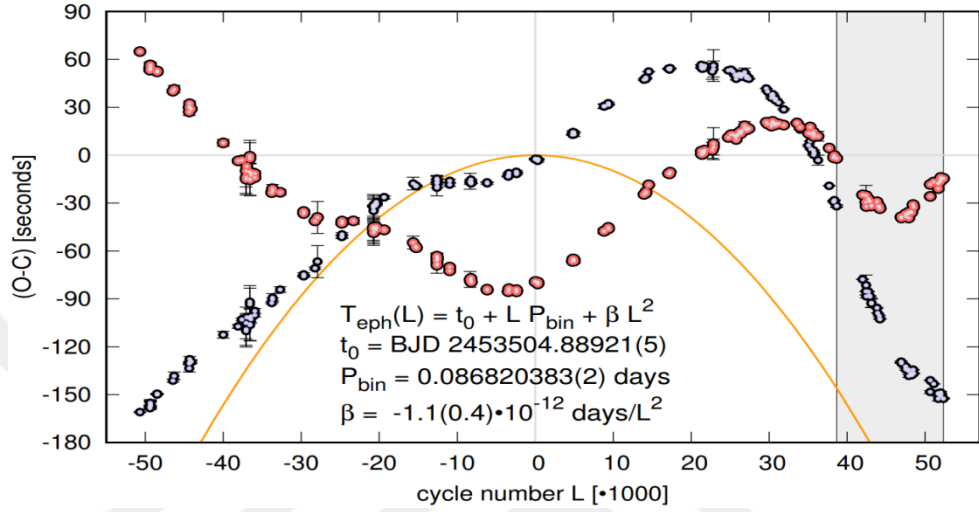
oluşan O-C diyagramında lineer efemeris için aşağı doğru sapma devam etmekte ve şuana kadar toplamda yaklaşık 220 saniye kadar değişim görülmektedir (mavi noktalar; -160s ile 60s arası). Benzer şekilde kuadratik efemeris için bu değişim yaklaşık 150 saniye mertebesinde (kırmızı noktalar; 60s ile -85s arası). Kuadratik efemeriste görülen aşağı yöndeki sapma Mayıs 2016'da birden ters bir yönelim ile yukarı doğru ilerlemeye başladı. Son birkaç yılda O-C diyagramında gözlenen aşağı doğru yönelimin daha sonra aniden yukarı doğru yön değiştirmesi Gozdziwski *et al.* (2015) tarafından rapor edildiği gibi olması beklenen durumu göstermektedir. Bu sonuç, O-C diyagramındaki bu değişimlere, sistemdeki gezegen bileşen(ler)inin dışında veya birlikte bazı fiziksel etkenlerin neden olabileceği yaklaşımını güçlendirmektedir (Slowikowska *et al.* 2018). Kuadratik efemeris için hesaplanan parametreler ($\beta = P\dot{P}/2$) şekiller üstünde verilmiştir.



Şekil 4.8. Üst Panel: HU Aqr için 2017 Mayıs ayına kadar yapılan gözlemlerden elde edilen O-C diyagramına uygulanan kinematik lineer (mavi) ve kuadratik (kırmızı) efemeris modelleri. Alt Panel: O-C diyagramının yakınlaştırılmış hali (35000 ile 51000 numaralı çevirimler arası). Koyu gri renk ile gölgelenen kısım 2015–2017 yılları arasında alınan yeni verileri göstermektedir. Kuadratik modelde yukarı doğru yönelim açık bir şekilde görülmektedir.

Son olarak, 2017 yılının ikinci yarısında TUG'da elde edilen 13 yeni minimum zamanı eklenip O-C diyagramının incelendiğinde kuadratik modeldeki yönelimin belirgin bir şekilde yukarı doğru devam ettiği görülmektedir (Şekil 4.9). Yeni veriler ile birlikte bu

sistem için şüana kadar toplanan bütün minimum zamanların kullanılmasıyla elde edilen yeni sonuçların daha önceki yıllarda O-C'de görülen değişimler için önerilen hiçbir gezegen modeli ile uyum içinde olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.9. HU Aqr için 2017 Kasım ayına kadar yapılan tüm gözlemlerden elde edilen O-C diyagramı ve uygulanan kinematik lineer (mavi) ve Kuadratik (kırmızı) efemeris modeli

Bölüm 2.7'de anlatıldığı gibi O-C değişiminin genlik değeri sistemde olması muhtemel Applegate mekanizması için gerekli enerjinin hesaplanmasında kullanılan bir parametredir. Völschow *et al.* (2016) tarafından HU Aqr'nin de içinde olduğu 16 yakın çift yıldız sistemi için Applegate mekanizmasını oluşturacak gerekli/yeterli enerji değerleri (ΔE_{min}) ile bileşen yıldızın üreteceği enerji ($E_{bl\gamma n}$) değerleri hesaplanmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. $\Delta E_{min} \ll E_{bl\gamma n}$ olması durumunda sistemdeki dönem değişimine Applegate mekanizmasının neden olduğu söylenebilmektedir. Völschow *et al.* (2016) HU Aqr sistemindeki bileşen yıldızın üreteceği enerji miktarının Applegate mekanizması için gerekli olan enerji miktarından bir kat daha az olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle sistemin O-C diyagramındaki değişimlere neden olan mekanizmanın Applegate olamayacağını ancak yaş ve metaliklik gibi belirsizlikler göz önünde bulundurulması durumunda bu sistemin Applegate mekanizmasını tetikleyebilme ihtimali olduğu rapor edilmiştir. Sonraki yıllarda yapılan benzer bir çalışmada ise $\Delta E_{min}/E_{bl\gamma n}$ oranı farklı çekirdek-kabuk transfer yarıçapları için 0.25, 0.41, 0.88 ve 6.3 olarak hesaplanmıştır (Navarrete *et al.* 2018). Yapılan hesaplamalar, sistemde O-C

değişime neden olabilecek manyetik etkinliği tetikleyebilecek enerjinin yeterli olabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, O-C diyagramındaki değişime bir LTT etkisi ile birlikte veya sadece manyetik etkinliğin neden olduğu ihtimalini güçlendirse de mevcut gözlemsel verilerin bu modelleri açıklamak için henüz yeterli olmadığını söyleyebiliriz.

4.3. V470 Cam

V470 Cam 2001'den bu yana takip edilmiş ve şüana kadar bu sistem için birçok minimum zamanı elde edilmiştir (Drechsel *et al.* 2001). Qian *et al.* (2010b) minimum zamanlarından elde ettikleri O-C diyagramında 7.15 yıllık döneme ve 92.4 saniyelik bir genliğe sahip çevrimsel bir değişim olduğunu rapor etmiş ve bu değişimin sistemdeki üçüncü bir cismin varlığından kaynaklandığını öne sürmüşlerdir. Daha sonraki yıllarda yapılan yeni gözlemlerden elde edilen O-C diyagramında ise yaklaşık 8 yıllık döneme ve 98.5 saniyelik genliğe sahip sinüsoidal bir değişim rapor edilmiş ve buna neden olanın sistemdeki 0.12 güneş kütleli 3. cismin olduğu önerilmiştir (Çamurdan *et al.* 2012). Kısa bir süre sonra Beuermann *et al.* (2012a) listeye yeni minimum zamanlarını ekleyerek O-C diyagramı yeniden irdelemiş ve benzer sonuçlar ile sistemin yörüngesel dönemindeki değişime neden olan LTT etkisinin 31 Jüpiter kütleli ve yaklaşık 8.4 yıl döneme sahip 3. bir cisimden kaynaklandığını rapor etmişlerdir. Pulley *et al.* (2015) literatürdeki listeye 25 yeni minimum zamanı ekleyerek elde ettikleri O-C diyagramına uygulanan fit modellerinden sistemdeki yörüngesel dönem değişimine tekli bir gezegen sisteminin ve hatta olası ikili bir gezegen sistemi varlığının neden olabileceğini önermişlerdir. Yakın bir zamanda ise Pulley *et al.* (2018) tarafından 65 yeni minimum zamanı ile bu sistem tekrar incelenmiş ve elde edilen yeni minimumların önceki çevrimsel yapının dışına doğru 40 saniyelik bir oranda saptığı rapor edilmiştir. Bu sapmanın sistemde var olan üçüncü cisim ihtimalini azalttığını ve alternatif olarak bu tür sistemlerde olabilecek diğer bir etken olan Applegate mekanizmasına doğru yönelim sağlayabileceğini ifade etmişlerdir. Buna neden olanın ise 2002 – 2007 yılları arasında elde edilen minimum değerlerinin 2009'da elde edilenler ile birlikte üçüncü bir

cisimden kaynaklanamayacak kadar fazla dağınık yapıya sahip olması olarak belirtilmiştir.

Çalışmalarımız kapsamında, bu sistem için TUG T100 ve ADYU60 ile gözlemlere Kasım 2014'te başlandı ve şüana kadar 58 yeni minimum zamanı elde edildi. Bu değerleri hesaplamak ve O-C diyagramındaki değişimleri incelemek için Bölüm 3.2.'de anlatılan yöntemler adım adım takip edildi. Elimizdeki veriler iki farklı şekilde ele alınarak kuadratik efemeris modeli uygulandı. 2016 Mayıs öncesinde toplanan 30 minimum değerinin literatürdeki verilere eklenmesi sonucu elde edilen kuadratik efemeris parametreleri (Eşitlik 4.3),

$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2451822.75860(4) + L * 0.095646709(2) - 0.55(21) * 10^{-14} * L^2 + \tau \quad (4.3)$$

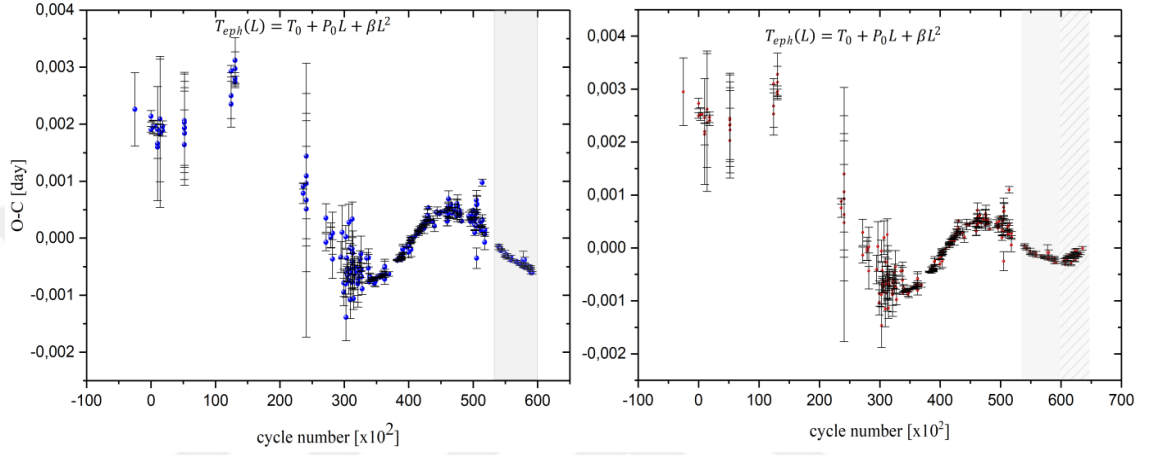
ve sonrasında toplanan 28 minimum değerinin eklenmesi sonucu hesaplanan kuadratik efemeris parametreleri (Eşitlik 4.4),

$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2451822.75801(4) + L * 0.095646745(2) + 5.6(2) * 10^{-13} * L^2 + \tau \quad (4.4)$$

şeklinde bulundu (Şekil. 4.10). Eşitlik 4.3 ve 4.4'teki kuadratik parametrelerden görüldüğü gibi ($\dot{P} = 2\beta/P$) sistemde önce azalan ve sonrada artan bir dönem değişimi görülmektedir (Şekil 4.10). Benzer sonuçlar ile sistemin zamanla artan bir dönem değişimi gösterdiğini öneren Pulley *et al.* (2018)'nin kuadratik terimi değerini $5.5(9) * 10^{-13}$ olarak hesaplamıştır.

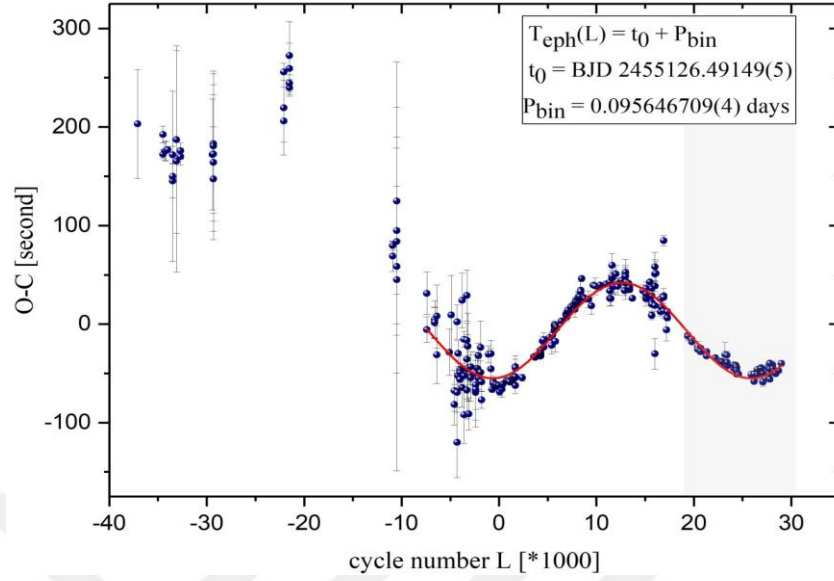
Uygulanan modellerden sistemin dönem değişimine neden olan etkinin üçüncü cisimden kaynaklanıp kaynaklanmadığı henüz doğrulanmamaktadır. Bununla birlikte şüan için bu değişimleri açıklayacak başka muhtemel senaryo da bulunmamaktadır. Bu sistem için, Völschow *et al.* (2016) ve Navarrete *et al.* (2018) tarafından Applegate mekanizmasını tetikleyecek enerji değerinin sistemdeki bileşen yıldızın ürettiği enerji

değerinden oldukça büyük olduğu ($\Delta E_{min}/E_{blşn} \sim 20 - 140 \gg 1$) hesaplanmıştır. Bu nedenle, sistemdeki dönem değişimine neden olan etkinin Applegate mekanizmasının olamayacağı bunun yerine üçüncü cisim etkisi olmasının daha muhtemel olduğu belirtilmiştir.



Şekil 4.10. V470 Cam'nin farklı zamanlarda elde edilen verilerinde oluşturulan O-C diyagramları. Soldaki panel 2016 Mayıs ayı öncesindeki verileri, sağdaki panel tüm verileri kapsamaktadır. Gri ve çizgili gri bölgeler sırasıyla 2016 Mayıs öncesi ve sonrası yeni verilerimizi göstermektedir.

Elimizdeki verilerden oluşturulan O-C diyagramı ayrıca lineer efemeris modeli ile incelendi (Şekil 4.11). O-C diyagramının sadece -10000 ile 30000 çevrimleri arasındaki bölümü (son 10 yıllık veriler) göz önünde bulundurularak, O-C diyagramında yaklaşık 7 yıllık döneme ve 49 saniyelik genliğe sahip sinüsoidal bir yapının belirginleştiğini görebiliriz (Şekil 4.11'de). Bu yapının bu şekilde devam edip etmeyeceği önümüzdeki yıllarda yapılacak gözlemler sonucunda belli olacaktır. Eğer sinüsoidal eğilimin devam ettiği gözlenirse, 2007'den önceki veriler ile birlikte veya onlarsız yeni modellerin tartışılmasının önü açılacaktır. Bu nedenle bu sistemin gözlemlerine devam edilmesi ve en azından 2-3 yıl daha takip edilmesi düşünülmektedir.

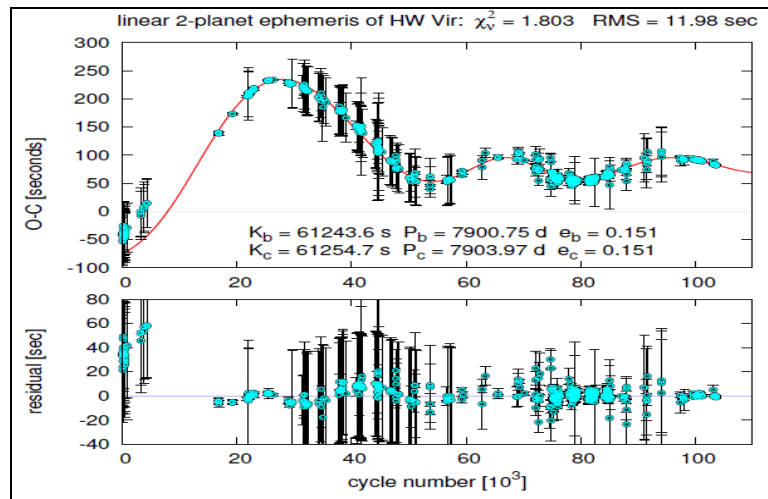


Şekil 4.11 V470 Cam için linear efemeris sonucu oluşturulan O-C diyagramı. Gri alan yeni verilerimizi göstermektedir.

4.4. HW Vir

Bu sistemin dönem değişimi 1986 yılından beri takip edilmektedir (Menzies *and* Marang 1986). Sistemin azalan yörüngesel dönemi ilk olarak Kilkenny *et al.* (1994) tarafından rapor edilmiştir. Çalışmalarında dönem değişimine manyetik frenlemenin sebep olduğu açısal momentum kaybından kaynaklandığı öne sürülmüştür. Daha sonra yapılan bir dizi çalışmada dönem değişimine neden olabileceği düşünülen üçüncü cisim etkisi tartışılmıştır. İbanoglu *et al.* (2004), O-C diyagramını yeni veriler ile güncelleyerek sistemdeki dönem değişimine üçüncü bir yıldızın (kahverengi cüce) neden olduğunu, Qian *et al.* (2008) ise dönem değişimine manyetik frenlemenin sebep olduğu açısal momentum kaybından kaynaklandığını ileri sürmüştür. Yeni minimum değerleri ile tekrarlanan çalışmalar sonucunda Lee *et al.* (2009), Beuermann *et al.* (2012b) ve Lohr *et al.* (2014) sistemdeki dönem değişiminin sistem etrafında dolanan üçüncü ve/veya dördüncü cismin neden olduğu LTT etkisinden kaynaklandığını önermişlerdir.

HW Vir'in Mart 2015 ile Haizran 2017 tarihleri arasında TUG T100 ve ADYU60 teleskopları ile yapılan gözlemlerden toplamda 35 yeni minimum zamanı elde edildi. Ocak-Haziran 2018 döneminde hem ADYU60 hem de TUG T100'deki hava koşullarının kötü olması nedeniyle bu sistem için yeni gözlem yapılamadı. HW Vir'in dönem değişimi lineer efemeris (Şekil 4.12 ve Eşitlik 4.5) modeli uygulanarak incelendi ($(\chi^2_{\nu})^{1/2} \sim 1.8$). Fit sonucunda O-C'deki değişimin birbirlerine zıt yörengede (anti-aligned) ve 21.6 yıllık döneme sahip olan ikili gezegen (Trojan-planets) sisteminden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Bu ikili gezegenin LTT sinyallerinin yarı genlikleri ise yaklaşık 61250 saniye mertebesinde bulundu. Bu büyük değerdeki genlikler gerçekçi olmamakla birlikte devasa büyüklükteki üçüncü cisimleri ($10 M_{\odot}$ 'ten çok büyük) işaret etmektedir. Bu büyük yarı genlikler çift sistemi zıt yörengelerde dolanan iki bileşenin LTT sinyali üzerinde karşılıklı olarak yapmış oldukları kütle çekim etkisinden kaynaklanıyor olabilir. Bu tür Trojan diziliminde zıt yörengelerdeki en küçük sapma bile bileşenlerin model üzerindeki kütlelerinde ve yarı-büyük eksenlerinde oldukça büyük değişimler gösterir. Ayrıca bu tür modeller dinamiksel olarak kararlılık göstermemektedir. Buna benzer bir model daha önce Gozdziewski *et al.* (2012) tarafından HU Aqr sistemi için tartışılmıştır. Aslında HU Aqr sisteminde karşılaşılan belirsizlikler bu sistemde karşılaşılanlar ile az çok benzer şekildedir.



Şekil 4.12. HW Vir'nin O-C diyagramdaki LTT etkisinin Kepler-Kinematik modeli ile (lineer) fit edilmesi (üst panel) fit sonucunda elde edilen artıklar (alt panel).

$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2445730.55948(7) + L * 0.1167194934(8) + \tau \quad (4.5)$$

Völschow *et al.* (2016) ve Navarrete *et al.* (2018) bu sistem için de Applegate mekanizmasını tetikleyecek enerji değerinin sistemdeki bileşen yıldızın ürettiği enerji değerinden oldukça büyük olduğunu ($\Delta E_{\text{min}}/E_{\text{blşn}} \sim 15 - 108 \gg 1$) hesaplamıştır. Bu sonuçlar bu sistemdeki üçüncü/dördüncü cisim varlığının ihtimalini arttırmaktadır. Sonuç olarak bu sistem içinde gerçekçi çözümlere ulaşmak için daha çok gözlemsel veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bir diğer seçenek ise sistemin “Doğrudan Görüntüleme” yöntemi kullanılarak incelenmesi sonucu muhtemel çözüme ulaşılmasında etkili olabilir. Önümüzdeki yıllarda kullanıma hazır olacak DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi)’taki dört metre sınıfı kırmızı-ötesi teleskop ile bu tür sistemler incelenerek sonuçlara daha hızlı bir şekilde ulaşılması mümkün olacaktır.

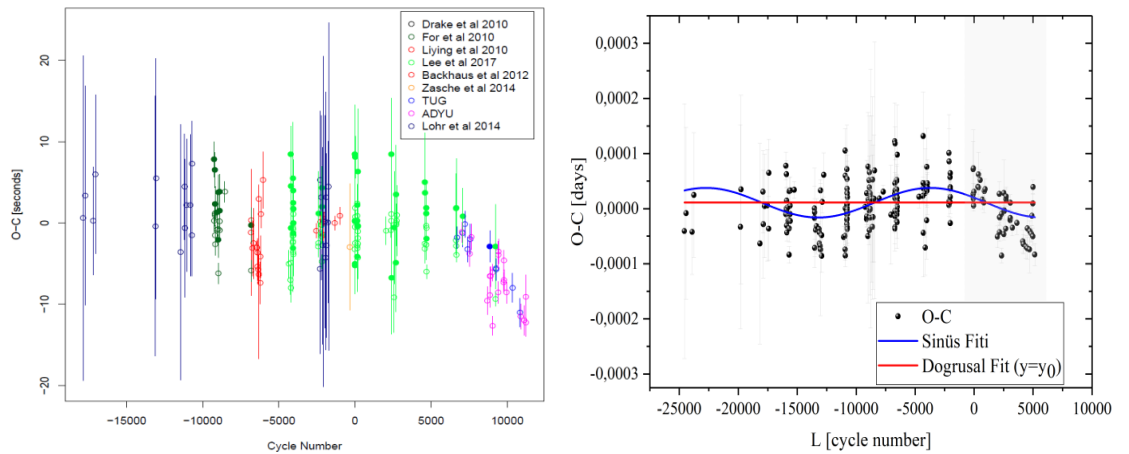
4.5. NSVS 07826147

2008 yılından 2012 yılında kadar bu sistem For *et al.* (2010), Zhu and Qian (2010) ile Backhaus *et al.* (2012) tarafından takip edilmiş ve literatüre onlarca minimum zamanı kazandırılmıştır. Bu süre zarfında sistemin O-C diyagramında herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Daha sonra Lohr *et al.* (2014) SuperWASP verileri ile bu sistemin listedeki minimum zamanlarını Mayıs 2004 tarihine kadar geriye doğru genişleterek sistemin yörünge döneminin kararlı olduğu yaklaşımını güçlendirmiştir. SuperWASP verilerinin eklenmesiyle sistemin periyodunda üst limit olarak 26 saniyelik bir değişiminden söz edilmiştir. Sistem için ilk periyodik değişim Zhu et al. (2015) tarafından önerilmiştir. Bu değişime neden olan 3.5 saniye genlikli LTT etkisinin sistemdeki 4.9 yıllık periyoda ve $4.7 M_{\text{jup}}$ kütesine sahip muhtemel bir üçüncü cisimden kaynaklandığı önerilmiştir. Daha sonra Lee *et al.* (2017) Mayıs 2010 ile Mayıs 2016 tarihleri arasında olmak üzere literatüre 111 yeni minimum zamanı kazandırmış bu veriler ile birlikte uyguladıkları lineer efemeris modellerinde de sistemin periyodunda kararlılığın devam ettiği gözlenmiştir.

NSVS 07826147 çalışmalarımız kapsamında Mart 2015 ve Temmuz 2017 tarihleri arasında TUG T100 ve ADYU60 teleskopları kullanılarak takip edildi. Bu sistem için toplamda 43 yeni minimum zamanı elde edildi. Sistemin 13 yıldır toplanan minimum değerleri hem Lee *et al.* (2017) makalesinde kullanılan lineer efemeris ve hem de kendi lineer efemeris modelimiz (Eşitlik 4.6) ile irdelendi. SüperWASP verileri de binlenerek (binning) listeye dâhil edildi. İlk bakışta her iki model için O-C diyagramındaki kararlılığın yaklaşık 9–10 saniyelik saçılmalar ile birlikte devam ettiği görülmektedir (Şekil 4.13). Bu saçılmalar üzerine sinüsoidal bir fit uyguladığımızda ise 2.3 saniye kadar oldukça küçük bir yarı genliğe ve 4.2 yıllık bir periyoda sahip çevrimsel bir yapı ortaya çıkmaktadır. Sonuçlarımız Zhu *et al.* (2015)'nin rapor ettiği sonuçlar ile uyuşmaktadır. Fakat çevrim numarası sıfırdan daha eski olan minimum zamanlarının hata değerleri 20 saniyeye kadar ulaşması (Şekil 4.13, sağ panel) ve elde edilen yarı genlik değerinin saçılmaların çok altında bir değerde kalması nedeniyle şuan için bu çevrimsel yapıyı dikkate almak için oldukça erkendir. Bu nedenle sistemin hassas CCD'ler ile gözlemlerine devam edilmesi gerekmektedir. Eğer, bu değişime neden olan üçüncü bir cisim var ise önümüzdeki gözlem dönemlerinde de bu çevrimsel yapının devam etmesi kaçınılmaz olacaktır.

$$T_{\text{efem}}(L) = \text{BJD } 2457106.523736 \quad (3)$$

$$+L * 0.1617704481(4) \quad (4.6)$$



Şekil 4.13. NSVS 07826147 çift yıldız sisteminin minimum değerlerine uygulanan Lineer efemeris modelleri.

Sol panelde Lee *et al.* (2017)'nin uygulamış olduğu lineer efemeris modeli kullanıldı. Sağ panel, Eşitlik 4.6'daki efemeris modelini ve gri alan ise bu çalışmalarımız kapsamında elde edilen yeni verileri göstermektedir.

5. SONUÇ

Sıcak alt cüce yıldızları (sdB), kırmızı dev aşamasında hidrojen katmanlarını kaybeden ve çekirdeklerinde helyum yakan ileri yatay kol yıldızlarıdır. Bilinen sdB'lerin yarısı 1.2 saat ile birkaç günlük periyoda sahip olan yakın çift yıldızlardan oluşmaktadır. Bunlardan, örtülme gösteren sdB türleri (HW Vir sistemleri) ise temel yıldız parametrelerinin saptanması için kullanılan önemli sistemler arasında yer almaktadır. Bu tür sistemlerin diğer bir özelliği de “ortak zarf” evresinden geçmeleridir. Bu sistemler, birincil yıldız geliştiğinde ve kırmızı dev olduğunda diğer bileşeni (düşük kütleli ana kol yıldızı veya kahverengi cüce) de içine alacak şekilde ortak bir zarf evresine doğru evrimleşir. Bu sürecin sonu belirsizdir, ancak farklı olası sonuçlar beklenir. Bileşen yıldız hayatta kalır ve kırmızı devin çekirdeği ile birleşebilir veya buharlaşır. Diğer bir yaklaşımda ise sistem CV'lerin atası olan bir PCEB'ye dönüşür (Schaffenroth et al. 2015). Bu karmaşık enerji etkileşimi bu sistemlerin en uygun çözümlerle modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların nedenlerinden biri de bileşen yıldızın tayfsal olarak gözlenebilir olmamasından kaynaklanmaktadır. Bir diğer zorluk ise örten yakın çift yıldızların bazılarında varlığı önerilen ve sistemin yörüngesel döneminde periyodik değişimlere neden olduğu düşünülen üçüncü cisimlerin (ötegezegen veya kahverengi cüce) oluşumlarının henüz tam anlamıyla açıklanabilmiş olmamasıdır. Bu cisimlerin sistemde oluşan “ortak zarfın fırlatılması sırasında mı, önce mi, sonra mı, zarf maddesinden mi veya fırlatılan maddeden mi” oluştukları hala belirsizdir. Bu tür belirsizliklerle birlikte, özellikle kısa zaman aralığında toplanan gözlemsel veriler bu sistemlerde gözlenen dönem değişimlerinin modellenmesini ve yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu tür sistemlerde ortaya çıkan dönem değişimlerinin üçüncü cisimlerin kütle çekimsel etkisinden mi veya manyetik etkinlik gibi diğer fiziksel etkenlerden mi kaynaklandığı hala tartışma konusu olup belirsizliğini sürdürmektedir.

Çalışmalarımız kapsamında, gözlemleri on yıllardır devam eden bazı örten yakın çift yıldız sistemlerinin (NSVS 14256825, HU Aqr, HW Vir, V470 Cam ve NSVS 07826147) takibine devam edilmiş ve gözlemsel veriler birkaç yıl daha genişletilmiştir.

Elde edilen örtülme zamanlarından yola çıkarak bu sistemlerin O-C diyagramları incelenmiş ve periyot değişimlerinin devam edip etmediğine bakılmıştır. Bazı sistemlerin O-C diyagramlarında gözlenen değişimlerin olası bir LTT etkisinden kaynaklandığını ve bazılarında ise LTT'ye ek olarak bu değişimlere fiziksel etkenlerinde neden olabileceği düşünülmüştür. İncelenen bir sistemde ise herhangi bir dönem değişimine rastlanmamıştır.

NSVS 14256825 sisteminin O-C diyagramında gözlenen değişimler bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından incelenerek farklı modeller ile açıklanmaya çalışılmıştır. Çalışmalarımız kapsamında elde edilen 111 yeni minimum zamanı ile birlikte toplamda 181 minimum zamanı kullanılarak bu sistemin O-C diyagramı yeniden incelendi. Kasım 2016'da 153 minimum zamanı üzerine uygulanan Jakobiyen tabanlı Kepler modeli O-C diyagramında gözlenen değişimin sistemi dolanan yaklaşık $15 M_{\text{Jup}}$ kütleyle ve 10 yıllık periyoda sahip bir kahverengi cücenin neden olduğunu gösterdi (Nasiroglu *et al.* 2017). Daha sonra bu sistem için 2017 yılında elde edilen 4 yeni minimum zamanı ile O-C diyagramı yeniden incelendi ve Nasiroglu *et al.* (2017)' de yayınlanan sonuçlar yeniden doğrulandı (Nasiroglu *et al.* 2018). Son olarak 2017 yılının ikinci yarısında elde edilen 22 minimum zamanı ile bu sistemin O-C diyagramındaki çevrimsel yapının devam ettiğini gözlemlendi. Bu sistem için Applegate mekanizmasını (manyetik etkinlik) tetikleyecek enerji değerinin sistemdeki bileşen yıldızın ürettiği enerji değerinden oldukça büyük olduğu ($\Delta E_{\text{min}}/E_{\text{blsn}} \sim 13 - 100 \gg 1$) hesaplanmıştır. Bu nedenle, sistemdeki dönem değişimine neden olan etkinin Applegate mekanizmasının olamayacağı bunun yerine üçüncü cisim etkisi olmasının daha muhtemel olduğu belirtilmiştir (Völschow *et al.* 2016; Navarrete *et al.* 2018). Bu sonuçlar sistemde üçüncü bir cismin var olduğu tezini güçlendirmektedir.

HU Aqr sistemi, keşfinden bu yana birçok araştırmacı tarafından takip edilmiş ve günümüze kadar 250'den fazla minimum zamanı elde edilmiştir (Warner 1995; Schwöpe *et al.* 1993, 2001 Schwarz *et al.* 2009; Qian *et al.* 2011; Gozdziewski *et al.* 2012). Sistemin O-C diyagramında gözlenen değişimler birçok model ile tartışılarak bu

değişime neden olan etkinin sistemde var olan üçüncü veya dördüncü gezegenden kaynaklanıyor olabileceği bildirilmiştir. 2011–2014 yılları arasında elde edilen 22 yeni minimum zamanı ile O-C diyagramı yeniden incelenmiş ve önceki yıllara göre aşağı doğru bir sapma olduğu gözlenmiştir. Bu sapmaya sistemdeki muhtemel gezegenler ile birlikte diğer fiziksel etkenlerinde neden olabileceği tartışılmıştır (Gozdziewski *et al.* 2015). Çalışmalarımız kapsamında, bu sistem için, Mayıs 2015 ile Mayıs 2017 tarihleri arasında 33 yeni minimum zamanı elde edilerek sistemdeki yörüngesel dönem değişimi yeniden incelendi. O-C diyagramında gözlenen sapmanın 2016 yılının sonlarına kadar devam ettiği ve 2017 yılının başlarında ise Kuadratik efemeris için bu sapmanın yukarı doğru yön değiştirdiği gözlendi (Slowikowska *et al.* 2018). 2017 yılının ikinci yarısında elde edilen 13 yeni minimum zamanı, O-C diyagramındaki ters yönelimin kuadratik model için belirgin bir şekilde devam ettiğini gösterdi. Volschow *et al.* (2016) ve Navarrete *et al.* (2018) tarafından bu sistemin manyetik etkinliği ($\Delta E_{min}/E_{blsn}$) için gerekli enerji miktarı hesaplanmış ve bu mekanizmayı tetikleyebilecek enerjinin sistemdeki bileşen yıldız tarafından üretilebileceği öne sürülmüştür. Bu sonuçlardan yola çıkarak O-C diyagramında görülen değişimin bir LTT etkisi ile birlikte (veya yalnızca) manyetik etkinlikten kaynaklandığı düşünülse de mevcut gözlemsel verilerin önerilen modelleri açıklamak için henüz yeterli olmadığı düşünülmektedir.

V470 Cam için, elde edilen yeni minimum zamanları ile sistemdeki periyot değişimi yeniden incelendi. Fakat sistemin dönem değişimine neden olan etkenleri açıklayabilecek uygun bir model henüz tanımlanamadı. Bu sistem için, Völschow *et al.* (2016) ve Navarrete *et al.* (2018) tarafından manyetik etkinliği tetikleyecek enerji değeri ($\Delta E_{min}/E_{blsn} \sim 20 - 140 \gg 1$) hesaplanmış ve elde edilen sonuçlardan sistemdeki dönem değişimine Applegate mekanizmasının neden olamayacağı bunun yerine üçüncü cisim etkisi olmasının daha muhtemel olduğunu belirtilmiştir. Benzer şekilde HW Vir için de elde edilen 35 yeni minimum zamanı ile O-C diyagramı yeniden incelendi. Sistemdeki bileşen yıldızın Applegate mekanizmasını tetikleyecek kadar enerji ($\Delta E_{min}/E_{blsn} \sim 15 - 108 \gg 1$) üretememesi (Völschow *et al.* 2016; Navarrete *et al.* 2018) dönem değişimine neden olan etkinin sistemdeki üçüncü/dördüncü cisimlerin olduğu ihtimalini arttırsa da bunu açıklayacak kararlı bir model henüz bulunamadı.

NSVS 07826147 için elde edilen 43 yeni minimum zaman ile O-C diyagramı yeniden incelendi ve uygulanan lineer efemeris modeli sistemin periyodunun kararlılığının devam ettiğini gösterdi. Bu kararlılığın bu şekilde devam edip etmeyeceğini görebilmek bu sistemde gözlemlerine ayrıca devam edilecektir.

Sonuç olarak, incelenen kaynakların dönem değişimlerini en iyi şekilde modellemek ve gerçekçi çözümlere ulaşabilmek için bu sistemlerin gözlemlerine daha uzun süreli olarak devam edilmesi gerekmektedir. Bir diğer seçenek ise bu sistemlerin “Doğrudan Görüntüleme” yöntemiyle incelenmesi sonucu gözlenen dönem değişimlerine başka bir bakış açısı getirebilir. Önümüzdeki yıllarda kullanıma hazır olacak DAG (Doğu Anadolu Gözlemevi, Erzurum)’taki dört metre sınıfı kırmızı-ötesi teleskop ile bu tür sistemler incelenerek sonuçlara daha hızlı bir şekilde ulaşılması mümkün olacaktır. Ayrıca Gaia (Anonim 2018g) uydusuyla yapılabilecek hassas fotometrik gözlemler, bu tür sistemlerin kütle merkezinin gökyüzü düzlemindeki hareketinin olup olmadığını doğrulamak için değerli olabilir. Böyle bağımsız kısıtlamalar/ölçümler bu sistemlerdeki üçüncü cisimleri varlığını onaylamak veya dışlamak için çok değerli olacaktır.

Çalışmalarımız kapsamında V470 Cam, HW Vir ve NSVS 07826147 çift yıldız sistemleri için elde edilen minimum zamanları bu tez kapsamında paylaşılmamıştır. Bu kaynaklardan elde edilecek yeni veriler ile birlikte dönem değişimleri yeniden tartışılacak ve tüm minimum zamanları hazırlanması planlanan ulusal/uluslararası yayınlarda paylaşılacaktır. NSVS 14256825 ve HU Aqr sistemlerinin Mayıs 2017 tarihine kadar olan tüm minimum zamanları yayınlanan makalelerde paylaşılmıştır (Nasiroglu *et al.* 2017, 2018; Slowikowska *et al.* 2018).

KAYNAKLAR

- Almeida, L. A., Jablonski, F., Tello, J., Rodrigues, C. V., 2012. A photometric and spectroscopic study of NSVS 14256825: the second sdOB+dM eclipsing binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 423(1), 478–485
- Almeida, L.A. and Jablonski, F., 2011. Two bodies with high eccentricity around the cataclysmic variable QS Vir. *The Astrophysics of Planetary Systems: Formation, Structure, and Dynamical Evolution, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 276, 495–496
- Almeida, L.A., Daminieli, A., Jablonski, F., Rodrigues, C. V., Cieslinski, D., 2014. Modelling photometric and spectroscopic data of HS 2231+2441: an HW Vir type system with a brown dwarf companion. *XIV Latin American Regional IAU Meeting*, 44, 35–35
- Almeida, L.A., Jablonski, F., Rodrigues, C.V., 2013. Two Possible Circumbinary Planets in the Eclipsing Post-common Envelope System NSVS 14256825. *The Astrophysical Journal*, Volume 766(1), 11, 5
- Andrae, R., Shulze-Hartung, T., Melchior, P., 2010. Dos and don'ts of reduced chi-squared. *ArXiv*, eprint arXiv:1012.3754
- Andronov, I. L., 2012. Phenomenological Modeling of the light curves of algol-type eclipsing binary stars. *Astrophysics*, 55(4), 536–550
- Andronov, N., 2005. Evolution of close binary stars with application to cataclysmic variables and blue stragglers. *Doktora Tezi*, Graduate School of The Ohio State University, Ohio, Birleşik Devletler
- Andronov, N., Pinsonneault, M., Sills, A., 2003. Cataclysmic Variables: an empirical angular momentum loss prescription from open cluster data. *The Astrophysical Journal*, 582(1), 358–368
- Anonim, 2018a. www.astronomy.swin.edu.au/cosmos/B/Binary+Star (01.06.2018)
- Anonim, 2018b. www.space.com/39642-watch-demon-star-algol-mobile-apps.html (01.06.2018)
- Anonim, 2018c. www.exoplanet.eu/catalog/ (02.06.2018)
- Anonim, 2018d. www.eso.org/public/turkey/images/eso0722e/ (06.06.2018)
- Anonim, 2018e. www.nasa.gov/mission_pages/kepler/multimedia/images/transit-light-curve.html (06.06.2018)
- Anonim, 2018f. www.wise-obs.tau.ac.il/news/exoplanets.html (06.06.2018)
- Anonim, 2018g. <http://sci.esa.int/gaia/> (06.06.2018)
- Applegate, J. H., 1992. A mechanism for orbital period modulation in close binaries. *Astrophysical Journal*, 385, 621–629
- Backhaus, U., Bauer, S., Beuermann, K., et al. 2012, *A&A*, 538, A84
- Barbon, R., Ciatti, F., Rosino L., 1979. Photometric properties of type II supernovae. *Astronomy and Astrophysics*, 72(3), 287–292.
- Benedict, G.F., McArthur, B. E., Forveille, T., Delfosse, X. *et al.*, 2002. A Mass for the Extrasolar Planet Gliese 876b Determined from Hubble Space Telescope Fine Guidance Sensor 3 Astrometry and High-Precision Radial Velocities. *The Astrophysical Journal*, 581(2), 115–118.

- Beuermann, K., Breitenstein, P., Debski, B., Diese, J. *et al.* 2012a. The quest for companions to post-common envelope binaries. II. NSVS 14256825 and HS0705+6700. *Astronomy & Astrophysics*, 540(A8), 5
- Beuermann, K., Dreizler, S., Hessman, F. V., Deller, J., 2012b. The quest for companions to post-common envelope binaries. III. A reexamination of HW Virginis. *Astronomy & Astrophysics*, 543(A138), 6
- Beuermann, K., Hessman, F.V., Dreizler, S., Marsh, T.R. *et al.* 2010. Two planets orbiting the recently formed post-common envelope binary NN Serpentis. *Astronomy and Astrophysics*, 521, 60
- Binnendijk, L., 1970. The orbital elements of W Ursae Majoris systems. *Vistas in Astronomy*, 12(1) 217–256
- Binnendijk, L., 1977. Synthetic light curves for contact binaries. *Vistas in Astronomy*, 21(4), 359–391
- Boss, A.P., Butler, R.P., Hubbard, W.B., Ianna, P.A., 2007. Working Group on Extrasolar Planets. *IAU Transactions Reports on Astronomy 2002–2005 Edited by Engyold, O.*, 26(A), 183–186
- Bours, M.C.P., Marsh, T.R., Breedt, E. *et al.*, 2014. Testing the planetary models of HU Aquarii. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445(2), 1924–1931
- Bozkurt, Z., 2006. Eksen Dönmesi Gösteren Üçlü Sistemler. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Bridge, C. M., Cropper, M., Ramsay, G., Perryman, M. A. C., 2002. STJ observations of the eclipsing polar HU Aqr. *Monthly Notice of the Royal Astronomical Society*, 336(4), 1129–1138
- Brinkworth, C. S., Marsh, T. R., Dhillon, V. S., Knigge, C., 2006. Detection of a period decrease in NN Ser with ULTRACAM: evidence for strong magnetic braking or an unseen companion. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 365(1), 287–295
- Brown, T.M., Charbonneau, D., Gilliland, R.L, Noyes, R.W., Burrows, Adam., 2001. Hubble Space Telescope Time-Series Photometry of the Transiting Planet of HD 209458. *The Astrophysical Journal*, 552(2), 699–709.
- Budding, E. ve Demircan O., 2007. *Introduction to Astronomical Photometry*. Cambridge University Press, 434s, New York
- Carnochan, D. J. and Wilson, R., 1983. A survey of ultraviolet objects. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 202, 317–345
- Charbonneau, D., Brown, M.T., Latham, D.W. and Mayor, M., 2000. Detection of Planetary Transits Across a Sun-Like Star. *The Astrophysical Journal*, 529(1), 45–48
- Chauvin, G., Lagrange, A.M., Dumas, C., Zuckerman, B. *et al.*, 2004. A giant planet candidate near a young brown dwarf. Direct VLT/NACO observations using IR wavefront sensing. *Astronomy and Astrophysics*, 425, 29–32
- Chauvin, G., Lagrange, A.M., Dumas, C., Zuckerman, B. *et al.*, 2005. Giant planet companion to 2MASSW J1207334-393254. *Astronomy and Astrophysics*, 438, 25–284
- Chen, K. Y. and Reuning, E. G., 1966. Infrared Photometry of Beta Persei. *Astronomical Journal*, 71(4), 283

- Collier, C.A., Bouchy, F., Hebrard, G., Maxted, P. *et al.*, 2007. WASP-1b and WASP-2b: two new transiting exoplanets detected with SuperWASP and SOPHIE. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 375(3), 951–957
- Coughlin, J. L. and Shaw, J. S., 2007. Seven New Low-Mass Eclipsing Binaries. *Journal of the Southeastern Association for Research in Astronomy*, 1, 7–12
- Çakirli, Ö. and İbanoglu, C., 2010. NSVS 06507557: a low-mass double-lined eclipsing binary. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 401, 1141–1150
- Çamurdan, C. M., Zengin, Ç. D., İbanoğlu, C., 2012. Photometric observations and orbital period variations of HS075 + 6700 and NY Vir. *New Astronomy*, 17(3), 325–330
- Dhillon, V. S., Marsh, T. R., Atkinson, D. C., Bezawada, N. *et al.* 2014. ULTRASPEC: a high-speed imaging photometer on the 2.4-m Thai National Telescope. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444(4), 4009–4021
- Doyle, L. R., Carter, J. A., Fabrycky, Daniel C. *et al.*, 2011. Kepler-16: A Transiting Circumbinary Planet. *Science*, 333(6049), 1602–1606
- Drechsel, H., Heber, U., Napiwotzki, R., Ostensen, R., Solheim, J. E., Johannessen, F., Schuh, S. L., Deetjen, J., Zola, S., 2001. HS 0705+6700: A new eclipsing sdB binary. *Astronomy and Astrophysics*, 379, 893–904
- Ducourant, C., Teixeira, R., Chauvin, G., Daigne, G. *et al.*, 2008. An accurate distance to 2M1207Ab. *Astronomy and Astrophysics*, 477(1), 1–4
- Eastman, J., Siverd, R., Gaudi, B. S., 2010. Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in the Heliocentric and Barycentric Julian Dates. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122(894), 935
- Eggleton, P., 2006. *Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars*. Cambridge University Press, 330s, New York
- For, B.Q., Grenn, E.M., Fontaine, G., Drechsel, H. *et al.*, 2010. Modeling the System Parameters of 2M 1533+3759: A New Longer Period Low-Mass Eclipsing sdB+dM Binary. *The Astrophysical Journal*, 708(1), 253–267
- Froning, C.S., Long K.S., Knigge C., 2003. Accretion and Outflow in Interacting Binary Systems: Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer Observations of the Nova-like Cataclysmic Variable UX Ursae Majoris. *The Astrophysical Journal*, 584(1), 433–447.
- Gehrz, R.D., Truran, J.W., Williams, R.E., Starrfield, S., 1998. Nucleosynthesis in Classical Novae and Its Contribution to the Interstellar Medium. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 110(743), 3–26
- Good, G. A., 2003. *Observing Variable Stars*. Springer, 274s, Londra
- Goodricke, J., 1783. A Series of Observations on, and a Discovery of, the Period of the Variation of the Light of the Bright Star in the Head of Medusa, Called Algol. *Phil. Trans. R. Soc. Lond*, 73, 474–482
- Gozdziewski, K., Nasiroglu, I., Slowikowska, A., Beuermann, K. *et al.*, 2012. On the HU Aquarii planetary system hypothesis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425(2), 2, 930–949.
- Gozdziewski, K., Slowikowska, A., Dimitrov, D., Krzeszowski, K. *et al.* 2015. The HU Aqr planetary system hypothesis revisited. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 448(2), 1118–1136

- Green, R. F., Ferguson, D. H., Liebert, J., Schmidt, M., 1982. Cataclysmic variable candidates from the Palomar Green survey. *Astronomical Society of the Pacific, Publications*, 94, 560–564
- Greenstein, J. L., Kraft, R. P., 1959. The Binary System Nova DQ Herculis. I. The Spectrum and Radial Velocity during the Eclipse Cycle. *Astrophysical Journal*, 130, 99
- Haefner, R., 1989. PG 1550+131 - A short periodic precataclysmic binary with very deep eclipses. *Astronomy and Astrophysics (ISSN 0004-6361)*, 213(1-2), 15–18
- Hafner, R., 2000. The deep eclipse of NN Ser. *The Messenger*, 100, 42–44
- Harrop-Allin, M. K., Cropper, M., Hakala, P. J., Hellier, C., Ramseyer, T., 1999. Indirect imaging of the accretion stream in eclipsing polars - II. HU Aquarii. *Monthly Notices*, 308(3), 3, 807–817
- Hellier, C., 2001. *Cataclysmic Variable Stars*. Springer-Praxis, 210s, UK
- Hilditch, R.W., 2001. *An Introduction to Close Binary Stars*. Cambridge University Press, 381s, ABD
- Hinse, T. C., Gozdziewski, K., Lee, J. W., Haghhighipour, N., Lee, C. U., 2012. The Proposed Quadruple System SZ Herculis: Revised LITE Model and Orbital Stability Study. *The Astronomical Journal*, 144(2), id. 34, 10 pp
- Hinse, T. C., Lee, J. W., Gozdziewski, K., Horner, J., Wittenmyer, R., 2014. Revisiting the proposed circumbinary multiplanet system NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 438(1), 307–317
- Honeycutt, R.K., 2001. Similarities between Stunted Outbursts in Nova-like Cataclysmic Variables and Outbursts in Ordinary Dwarf Novae. *The Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 113(782), 473–481
- Horne, K., Welsh, W. F., Wade, R. A., 1993. On the mass of nova DQ Hercules (1934). *Astrophysical Journal*, 410(1), 357–364
- Horner, J., Hinse, T. C., Wittenmyer, R. A., Marshall J. P., Tinney, C. G., 2012a. A dynamical analysis of the proposed circumbinary HW Virginis planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427(4), 2812–2823
- Horner, J., Marshall, J. P., Wittenmyer, R. A., Tinney, C. G., 2011. A dynamical analysis of the proposed HU Aquarii planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters*, 416(1), 11–15
- Horner, J., Wittenmyer, R. A., Hinse, T. C., Marshall, J. P., Mustill, A. J., Tinney, C. G., 2013. A detailed dynamical investigation of the proposed QS Virginis planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 435(3), 2033–2039
- Horner, J., Wittenmyer, R. A., Hinse, T. C., Tinney, C. G., 2012b. A detailed investigation of the proposed NN Serpentis planetary system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 425(1), 749–756
- Horner, J., Wittenmyer, R., Hinse, T., Marshall, J., Mustill, A., 2014. Wobbling Ancient Binaries -Here Be Planets?. *ArXiv, eprint arXiv:1401.6742*
- Howard, A.W., Bakos, G.A., Hartman, J., Torres, G. *et al.*, 2012. HAT-P-17b,c: A Transiting, Eccentric, Hot Saturn and a Long-period, Cold Jupiter. *The Astrophysical Journal*, 749(2), 134
- İbanoglu, C., Çakırlı, Ö, Taş, G., Evren, S., 2004. High-speed photometry of the precataclysmic binary HW Virginis and its orbital period change. *Astronomy and Astrophysics*, 414, 1043–1048

- Karttunen, H., Kröger, P., Oja, H., Poutanen, M., Donner, K. J., 2007. *Fundamental Astronomy*. Springer, 510s, New York
- Kelley, N. and Shaw, J., S. S., 2007. Combined NSVS/2MASS database search for Cool Algols and Eclipsing Subdwarf B Stars. *Journal of the Southeastern Association for Research in Astronomy*, 1, 13–16
- Kilkenny, D. and Koen, C., 2012. Detection of an increasing orbital period in the subdwarf B eclipsing system NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421(4), 3238–3241
- Kilkenny, D., Harrop-Alin, M., Marang, F., 1991. Recent Minima and Improved Ephemerides for the Eclipsing Hot Subdwarfs LB 3459 (= AA Dor) and BD -7 3477 (= HW Vir). *Information Bulletin on Variable Stars*, 3569, 1
- Kilkenny, D., Keuris, S., Marang, F., Roberts, G., Van, W., Ogloza, W., 2000. On the orbital periods of three close binaries with hot subdwarf primaries. *The Observatory*, 120, 48–59
- Kilkenny, D., Koen, C., O'Donoghue, D., Stobie, R. S., 2007. A new class of rapidly pulsating star - I. EC 14026–2647, the class prototype. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 285(3), 640–644
- Kilkenny, D., Marang, F., Menzies, J. W., 1994. A Period Decrease in the Sdb Eclipsing Binary System Hw-Virginis. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 267(3), 535
- Kopal, Z., 1955. The classification of close binary systems. *Annales d'Astrophysique*, 18, 379
- Lanza, A. F., Rodono, M., 2004. Magnetic activity and dynamics of close binaries. *Astronomische Nachrichten*, 325(5), 393–401
- Lanza, A. F., Rodono, M., Rosner, R., 1998. Orbital period modulation and magnetic cycles in close binaries. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 296(4), 893–902
- Lasota, J.P., 2004. Magnetic Cataclysmic Variables: a Summary. *Astronomical Society of the Pacific*, 315, 365
- Lasota, J.P., Hameury, J.M., Hure, J.M., 1995. Dwarf novae at low mass transfer rates. *Astronomy and Astrophysics*, 302, 29
- Lee, J. W., Kim, S. L., Kim, C. H., Koch, R. H., Lee, C. U., Kim, H. I., Park, J. H., 2009. The sdB+M Eclipsing System HW Virginis and its Circumbinary Planets. *The Astronomical Journal*, 137(2), 3181–3190
- Lee et al., 2017. The sdB+M Eclipsing System HW Virginis and Its Circumbinary Planets, *The Astronomical Journal*, 137, 3181–3190,
- Lloyd-Hart, M., Angel, J.R.P., Groesbeck, T.D., Martinez, T. *et al.*, 1998. First Astronomical Images Sharpened with Adaptive Optics Using a Sodium Laser Guide Star. *The Astrophysical Journal*, 493, 950–954
- Lohr, M. E., Norton, A. J., Anderson, D. R., Collier, C. A. *et al.* 2014. Period and amplitude variations in post-common-envelope eclipsing binaries observed with SuperWASP. *Astronomy & Astrophysics*, 566(A128), 10
- Marang, F. and Kilkenny, D., 1989. Recent Minima of the Subdwarf Eclipsing Binary BD -7 3477 (=HW Vir). *Information Bulletin on Variable Stars*, 3390, 1
- Marcy, G.W. and Butler, R.P. 1995. The Planet around 51 Pegasi. *American Astronomical Society(187th AAS Meeting)*, 27, 1379

- Marcy, G.W., Butler, R.P., Vogt, S.S., Fischer, D. and Lissauer, J.J., 1998. A Planetary Companion to a Nearby M4 Dwarf, Gliese 876. *The Astrophysical Journal*, 505(2), 147–149
- Marsh, T. R., Parsons, S. G., Bours, M. C. P., Littlefair, S. P., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Breedt, E., Caceres, C., Sreber, M. R., 2014. The planets around NN Serpentis: still there. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437(1), 475–488
- Marsh, T.R., Parsons, S.G., Bours, M.C.P., Littlefair, S.P. *et al.*, 2014. The planets around NN Serpentis: still there. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 437(1), 475–488
- Mayor, M. and Frei, P.Y., 2003. *New Worlds in the Cosmos The Discovery of Exoplanets*. Cambridge University Press, 248s, UK
- Mayor, M. and Queloz, D., 1995. A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378(6555), 355–359
- Mayor, M., Bonfils, X., Forveille, T., Delfosse, X. *et al.*, 2009. The HARPS search for southern extra-solar planets. XVIII. An Earth-mass planet in the GJ 581 planetary system. *Astronomy and Astrophysics*, 507(1), 487–494
- Mazeh, T., Naef, D., Torres, G., Latham, D.W. *et al.*, 2000. The Spectroscopic Orbit of the Planetary Companion Transiting HD 209458. *The Astrophysical Journal*, 532(1), 55–58
- Menzies, J. W. and Marang, F., 1986. A New B-Subdwarf Eclipsing Binary with an Extremely Short Period. *Proceedings of the 118th. Symposium of the International Astronomical Union*, ISBN # 90-277-2324-9, Yeni Zelanda
- Mikolajewska, J., 2011. Symbiotic stars as possible progenitors of SNe Ia: binary parameters and overall outlook. *IAU Symposium*, 281
- Mobberley, M., 2009. *Cataclysmic Cosmic Events and How to Observe Them*. Springer, 238s, New York
- Montanari, G., 1671. Sopra la spariione d'alcune stelle et altre novita celesti. in: *Prose de Signori Accademici Gelati di Bologna*, 369–392
- Muerset, U., Nussbaumer, H., Schmid, H.M., Vogel, M., 1991. Temperature and luminosity of hot components in symbiotic stars. *Astronomy and Astrophysics*, 248, 458–474
- Muller, G. ve Kempf, P., 1903. Einige Vergleichenungen zwischen der Potsdamer Photometrischen Durchmusterung und der Yerkes Actinometry. *Astronomische Nachrichten*, 194 (12), 219
- Muterspaugh, M. W., Lane, B. F., Kulkarni, S. R., Konacki, M. *et al.*, 2010. The Phases Differential Astrometry Data Archive. V. Candidate Substellar Companions to Binary Systems. *The Astronomical Journal*, 140(6), 1657–1671
- Nasiroglu, I., Gozdziwski, K., Slowikowska, A., Krzeszowski, K., Zejmo, M., Zola, S., Er, H. *et al.*, 2017. Is There a Circumbinary Planet around NSVS 14256825?. *The Astronomical Journal*, 153(3), 11
- Nasiroglu *et al.* 2018. Searching for planets around eclipsing binary stars using timing method: NSVS 14256825. *Proceedings IAU Symposium No. 330, 2017, Volume 12*, pp. 405–406

- Navarrete, F. H. et al., 2018. The Applegate mechanism in Post-Common-Envelope Binaries. ArXiv, arXiv:180307637N
- Niarchos, P. G., Gazeas, K. D., Manimanis, V. N., 2003. Light variations and modelling of the sdB HS 0705+6700. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 292, 129
- Nogami, D., Baba, H., Matsumoto, K., Kato, T., 2003. . The SU UMa Nature of the Dwarf Nova, DM Lyrae. Publications of the Astronomical Society of Japan, 55(2), 483–488
- O’Donoghue, D., Koen, C., Kilkenny, D., Stobie, R. S., Koester, D., Bessell, M. S., Hambly, N., MacGillivray, H., 2003. The DA+dMe eclipsing binary EC13471-1258: its cup runneth over ... just. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 345(2), 506–528
- Orosz, J. A., Welsh, W. F., Carter, J. A., Fabrycky, D. C., 2012. Kepler-47: A Transiting Circumbinary Multiplanet System. Science, 337(6101), 1511
- Ostensen, R., Oreiro, R., Drechsel, H., Heber, U., Baran, A., Pigulski, A., 2007. HS 2231+2441: A New Eclipsing sdB Binary of the HW Vir Type. 15th European Workshop on White Dwarfs ASP Conference Series, 372, Leicester, United Kingdom
- Paczynski, B., ed. Eggleton, P., Mitton, S. and Whelan, J., 1976. The Structure and Evolution of Close Binary Systems. Springer Netherlands, 75s, Hollanda
- Parsons, S. G., Marsh, T. R., Copperwheat, C. M., Dhillon, V. S., Littlefair, S. P., Gansicke, B. T., Hickman, R., 2010. Precise mass and radius values for the white dwarf and low mass M dwarf in the pre-cataclysmic binary NN Serpentis. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 402(4), 2591–2608
- Percy, J. R., 2007. Understanding Variable Stars. Cambridge University Press, 350s, Kanada
- Perlmutter, Saul., Turner, M.S., White, M., 1999. Constraining Dark Energy with Type Ia SNe and Large- Scale Structure. Physical Review Letters, 83(4), 670–673.
- Potter, S.B., Romero-Colmenero, E., Ramsay, G., Crawford, S. *et al.*, 2011. Possible detection of two giant extrasolar planets orbiting the eclipsing polar UZ Fornacis. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 416(3), 2202–2211.
- Pribulla, T., Vanko, M., Ammler-von, M., Andreev, M. *et al.*, 2012. The Dwarf project: Eclipsing binaries - precise clocks to discover exoplanets. Astronomische Nachrichten, 333(8), 754
- Pulley, D., Faillace, G., Smith, D., Owen, C., 2015. The eclipsing binary HS0705+6700 and the search for circumbinary objects. ArXiv, eprint arXiv:1502.04366
- Pulley, D., Faillace, G., Smith, D., Watkins, A., von Harrach, S., 2018. The quest for stable circumbinary companions to post-common envelope sdB eclipsing binaries. Does the observational evidence support their existence?. Astronomy & Astrophysics, 611(A48), 13
- Qian, S.-B., Dai, Z.-B., Zhu, L.-Y., Liu, L., He, J.-J., Liao, W.-P., Li, L.-J., 2008. Magnetic Braking and the Evolution of the HW Vir-like Binary Stars. The Astrophysical Journal Letters, 689(1), 49
- Qian, S.B., Liao, W.P., Zhu, L.Y., Dai, Z.B., 2010a. Detection of a Giant Extrasolar Planet Orbiting the Eclipsing Polar DP Leo. The Astrophysical Journal Letters, 708(1), 66–68

- Qian, S.-B., Liu, L., Liao, W.-P., Li, L.-J. *et al.*, 2011. Detection of a planetary system orbiting the eclipsing polar HU Aqr. 414(1), 16–20
- Qian, S.-B., Zhu, L.-Y., Liu, L., Dai, Z.-B., He, J.-J., Liao, W.-P., Zhao, E.-G., Zola, S., Kuligowska, E., Winiarski, M., 2010b. Orbital period investigation of some short-period sdB-type eclipsing binaries. *Astrophysics and Space Science*, 329(1-2), 113–117
- Rappaport, S., Verbunt, F., Joss, P.C., 1983. A new technique for calculations of binary stellar evolution, with application to magnetic braking. *Astrophysical Journal*, 275, 713.
- Regos, E., Bailey, V.C., Mardling, R., 2005. Mass Transfer in Eccentric Binary Stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 358(2), 544–550
- Rovithis-Livaniou H., 2005. Period Changes of Close Binary Systems. In: Drechsel H., Zejda M. (eds) *Zdeněk Kopal's Binary Star Legacy*. Springer, Dordrecht
- Santos, N.C., 2008. Extra-solar planets: Detection methods and results. *New Astronomy Reviews*, 52(2–5), 154–166
- Schaffenroth, V., Barlow, B. N., Drechsel, H., & Dunlap, B. H. 2015. An eclipsing post common-envelope system consisting of a pulsating hot subdwarf B star and a brown dwarf companion. *Astronomy and Astrophysics*, 576, A123
- Schreiber, M.R. and Gansicke, B.T., 2003. The age, life expectancy, and space density of Post Common Envelope Binaries. *Astronomy and Astrophysics*, 406, 305–321
- Schwarz, R., Schwöpe, A. D., Vogel, J., Dhillon, V. S., Marsh, T. R., Copperwheat, C., Littlefair, S. P., Kanbach, G., 2009. Hunting high and low: XMM monitoring of the eclipsing polar HU Aquarii. *Astronomy and Astrophysics*, 496(3), 833–840
- Schwarzschild, M., 1965. *Structure and evolution of stars*. Dover, 400s, New York
- Schwöpe, A. D., Schwarz, R., Sirk, M., Howell, S. B., 2001. The soft X-ray eclipses of HU Aqr. *Astronomy and Astrophysics*, 375, 419–433
- Schwöpe, A. D., Thomas, H. C., Beuermann, K., 1993. Discovery of the Bright Eclipsing Polar RX:J2107.9-0518. *Astronomy and Astrophysics*, 271(2), 25
- Selam, S., 1998. *Yakın Çift Yıldızların Dönem Değişimleri*. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Selam, S., 2010. [http://science.ankara.edu.tr/selam\(13.12.2010\)](http://science.ankara.edu.tr/selam(13.12.2010))
- Selam, S.O., Yılmaz, M., Izumiura, H., Bikmayev, I. *et al.*, 2008. Güneş Sistemi Dışı Gezegen Araştırmaları ve Bu Alanda TUG'da İlk Adımlar. XVI. Ulusal Astronomi Kongresi ve V. Ulusal Öğrenci Astronomi Kongresi, Çanakkale
- Shara, M. M., 1989. Recent progress in understanding the eruptions of classical novae. *Astronomical Society of the Pacific*, 101, 5–31
- Shaw, J. S. and Lopez-Morales, M., 2006. Very cool close binaries. ArXiv, arXiv:astro-ph/0603744
- Skelton, P. L., 2009. *Modelling of Eclipsing Binaries*. Y.Lisans Tezi, University of SouthAfrica, Güney Afrika
- Slowikowska, A., Nasiroglu, I., Gozdziwski, K., Krzeszowski, K., Zejmo, M., Irawati, P., Buckley, D., Dimitrov, D., Er, H., 2018. The HU Aqr O-C Diagram Trend Change: Are There Still Any Circumbinary Planets?. *Joe* 5, Issn 2572–7955, Istanbul
- Stahl, S.M. and Sandler, D.G., 1995. Optimization and Performance of Adaptive Optics for Imaging Extrasolar Planets. *The Astrophysical Journal Letters*, 454, 153

- Starrfield, S., Sparks, W.M., Shaviv, G., 1988. A model for the 1987 outburst of the recurrent nova U Scorpii. *Astrophysical Journal*, 325(15), 35–38
- Steele, I. A., Smith, R. J., Rees, P. C., Baker, I. P. *et al.* 2004. The Liverpool Telescope: performance and first results. *Ground-based Telescopes*, Edited by Oschmann, Jacobus M., Jr. *Proceedings of the SPIE*, 5489, 679–692
- Stobie, R. S., Kilkenny, D., O’Donoghue, D., Chen, A., 2007. The Edinburgh-Cape Blue Object Survey - I. Description of the survey. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 287(4), 848–866
- Townsley, D.M. ve Bildsten L., 2005. Classical Novae as a Probe of the Cataclysmic Variable Population. *The Astrophysical Journal*, 628(1), 395–400
- Urban, J.A. and Sion, E.M., 2006. The Dwarf Novae during Quiescence. *The Astrophysical Journal*, 642(2), 1029–1041
- Van de Kamp, P., 1943. The Astrometric Study of Unseen Companions to Near-by Stars. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 55(327), 263
- Vogel, J., Schwobe, A., Schwarz, R., Kanbach, G., Dhillon, V. S., Marsh, T. R., 2008. On the orbital period of the magnetic cataclysmic variable HU Aquarii. *HIGH TIME RESOLUTION ASTROPHYSICS: The Universe at Sub-Second Timescales*. *AIP Conference Proceedings*, 984, 264–267
- Völschow, M., Schleicher, D. R. G., Perdelwitz, V., Banerjee, R., 2016. Eclipsing time variations in close binary systems: Planetary hypothesis vs. Applegate mechanism. *Astronomy & Astrophysics*, 587(A34), 11
- Walker, M. F., 1956. A Photometric Investigation of the Short-Period Eclipsing Binary, Nova DQ Herculis (1934). *Astrophysical Journal*, 123, 68
- Walker, M. F., 1956. Nova DQ Herculis (1934): an Eclipsing Binary with Very Short Period. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 66(392), 230
- Warner, B., 1995. *Cataclysmic Variable Stars*. Cambridge University Press, 592s, UK.
- Wils, P., di Scala, G., Otero, S. A., 2007. NSVS 14256825: A New HW Vir Type System. *Information Bulletin on Variable Stars*, 5800
- Wilson, R. E. and Devinney, E., 1971. Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni. *Astrophysical Journal*, 166, 605
- Wittenmyer, R. A., Horner, J., Marshall, J. P., 2013. On the dynamical stability of the proposed planetary system orbiting NSVS 14256825. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 431(3), 2150–2154
- Wittenmyer, R.A., Horner, J., Tuomi, M., Salter, G.S. *et al.*, 2012. The Anglo-Australian Planet Search. XXII. Two New Multi-planet Systems. *The Astrophysical Journal*, 753(2), 12
- Włodarczyk, K. and Olszewski, P., 1994. A New Look at HW Virginis. *Acta Astronomica*, 44, 407–416
- Wolszczan, A. and Frail, D.A., 1992. A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. *Nature*, 355, 145–147
- Wozniak, P. R., Williams, S. J., Vestrand, W. T., Gupta, V., 2004. Identifying Red Variables in the Northern Sky Variability Survey. *The Astronomical Journal*, 128(6), 2965–2976
- Wright, J. T. and Gaudi, B.S., 2012., *Exoplanet Detection Methods, Part 2, Planets, Stars, and Stellar Systems*, Ed: Oswalt, T., Springer, Netherlands, 1–60

- Yang, Y.G., Li, H.L., Dai, H.F., Zhang, L.Y., 2010. The Near-contact Binary RZ Draconis with Two Possible Light-time Orbits. *The Astronomical Journal*, 140(6), 1687–1693
- Zhu, L., Qian, S., Liu, L., *et al.* 2011. in ASP Conf. Ser. 451, 9th Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics, 155, San Francisco
- Zhu, L. Y., Qian, S. B., Liao, W. P., *et al.* 2015, *Kor. Pub. Astron. Soc.*, 30, 289
- Zhu, L. Y. and Qian, S. B., 2010. A Photometric Study of a New Short Period Eclipsing sdB Binary NSVS 07826147, *Ap&SS*, 329, 107



ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin ER, 1990 yılında İzmir’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Erzurum’da tamamladı. 2014 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümünden mezun oldu. 2015 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Astronomi ve Astrofizik Bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Astrofizik Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı ve halen çalışmaya devam etmektedir.

