

Çok Bileşenli İki Sistemin (*KUI 93* ve *MCA 47*) O-C ve Astrometrik Veri Analizi

Sertaç Serkan Doğru^{1*}, Ahmet Erdem^{1*}, Faruk Soyduğan^{1*}, Caner Çiçek^{1*},
Esin Soyduğan^{1*}, Osman Demircan^{1*} ve Petr Zásche²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü,
Çanakkale

² Charles University, Astronomical Institute, Prague

Özet Algol türü örten çift yıldızlar *QS Aql* ve *V819 Her*, sırasıyla *KUI 93* ve *MCA 47* çoklu sistemlerinin üyesidirler. *QS Aql* ve *V819 Her*'in literatürde yayınlanan tüm minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C diyagramları, yüksek dereceden basık sinüslü değişimler vermiştir ki; bu değişimler, bu iki Algolün yörünge dönemlerinde gözlenen görünürdeki değişime bir üçüncü cismin neden olduğu ışık-zaman etkisinin sorumlu olduğunu göstermektedir. Bu sonuçtan hareket ederek bu çalışmada *QS Aql* ve *V819 Her*'in O-C verileri ile *KUI 93* ve *MCA 47* görsel çift yıldızlarının Washington Double Stars Catalogue'ndaki astrometrik verileri eşzamanlı analiz edildi. İki Algolün O-C değişimlerine neden olan üçüncü cisimlerin, ait oldukları görsel çift yıldızların diğer üyeleri oldukları gösterildi ve bu üyelerin yörünge parametreleri bulundu. Özellikle *V819 Her*'in eşzamanlı analizinden bulunan üçüncü cismin kütlelerinin *MCA 47*'nin tayfsal dikine hız eğrisi analizinden (Muterspaugh ve ark., 2008) bulunan kütle ile uyumlu olması bu çalışmada elde edilen sonuçların duyarlılığını/güvenirliğini göstermektedir.

1 Giriş

Örten çift yıldız sistemlerinin etrafında üçüncü bir bileşenin daha bulunması durumunda, çift sistemin kütle merkezi, üçüncü bileşenle ortak kütle merkezi etrafında bir yörünge çizmektedir. Aynı zamanda üçüncü bileşen de bu kütle merkezi etrafında bir yörüngeye sahip olur. Ancak sistemin bizden uzaklığı ve üçüncü bileşenin sisteme uzaklığı ve üçüncü bileşenin toplam ışınım katkısı bu bileşenin keşfinde kilit rol oynayan parametreler olarak göze çarpmaktadır. Üçüncü bileşenler; açısal ayrıklıkları yeterli ise astrometri gözlemleri ile, ışınım katkuları yeterli ise örten çiftin ışık eğrisi ve tayfsal analizi ile, ayrıca örten çiftin kütle merkezinin radyal hız değişimi ile ve örten çiftin yörünge dönemindeki değişimler analiz edilerek bulunabilir. Çalışmada seçilen *KUI 93* ve *MCA 47* sistemleri örten çift sistem bileşenli çoklu sistemlerdir. Her iki sisteminde üçüncü bileşenleri astrometrik gözlemlerle bulunabilecek kadar açısal ayrıklığa

* Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Astrofizik ve Uygulama Merkezi ve Ulupınar Gözlemevi, 17020, Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale

sahiptirler. Bu çalışmada sistemlerin üçüncü bileşenleri astrometri gözlemleri ve çift sistemler *V819 Her* ve *QS Aql*'nın yörünge dönemi değişimleri ortak analiz edilerek bulunmuş ve üçüncü bileşenlerin kütleleri de belirlenmiştir.

2 Yöntem

2.1 O-C Analizi ve Işık Zaman Etkisi

Sisteme dahil olan ilave bir bileşenin varlığı durumunda çift sistemin kütle merkezi, üçüncü bileşenle ortak kütle merkezi etrafında eliptik bir yörüngeye sahip olur. Bu durum, ışık hızının sonlu olmasıyla, yörünge hareketi sırasında gözlenen minimum zamanlarının olması gerekenden erken veya geç algılanmasına yol açar. Buna ışık-zaman etkisi denir ve *O-C* diyagramında kendisini basık bir sinüs dalgası şeklinde gösterir. Işık-zaman etkisinin matematiksel modellenmesi Irwin (1959) tarafından yapılmıştır.

Üçüncü bir bileşene daha sahip olduğu düşünülen bir örten çift yıldız sisteminin farklı zamanlarda gözlenmiş M adet minimum zamanı JD_i ve bunların hataları $\sigma_{m,i}$ gözlemsel veri olarak kullanılır. Eğer çift sistemin kütle merkezi, üçüncü bileşenden kaynaklanan bir yörünge hareketi yapıyorsa bu yörüngeye ilişkin 5 parametre; yörünge dönemi p_3 , ışık zaman etkisinin yarı genliği A , yörünge basıklığı e , enberi noktasından geçiş zamanı T_0 ve enberi noktasının boylamı ω_{12} , JD_i değerlerinden oluşturulan *O-C* eğrisinin çözümünden belirlenebilir. *O-C* eğrisinin oluşturulmasında ise doğrusal ışık elemanları denilen, çift sistemin kendi yörünge dönemi P ve bir minimum zamanı JD_0 parametreleri kullanılır. Böylece *O-C* eğrilerinin çözümüyle çift sistemin kütle merkezinin yörüngesine ilişkin yukarıda bahsi geçen 5 parametre ve doğrusal ışık elemanları ile toplam 7 parametre belirlenebilir. Irwin (1959) tarafından verilen modele göre zaman gecikmesi;

$$\Delta\tau = \frac{A}{\sqrt{1-e^2} \cos^2\omega_{12}} \left[\frac{1-e^2}{1+e \cos\nu} \sin(\nu + \omega_{12}) + e \sin\omega_{12} \right] \quad (1)$$

ifadesiyle verilir. Böylece gözlemsel minimum zamanlarıyla teorik minimum zamanları arasındaki fark olarak tanımlanan *O-C* değerleri, E_i , her minimum zamanı için, örten çiftin JD_0 'a göre çevrim sayısı olmak üzere,

$$(O - C) = JD_i - JD_0 - PE - \Delta\tau \quad (2)$$

şeklinde olur. Böylece χ_{LITE}^2 ifadesi;

$$\chi_{LITE}^2 = \sum_{i=1}^M \left(\frac{(O - C)_i}{\sigma_{m,i}} \right)^2 \quad (3)$$

şeklinde olur ve bu ifadeyi minimum yapan teorik parametreler çift sistemin kütle merkezinin yörüngesini tanımlar.

O-C analizinde kullanılan minimum zamanlarına verinin elde edilmiş yöntemi ve dedektörün cinsine göre farklı ağırlıklar verilir. Ağırlıklandırma, görsel olarak elde edilen minimum zamanlarının ağırlıkları için 1, fotografik olarak elde edilenler için 2 ve CCD ve fotoelektrik gözlemleri için ise 10 verilerek yapılmıştır.

2.2 Astrometri

Görsel çift yıldız sistemleri veya görsel bileşenli çoklu yıldız sistemlerinin astrometrik gözlemlerinin çoğu Washinton Double Star Catalogue'unda (WDS; <http://ad.usno.navy.mil/wds> Mason ve ark 2001) bulunmaktadır. WDS de listelenen ilk astrometrik gözlemler birkaç yüzyıl öncesine kadar dayanmaktadır ve bu katalogda görünür yörüngesi bilinen 2000 civarında sistem vardır.

Çift sistemlerin astrometrik ölçümleri, farklı zamanlarda $t_i (i = 1, N)$ kaydedilmiş konum açısı θ_i ve açısal ayrıklık ρ_i değerlerinden ibarettir. Ayrıca bazı gözlemlerde her bir veri noktasının hataları olan σ_θ ve σ_ρ değerleri de verilmiştir. Verinin ağırlıkları da bu hata değerlerinden faydalanarak verilir. Astrometrik veriler göreceli yörüngenin 7 parametresinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu 7 parametre ise, yörünge dönemi p_3 , açısal yarı büyük eksen uzunluğu a , yörünge eğikliği i , basıklık e , enberi noktasının boylamı ω_3 , düğümler çizgisinin boylamı Ω ve enberiden geçiş zamanı T_0 dır. Böylece astrometrik verilerden hareketle, en küçük kareler yöntemi ve simplex algoritma kullanılarak, 7 yörünge parametresi belirlenebilir. Burada basit matematik ifadeler aşağıdaki gibidir.

Gözlem zamanlarına göre ortalama ayrıklık;

$$M = 2\pi \frac{(JD - T_0)}{p_3} \quad (4)$$

ifadesinden bulunur. Kepler denkleminin çözümünde M den faydalanılarak eksantrik anomali E hesaplanır ve

$$\nu = 2\arctan\left(\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \tan \frac{E}{2}\right) \quad (5)$$

ifadesinden faydalanılarak gerçel anomali ν elde edilir. Böylece açı saniyesi birimindeki yarıçap vektörü

$$r = a \frac{1 - e^2}{1 + e \cos \nu} \quad (6)$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikten faydalanılarak konum açısı ve açısal ayrıklık ifadeleri;

$$\tan(\theta - \Omega) = \tan(\nu + \omega) \cos i, \quad (7)$$

$$\rho = r \cos(\nu + \omega) \sec(\theta - \Omega) \quad (8)$$

şeklinde verilebilir.

Böylece gözlemsel ve kuramsal konum açısı ve açısal ayrıklık ifadeleri için

$$\chi_{astr}^2 = \sum \left[\left(\frac{\theta_i - \theta_{0,i}}{\sigma_{\theta,i}} \right)^2 + \left(\frac{\rho_i - \rho_{0,i}}{\sigma_{\rho,i}} \right)^2 \right] \quad (9)$$

ifadesi yazılır. Bu χ_{astr}^2 ve simplex algorithm (Kallrath ve Linnell 1987) kullanılarak astrometrik yörüngenin 7 parametresi ($a, p_3, i, e, \omega_3, \Omega, T_0$) bulunabilir. Burada $O-C$ analizinde kullanılan ve çift sistemin kütle merkezinin yörüngesi için enberi noktasının boylamı olan ω_{12} ile üçüncü bileşenin yörüngesi için enberi noktasının boylamı ω_3 , birbirlerine, $\omega_3 = \omega_{12} + \pi$ ifadesiyle bağlıdır.

2.3 Astrometri ve $O-C$ Eğrislerinin Eş Zamanlı Analizi

Çalışmanın temel amacı astrometri ve minimum zamanı verilerinin birleştirilerek, seçilen iki sistem, $V819Her$ ve $QSAql$ 'nın üçüncü bileşenlerinin varlığına ilişkin kanıtları güçlendirirken olası üçüncü bileşenlerin kütlelerini de sağlıklı olarak belirleyebilmektir. Eğer N sayıda astrometrik ve M adet de minimum zamanı gözlemimiz varsa böylece elde edilen veriler ve elde edilecek parametreler aşağıdaki gibi olacaktır:

$$(t_i, \theta_i, \rho_i, \sigma_{\theta,i}, \sigma_{\rho,i}, JD_i, \sigma_{m,i}) \rightarrow (A, p_3, i, e, \omega, \Omega, T_0, JD_0, P)$$

Bu 9 parametre seti çift sistemin kütle merkezinin yörüngesi ve üçüncü bileşenin sistemin kütle merkezi etrafındaki yörüngesinin parametreleri ve ayrıca çift sistemin ışık elemanlarıdır. Ayrıca tek başına $O-C$ analizinden elde edilemeyen yörünge eğikliği i ve ayrıbüyük eksen uzunluğu a da, $O-C$ ve astrometrik verinin birleşimiyle bulunabilir. Bu durum ise kütle fonksiyonundan faydalanılarak üçüncü bileşenin kütlelerinin bulunmasına olanak sağlar. Böylece detayları Mayer (1990) tarafından verilen

$$f(M_3) = \frac{a_{12} \sin i}{p_3^2} = \frac{(M_3 \sin i)^3}{(M_1 + M_2 + M_3)^2} = \frac{1}{p_3^2} \left[\frac{173.15A}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2 \omega_{12}}} \right]^3 \quad (10)$$

ifadesi yardımıyla üçüncü bileşenin kütlesi M_3 bulunabilir. Burada M_1 ve M_2 çift sistemin bileşenlerinin kütleleri ve a_{12} çift sistemin kütle merkezinin yörüngesinin yarı büyük eksen uzunluğudur.

Burada karmaşık olan durum ise üçüncü bileşenin görelî yörüngesinin açılmal yarı büyük eksen uzunluğu olan a ile $O-C$ eğrisindeki ışık zaman etkisinin genliği olan A arasındaki bağlantının kurulmasıdır. a_{12} ifadesi kütle fonksiyonu yardımıyla bulunabilir. a_3 ise üçüncü bileşenin yörünge yarı büyük eksen uzunluğu olmak üzere,

$$a_3 = a_{12} \frac{M_1 + M_2}{M_3} \quad (11)$$

şeklinde gösterilir. Böylece görelî yörüngenin yarı büyük eksen uzunluğu ise

$$a_{toplam} = a_{12} + a_3 \quad (12)$$

olacaktır. Sistemlerin Hipparcos paralaksı π (Perryman ve ESA 1997) yardımıyla sistemlerin uzaklıkları D belirlenebilir. Buradan hareketle üçüncü bileşenin görelî yörüngesinin açısal yarı büyük eksen uzunluğu ise;

$$a = \arcsin\left(\frac{a_{toplama}}{D}\right) \quad (13)$$

şeklinde bulunur. Böylece iki yöntem birlikte analiz edilirken

$$\chi_{toplama}^2 = \chi_{astr}^2 + \chi_{LITE}^2 \quad (14)$$

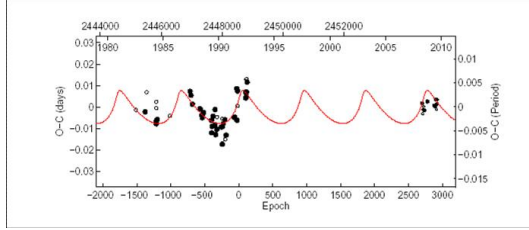
ifadesiyle belli olan $\chi_{toplama}^2$ değeri minimum olacak şekilde çözüm aranır.

3 V819 Her

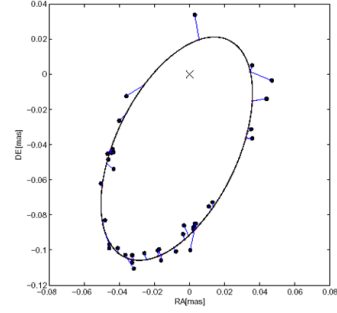
V819 Her (HD 157482, HIP 84949, MCA 47), 2.2 gün yörünge periyoduna sahip Algol Türü bir örten çift yıldız sistemidir. Sistemin üçüncü (görsel) bileşeni 1980 yılında McAlister ve ark. (1983) tarafından speckle interferometre yöntemiyle keşfedilmiş ve sonrasında da Muterspaugh ve ark. (2008) tarafından tekrar çalışılmıştır. Ayrıca sisteme ilişkin astrometrik veriler Muterspaugh ve ark. (2006) tarafından tayfsal verilerden elde edilen radyal hız çözümüyle birlikte de analiz edilmiştir. Buna göre örten çiftin bileşenlerinin kütleleri 1.469 ± 0.040 ve $1.090 \pm 0.030 M_{\odot}$ şeklinde ve üçüncü bileşenin kütlesi ise $1.799 \pm 0.098 M_{\odot}$ olarak belirlenmiştir. Bileşenlerin tayf türleri ise; $F2V$ ve $F8V$ olarak belirlenirken üçüncü bileşenin ise G7III-IV türünden bir yıldız olduğu bulunmuştur. Sisteme ilişkin dönem değişimi çalışması ise Wasson ve ark. (1994) tarafından yapılmış ve sistemin 1982 yılı ile 1992 yılları arasında elde edilmiş minimum zamanları kullanılmıştır. Çalışmada sistemin döneminin 5.5 yıllık çevrimli değişim gösterdiği ve bunun da üçüncü bileşenden kaynaklandığı söylenmiştir. Sistemin BV ışık eğrisi ise van Hamme (1994) tarafından analiz edilerek üçüncü bileşenin ışınımına katkısının çift sistemden daha fazla olduğu ve bileşenlerin mutlak parlaklıklarının, çift sistem için; $2^m.73(8)$ ve $4^m.11(17)$ ve üçüncü bileşen için $1^m.88(4)$ olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada üçüncü bileşenin manyetik aktivite gösterdiği belirlenmiş ve leke çözümü uygulanmıştır. Bu çalışmada sistemin minimum zamanları literatürden toplanarak $O-C$ eğrisi yenilenmiş, Washington Double Star Kataloğuna yeni eklenen astrometrik verilerle görsel yörüngesi oluşturularak eşzamanlı çözüme gidilmiştir. Ayrıca sistemin ışık eğrisi ÇOMÜ Gözlemevi'nde yeniden elde edilmek üzere gözlenmeye başlanmış ve halen gözlemler devam etmektedir.

V819Her sistemine ilişkin minimum zamanları Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayınlanan $O-C$ atlasından alınmış ve ayrıca bunlara ek olarak Zasche ve ark. (2009) tarafından yayınlanan minimum zamanları ile birleştirilmiştir. Diğer taraftan Astrometrik veriler ise Washington Double Star kataloğundan alınmış ve Zasche ve ark. (2008) tarafından ışık zaman etkisi ve astrometrik veriye birlikte uygulanan simplex algoritma tekniği kullanılarak eş zamanlı çözüme gidilmiştir. Çözümler Şekil 1 ve Şekil 2 de gösterilmiş, çözüm parametreleri ise Muterspaugh ve ark. (2006) tarafından verilen parametrelerle birlikte Çizelge 1

de gösterilmiştir. Çizelge 1'e göre yenilenen çözüm parametreleri, Muterspaugh ve ark. (2006) tarafından bulunan parametrelere göre çok az da olsa değişmiştir.



Şekil 1: V819 Her'in O-C diyagramı ve çözümü



Şekil 2: V819 Her'in üçüncü bileşenin görel yörüngesi

4 QS Aql

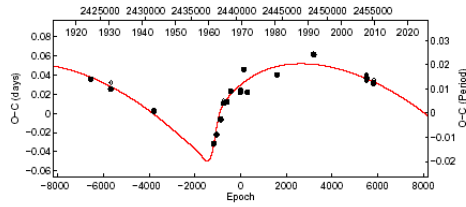
QSAql (HD 185936, HR 7486, HIP 96840, KUI 93), 2.5 gün yörünge periyoduna sahip Algol Türü bir örten çift yıldız sistemidir. Sistem aynı zamanda B5V tayf türünden ve tek çizgili tayfsal çift olarak verilmektedir. Docobo ve Ling (2007) tarafından, sistemin astrometrik yörüngesinin, yaklaşık 62 yıllık bir döneme sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışmada sistemin yörüngesinin çok yüksek basıklığa sahip olduğu da gösterilmiştir ($e = 0.966$). Bu yüksek basıklık değeri *O-C* eğrisinde de görülmektedir. Ancak hem astrometrik yörünge hem de *O-C* çözümü için yeni gözlemlere ihtiyaç vardır. Heintze (1989), sistemin Holmgren (1987) tarafından verilen tayfsal gözlemlerini ve fotometrik gözlemleri kullanarak üçüncü bileşenin ışımaya katkısının çift sistemin 1.2 katı kadar olduğunu söylemiştir. Böylece üçüncü bileşen çift sistemden 0.2 mag kadar daha parlak olmalıdır. Böylece üçüncü bileşen için B4 tayf türünden olduğu ve eğer üçüncü bileşen bir anakol yıldızıysa $5.2M_{\odot}$ lik bir kütleyle sahip olması gerektiği söylenebilir.

QSAql sistemine ilişkin minimum zamanları Kreiner ve ark. (2001) tarafından yayımlanan *O-C* atlasından alınmıştır. Diğer taraftan Astrometrik veriler ise Washington Double Star katalogundan alınmış ve Zasche ve ark. (2008) tarafından ışık zaman etkisi ve astrometrik veriye birlikte uygulanan simplex algoritma tekniği kullanılarak eş zamanlı çözüme gidilmiştir. Çözümler Şekil 3 ve Şekil 4 de gösterilmiş, çözüm parametreleri ise Docobo ve Ling (2007) tarafından verilen parametrelerle birlikte Çizelge 2 de gösterilmiştir. Çizelge 2'ye göre yenilenen çözüm parametreleri, Docobo ve Ling (2007) tarafından bulunan parametrelere göre çok az da olsa değişmiştir. Bu çalışmada sistemin minimum zamanları literatürden toplanarak *O-C* eğrisi oluşturulmuş, Washington Double

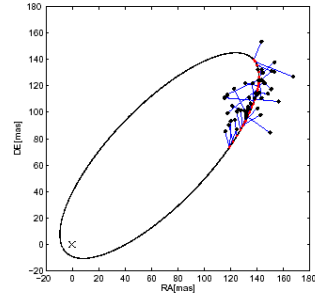
Tablo 1. V819 Her sisteminin O-C ve Astrometrik verilerinin eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler V819 Her sistemine ait astrometrik veriler ve üzerlerine uydurulan teorik görsel yörünge

Parametre	Değer	Muterspaugh et. al. 2006
Hesaplanan Nicelikler		
p_3 [yr]	5.516 ± 0.184	5.530 ± 0.001
T_{03} [HJD]	2452608.48 ± 139.07	2452628.1 ± 1.3
A_3 [d]	0.0092 ± 0.0014	-
e_3	0.6928 ± 0.0126	0.6731 ± 0.0015
ω_3 [deg]	46.77 ± 9.57	42.55 ± 0.23
i_3 [deg]	55.75 ± 11.96	57.09 ± 0.22
Ω_3 [deg]	318.41 ± 25.04	322.40 ± 0.16
Türetilen Nicelikler		
f_{M_3} [M_\odot]	0.192 ± 0.099	-
M_3 [M_\odot]	1.869 ± 1.113	1.765 ± 0.095
a_{12} [AU]	2.180 ± 0.489	-
a_3 [AU]	2.929 ± 1.764	-
$a_{toplama}$ [AU]	5.109 ± 2.023	5.076 ± 0.046

Star Kataloğuna yeni eklenen astrometrik verilerle görsel yörüngesi oluşturularak eşzamanlı çözüme gidilmiştir.



Şekil 3: QS Aql'nın O-C diyagramı ve çözümü



Şekil 4: QS Aql'nın üçüncü bileşeninin görsel yörüngesi

Tablo 2. QS Aql sisteminin O-C ve Astrometrik verilerinin eş zamanlı çözümünden elde edilen parametreler

Parametre	Değer	Docobo ve Ling 2007
Hesaplanan Nicelikler		
$p_3[yr]$	82.00 ± 2.8	61.72 ± 3.00
$T_{03}[HJD]$	2437313.3 ± 389.1	2437443.1 ± 547.9
$A_3[d]$	0.0516 ± 0.0042	-
e_3	0.925 ± 0.012	0.966 ± 0.030
$\omega_3[deg]$	329.8 ± 12.7	314.7 ± 30
$i_3[deg]$	23.02 ± 10.2	65.04 ± 15
$\Omega_3[deg]$	163.7 ± 2.4	153.8 ± 20
Türetilen Nicelikler		
$f_{M_3}[M_{\odot}]$	0.489 ± 0.329	-
$M_3[M_{\odot}]$	15.6 ± 12.8	-
$a_{12}[AU]$	38.03 ± 2.95	-
$a_3[AU]$	14.42 ± 1.01	-
$a_{toplam}[AU]$	52.45 ± 5.00	-

5 Sonuç ve Tartışmalar

Algol türü örten çift yıldızlar *QSAql* ve *V819Her*, sırasıyla *KUI93* ve *MCA47* çoklu sistemlerinin üyesidirler. *QSAql* ve *V819Her*'in literatürde yayımlanan tüm minimum zamanları kullanılarak oluşturulan *O-C* diyagramları, yüksek dereceden basık sinüslü değişimler vermiştir ki; bu değişimler, bu iki Algolün yörünge dönemlerinde gözlenen görünürdeki değişime bir üçüncü cismin neden olduğu ışık-zaman etkisinin sorumlu olduğunu göstermektedir. Bu sonuçtan hareket ederek bu çalışmada *QSAql* ve *V819Her*'in *O-C* verileri ile *KUI93* ve *MCA47* görsel çift yıldızlarının Washington Double Stars Catalogue'ndaki astrometrik verileri eşzamanlı analiz edildi. İki Algolün *O-C* değişimlerine neden olan üçüncü cisimlerin, ait oldukları görsel çift yıldızların diğer üyeleri oldukları gösterildi ve bu üyelerin yörünge parametreleri bulundu. Özellikle *V819Her*'in eşzamanlı analizinden bulunan üçüncü cismin kütlelerinin *MCA47*'nin tayfsal dikine hız eğrisi analizinden (Mutterspaugh ve ark., 2008) bulunan kütle ile uyumlu olması bu çalışmada elde edilen sonuçların duyarlılığını/güvenirliğini göstermektedir.

6 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 108T714 no.lu proje kapsamında desteklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Irwin, J.B.: Standard light-time curves. *Astronomical Journal*. **64** (1959) 146.
- [2] Mason, B.D., Wycoff, G.L., Hartkopf, W.I., Douglass, G.G., Worley, C.E.: The 2001 US Naval Observatory Double Star CD-ROM. I. The Washington Double Star Catalog. *Astronomical Journal*. **122** (2001) 3466.
- [3] Kallrath, J., Linnell, A.: A new method to optimize parameters in solutions of eclipsing binary light curves. *Astrophysical Journal* **313** (1987) 346.
- [4] Mayer, P.: Eclipsing binaries with light-time effect. *Astron. Institut. of Czech., Bulletin*. **41** (1990) 231.
- [5] Perryman, M.A.C., ESA.: The HIPPARCOS and TYCHO catalogues. Astrometric and photometric star catalogues derived from the ESA HIPPARCOS Space Astrometry Mission. ESA Publications Division. **1200** (1997).
- [6] McAlister, H. A.; Hartkopf, W. I.; Hendry, E. M.; Campbell, B. G.; Fekel, F. C.: Speckle interferometric measurements of binary stars. VIII. *Astroph. Journ. Supp. Series*. **51** (1983) 309.
- [7] Muterspaugh, M. W.; Lane, B. F.; Fekel, F. C.; Konacki, M.; Burke, B. F.; Kulkarni, S. R.; Colavita, M. M.; Shao, M.; Wiktorowicz, S. J.: Masses, Luminosities, and Orbital Coplanarities of the γ Orionis Quadruple-Star System from Phases Differential Astrometry. *Astronomical Journal*. **135** (2008) 766.
- [8] Muterspaugh, M. W.; Lane, B. F.; Konacki, M.; Burke, B. F.; Colavita, M. M.; Kulkarni, S. R.; Shao, M.: PHASES differential astrometry and the mutual inclination of the V819 Herculis triple star system. *Astronomy ve Astrophysics*. **446** (2006) 723.
- [9] Wasson, R.; Hall, D. S.; Hargrove, A. W.; Bertoglio, A.; Burke, E. W., Jr.; Frey, G. J.; Fried, Robert E.; Galli, G.; Green, C. L.; Iacovone, N.: Ten years of eclipse timings to refine the period of HR 6469=V819 HER. *Astronomical Journal*. **107** (1994) 1514.
- [10] van Hamme, W. V.; Hall, D. S.; Hargrove, A. W.; Henry, G. W.; Wasson, R.; Barkslade, W. S.; Chang, S.; Fried, R. E.; Green, C. L.; Lines, H. C.; Lines, R. D.; Nielsen, P.; Powell, H. D.; Reisenweber, R. C.; Rogers, C. W.; Shervais, S.; Tatum, R.: The two variables in the triple system HR 6469= V819 Her: One eclipsing, one spotted. *Astronomical Journal*. **107** (1994) 1521.
- [11] Zasche, P.; Wolf, M.; Hartkopf, W. I.; Svoboda, P.; Uhla, R.; Liakos, A.; Gazeas, K.: A Catalog of Visual Double and Multiple Stars With Eclipsing Components. *Astronomical Journal*. **138** (2009) 664.
- [12] Kreiner, Jerzy M.; Kim, Chun-Hwey; Nha, Il-Seong., 2001, "An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars", Cracow, Poland.
- [13] Zasche, P.: Multiple stellar systems under photometric and astrometric analysis. PhD. Thesis. The Astronomical Institute of Charles University, Prague (2008).
- [14] Docobo, J. A.; Ling, J. F.: Orbits and System Masses of 14 Visual Double Stars with Early-Type Components. *Astronomical Journal*. **133** (2007) 1209.
- [15] Heintze, J. R. W.; Spronk, W.; Hoekzema, N.: The Algol Type Binary Qs-Aquilae. *Space Science Reviews*. **50** (1989) 344.
- [16] Holmgren, D.: The Spectroscopic Orbits of U Ophiuchi and QS Aquilae. *Bull. of the American Astron Soc.* **19** (1987) 709.