

ALGOL TÜRÜ ÇİFT SİSTEMLER RY AQR, SZ HER, RV LYR ve V913 OPH'UN YÖRÜNGE DEĞİŞİMLERİNDE OLASI ÜÇÜNCÜ CİSİM ETKİSİ

Çağlar PÜSKÜLLÜ¹ ve Faruk SOYDUGAN^{1,2}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Gözlemevi

²Çanakkale Onsekiz Mart Üni. Fizik Bölümü
caglarpuskullu@gmail.com, fsoydugan@comu.edu.tr

Özet

Algol türü örten çift sistemlerden RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph'un yayınlanmış tüm minimum zamanları kullanılarak yörünge dönemi değişimleri incelendi. Sistemlerin O-C diyagramlarının tümünde dönemli değişimler belirlendi. Bu değişimlerin açıklanmasında ışık-zaman etkisi ve Applegate (1992) modeli kullanıldı. Çalışılan Algollerin ikinci bileşenin yüzey manyetik etkinliği açık bir soru olarak durmasına karşın, sistemin çevresinde bulunan görünmeyen bir bileşenden kaynaklanan ışık-zaman etkisi çözümü, O-C diyagramlarındaki büyük genlikli sinüs benzeri değişimlerin açıklanmasında daha iyi sonuçlar verdi. Bu yaklaşım altında yapılan çözümlerde olası üçüncü cisimlerin en küçük kütle değerleri, RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph için sırasıyla 1.06, 0.25, 0.78 ve 2.85 M_{\odot} olarak hesaplandı. Ayrıca, üçüncü cisimlerin sistemin toplam ışınımına katkılarının yüksek duyarlıklı fotometrik ve tayfsal veriler yardımıyla ölçülebileceğini gösterdi. Applegate'in (1992) modeli de, alternatif bir model olarak çevrimsel değişimlerin soğuk bileşendeki manyetik etkinlikten kaynaklandığı varsayılarak tartışıldı. RY Aqr ve V913 Oph için hesaplanan model parametrelerinin, Applegate modelinde beklenen değerlerle uyumlu olduğu görüldü. Bu dört klasik Algol türü sistemin ayrıntılı dönem değişim incelemesi ilk kez bu çalışmada yer aldı ve sonuçlar *Astronomische Nachrichten* dergisinde basıldı.

Anahtar Kelimeler: üçüncü cisim etkisi, dönem değişimi, Algol, manyetik etkinlik

Abstract

An investigation of the orbital period changes of the neglected eclipsing binaries, RY Aqr, SZ Her, RV Lyr and V913 Oph, is presented based on all published minima times. The O-C diagrams of all systems indicate periodic variations. Although the explanation of magnetic activity on the surface of the secondaries of the studied Algols is still open, the preferred light-time effect due to the unseen components around the systems seems more plausible in explaining the tilted sinusoidal variations with relatively high-amplitudes. The minimal mass values of possible tertiary components have been estimated to be about 1.06, 0.25, 0.78 and 2.85 M_{\odot} for RY Aqr, SZ Her, RV Lyr and V913 Oph, respectively and the results indicate that their contributions to the total light of the eclipsing pairs are measurable with high accuracy photometric and spectroscopic data, if they exist. Applegate's (1992) model has been discussed as an alternative mechanism assuming that the cooler components have magnetic cycles. It is found that the model parameters of RY Aqr and V913 Oph are consistent with the required values in Applegate's model. The detailed orbital study on these systems was made for the first time and it was published by *Astronomische Nachrichten*.

Keywords: *Third body effect, period change, Algols, magnetic activity*

1. Giriş

Örten çift sistemlerin yörünge değişimleri, genellikle O-C verilerinin çözümlenmesi ile açıklanır. Çözüm sonuçlarına göre bu değişimler, fiziksel süreçler olan açısal momentum aktarımı ve/veya kaybı, kütle aktarımı ve/veya kaybı, manyetik etkinlik ve kütle çekimsel ışınım ile görünürde değişimler oluşturan üçüncü cisim varlığı, eksen dönmesi gibi nedenlerle açıklanır. Dönem değişimlerini ortaya çıkaran bu farklı süreçler, O-C diyagramlarında farklı eğriler oluşturur. Dönemli veya sinüs benzeri değişimler, genellikle çift

sistemin çevresinde yer alan görünmeyen bir bileşenden kaynaklanan ışık-zaman etkisi (LITE) ile açıklanır. Örten çift sistemin üyesi olan geri tayf türünden bileşenin yüzey manyetik etkinliği de yörünge, küçük genlikli çevrimsel değişimlerine sebep olabilir. (bkz. Applegate 1992). Burada incelenen aday yıldızlar, klasik Algol olarak tanımlanan baş bileşeni erken tür (B-A) anakol yıldızı; yoldaş bileşeni ise Roche lobunu doldurmuş olan soğuk (F-K) dev veya alt-dev yıldızlardır. Bundan dolayı bu sistemlerin O-C eğrilerinde görülen değişimlerin konvektif katmana sahip soğuk bileşenin manyetik etkinliğinden de kaynaklanabileceği olasıdır. Diğer taraftan dönemli ve bozulmuş sinüs biçimli O-C değişimleri ise genellikle LITE ile açıklanır.

Bu çalışmada amaç, Algol türü yıldızlardan RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph'un O-C verilerini analiz ederek, yörünge dönemi değişimlerinin nedenlerini ortaya koymak; üçüncü cisim olasılığını veya manyetik etkinlikten kaynaklanan yörünge salınımını (modülasyonlarını) tartışmaktır. Çalışılan sistemlerin çeşitli kaynaklardan alınan temel parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışılan Algol türü sistemlerin temel parametreleri

Sistem	Tayf Türü	Baş min. derinliği i	Eğim açısı (der.)	m_1 m_2 (m_\odot)	R_1 R_2 (R_\odot)	L_1 L_2 (L_\odot)	Ayrılk k (R_\odot)	Uzaklık (pc)	Kaynak
RY Aqr	A5-7V+K	1 ^m .3 (V) ^a	82.6	1.27 0.26	1.28 1.79	7.08 2.51	7.54	180	1,2
SZ Her	A5V-G8-9	2 ^m .0 (V) ^a	87.9	2.1 0.8	1.7 1.6	11.75 2.34	5.25	216	2,3,4
RV Lyr	A+K4II I	3 ^m .1 (b) ^b	~90	1.9 0.43	1.9 3.3	14.45 3.47	13.1	-	2,5
V913 Oph	A-F	3 ^m .0 (b) ^b	~90	1.9 0.47	1.9 2.25	14.45 3.63	8.6	-	2,5

(1) Helt (1987), (2) Malkov ve diğ., (3) Guiricin ve Mardirossian (1981), (4) Budding ve diğ. (2004), (5) Svechnikov ve Kuznetsova (1990), ^a Johnson V band, ^b Strömrgren b band

2. Gözlem Verileri

Son on yıl içinde örten çift yıldızların yörünge değişimleri üzerine yapılan en önemli çalışmalardan biri, Kreiner, Kim ve Nha (2001) tarafından yayınlanan "Örten Çiftlerin O-C Atlası'dır. Bu çalışma, 1140 sistemin O-C diyagramlarını ve bazı temel

parametrelerini (sistemin türü, maksimum ve minimum parlaklık değerleri, tayf türü, minimum zamanı sayıları ve literatür bilgisini) içermektedir. RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph sistemleri de bu atlastan seçilerek çalışılmıştır.

RY Aqr hariç diğer tüm yıldızların minimum zamanları Kreiner, Kim ve Nha (2001) tarafından hazırlanan listeden alındı ve literatürdeki en güncel veriler de eldeki veri setine eklendi. RY Aqr'nın minimum zamanları ise, Helt (1987), örten çiftler için hazırlanmış minimum zamanları veri tabanı (<http://www.oa.uj.edu.pl/ktt/>) ve "American Association of Variable Star Observers (AAVSO)" tarafından hazırlanan minimum zamanları veritabanı kullanılarak çözüme hazırlandı. Çalışılan sistemlerin verileri ile bilgiler, Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. Çalışılan sistemlerin gözlemsel verileri

Sistem	Veri aralığı	Toplam veri sayısı	Min I sayısı	Min II sayısı	Görsel	Foto-görsel	Foto-grafik	Foto-elektrik	CC D
RY Aqr	1922-2002	158	153	5	141	-	1	14	2
SZ Her	1902-2005	1004	999	5	932	-	20	19	31
RV Lyr	1983-2005	127	127	-	77	-	48	-	2
V913 Oph	1939-2005	81	81	-	68	11	-	-	2

3. Işık-Zaman Etkisi için Çözüm Yöntemi

Işık-zaman etkisi, örten çift yıldız dizgelerinin O-C diyagramlarında düzgün değişen sinüs benzeri eğriler üretir. Bu durum, çift sistemin yakınındaki olası başka bir bileşenin etkisi sonucu ortaya çıkar. Birçok araştırmacı bu yöntemi, sistemdeki üçüncü cismin varlığını gösterebilmek için O-C analizlerini temel olarak kullandı. LITE içeren O-C değişimlerini çözmek için bu çalışmada kullanılan bağıntı, Irwin (1959) tarafından verildi (çözüm yönteminin ayrıntısı ve denklemler için bkz. Soyduğan 2008).

LITE parametreleri, aday sistemlerin O-C artıklarına diferensiyel düzeltme yöntemi kullanılarak elde edildi ve Çizelge 3'de parantez içindeki standart hataları ile birlikte verildi. Gözlenen veri ve artıklarıyla birlikte sonuç parametreleri

kullanılarak hesaplanan kuramsal eğri, çevrim sayısına ve yıllara göre çizdirildi (Şekil 1,2,3 ve 4).

4. Alternatif Bir Açıklama: Applegate Modeli

Klasik Algollerin O-C eğrilerinde görülen çevrimsel değişimler, genel olarak görünmeyen bileşenin yarattığı etkilerin bir sonucu olarak yorumlanır ve LITE kullanılarak incelenir. Algollerin birçoğunun geniş konvektif katmanlara sahip soğuk bileşenlerin etkisi altında oldukları açıktır. Bu nedenle, Hall (1989), geri tür bileşenin manyetik etkinlik çevriminden kaynaklı olduğu öne sürülen dönemli yörünge dönemi salınımlarını açıklamak için alternatif bir mekanizma önermiştir. Hall'a göre Algol türü bir sistem, F5'den daha geri tayf türüne ait soğuk bileşenlere sahipse O-C diyagramlarında dönemli veya yarı-dönemli çevrimler gösterir. Zavala ve diğ. (2002) bu varsayımı doğrulayarak, manyetik aktivite çevrimlerinin bu sistemlerin yörünge dönemi değişimlerinde etkili olduğunu belirtti. Her iki bileşeni de ışınımsal zarflara sahip erken tür yarı-ayrık sistemler üzerine yapılan çalışmalar da ise çevrimsel dönem değişimlerinin bu sistemlerde çok azaldığını ortaya koydu (Simon 1999).

Applegate (1992), soğuk bileşenin manyetik aktivite çevrimi kaynaklı yörünge dönem değişimlerini açıklamak için bir model ortaya attı. Bu modele göre aktif bileşenin manyetik etkinliği süresince açısal momentum dağılımındaki değişimler, yıldızın şeklinde bozulmalar oluşturur; bu bozulmalar kütle dağılımının değişmesine de sebep olur. Böylece birbirine kütle çekim kuvvetiyle bağlı çiftin yörünge hareketini bozacak frenleme etkisini ortaya çıkarır. Applegate modeli, yalnız $\Delta P/P \sim 10^{-5}$ dolaylarındaki yörünge dönemi değişimlerine sahip, $\Delta L/L \sim 0.1$ olan ışınım gücü değişimi ve diferensiyel dönme oranının $\Delta \Omega/\Omega \sim 0.01$ olduğu sistemlerin çözümünde kullanılır. Ayrıca yörünge dönemi değişimleri aynı dönemde meydana gelen ışık ve renk değişimleriyle desteklenmelidir.

Bu çalışmada Applegate modeli, RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V918 Oph'in O-C eğrilerindeki dönemli değişimleri açıklamak için alternatif bir mekanizma olarak ele alındı.

5. Aday Yıldızların Yörünge Dönemi Değişimleri

Bu bölümde aday yıldızların önceki çalışmaları özetlenerek yörünge dönemi çözümleri, önceki başlıklar altında belirtilen yöntemler kullanılarak elde edildi. O-C diyagramlarındaki olası üçüncü cisim etkisi tartışıldı. Applegate modeli, çevrimsel salınımlarının açıklanmasında alternatif bir yöntem olarak ele alındı.

Çizelge 3. Çalışılan sistemler için en olası LITE çözüm sonuçları ve hataları

Parametreler	RY Aqr	SZ Her	RV Lyr	V913 Oph
T_0 (HJD)	2440824.3555(22)	2434987.3934(3)	2445526.4051(18)	2442935.5600(89)
$P_{yör}$ (gün)	1.9666012(2)	0.81809562(1)	3.5990121(3)	1.9173440(7)
$a_{12} \sin i'$ (AB)	11.27(12)	2.0(1)	6.24(31)	11.2(4)
e'	0.36(3)	0.39(5)	0.58(8)	0.56(5)
ω' (derece)	111(5)	224(5)	113(8)	101(10)
T' (HJD)	2443613(387)	2433989(304)	2448238(539)	2438421(585)
P_{12} (yıl)	89.7(1.6)	72.0(1.3)	70.7(1.0)	40.4(1.0)
$f(m_3)$ (m_\odot)	0.178(9)	0.0015(2)	0.049(7)	0.852(65)
$i' = 90^\circ$ için m_3 (m_\odot)	1.06	0.25	0.78	2.85
$i' = 60^\circ$ için m_3 (m_\odot)	1.30	0.29	0.93	3.60
K_{12} (kms^{-1})	4.30	0.98	3.96	11.99

5.1. RY Aqr

Klasik Algol türü örten bir çift yıldız olan RY Aqr ($V \sim 8.86$ kadir, $P_{yör} \sim 1.967$ gün), A tayf türü anakol yıldızı ve G veya K tür bir alt devden oluşur (Helt, 1987; Budding ve diğ., 2004). Sistemin bugüne kadar yayınlanan tek fotoelektrik ışık eğrisi ve çözümü bulunmaktadır (Helt 1987). Helt, ayrıca fotoelektrik veriyi Popper'ın elde ettiği (1982) her iki bileşenin dikine hız eğrileriyle birleştirerek sistemin mutlak parametrelerini de buldu. White ve Marshall (1983) sistemin güçlü manyetik etkinliğin belirteci olan bir X-ışın kaynağı olduğunu ortaya çıkardı. Helt (1987), sistemin yörünge dönemi değişimlerinin birçok klasik Algolde görüldüğü gibi açık olmadığını; bu değişimlerin yıldız lekelerinden kütle atımı, sistemdeki

kütle aktarımı ve açısal momentum kayıplarının sonuçları olabileceğini söyledi. Ayrıca üçüncü cisim etkisini de dikkate almasına rağmen; herhangi bir çözüm sunmadı. Yaklaşık yetmiş yıllık bir ışık-zaman etkisi değişim dönemi önermişti.

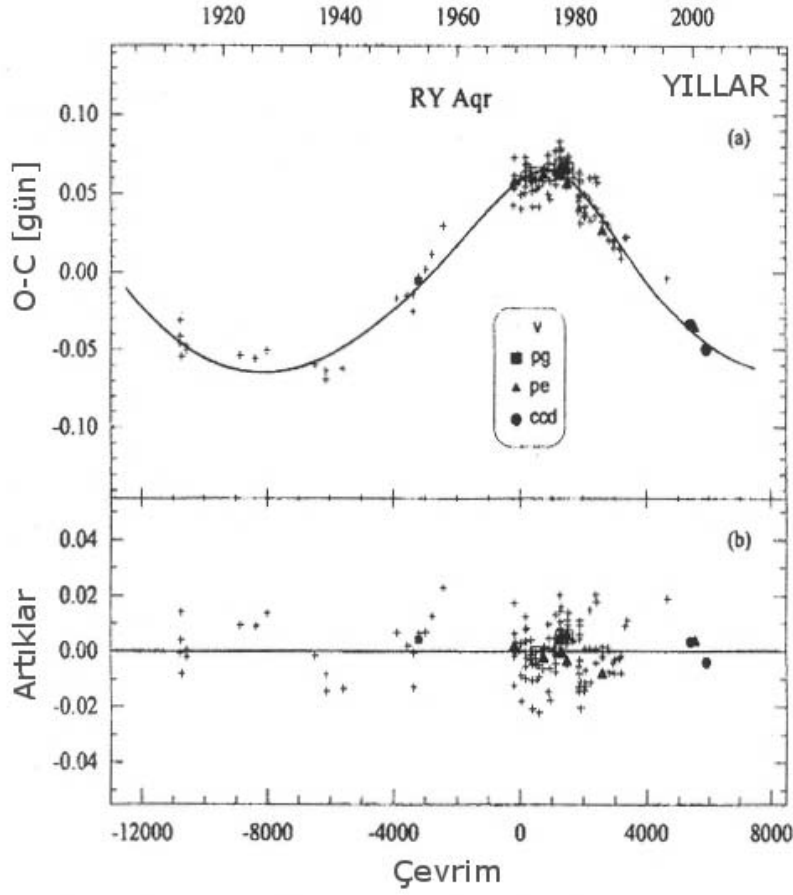
Bu çalışmadaki O-C değerleri, Kreiner, Kim ve Nha (2001) tarafından verilen ışık elemanlarını kullanarak hesaplandı:

$$HJD_{MinI} = 2440824.3724 + 1^s.96660885 \times E \quad (6)$$

Dizgenin O-C diyagramı uzun dönemli sinüs benzeri değişim göstermektedir. Bugüne kadar yayınlanan minimum zamanlarından sadece beş tanesinin ikinci minimum olması nedeniyle, dönem değişimlerini açıklamak için eksen-dönmesi kullanılmadı. Işık-zaman etkisi, bu uzun zamanlı yörünge dönemi değişimini açıklama da Applegate modeline göre daha fazla ön plana çıkmaktadır.

Şekil 1'de O-C değerlerine LITE denklemi uygulandığında ortaya çıkan en olası parametrelere ilişkin kuramsal eğri ve ondan olan farklar verilirken, parametreler ile parantez içinde standart hatalar Çizelge 3'de gösterilmiştir. Şekil.1b'de görülen en uyumlu eğrinin artıkları, başka belirgin bir değişim göstermemektedir.

Sonuçlar, RY Aqr'ın üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında 90 ± 2 yılda dolandığını göstermektedir. Sistemin çevresindeki olası üçüncü cismin en küçük kütle değeri $1 M_{\odot}$ olarak hesaplandı ki bu sistemin yaklaşık $3 M_{\odot}$ olan toplam kütle değeriyle de karşılaştırılabilecek kadar büyük bir değerdedir. Sistemin ışık-zaman etkisi çözümü, çiftin ortak kütle merkezine ilişkin dikine hız değişimlerinin fark edilebilir olabileceğini göstermektedir ($K_{12} \sim 4$ km/s). Dikine hızlar üzerindeki ölçümlerin belirsizlikleri 1 kms^{-1} 'nin altında olduğu durumlarda yüksek çözünürlüklü tayfların incelenmesiyle bu değişimleri tespit etmek olası olabilir.



Şekil.1 RY Aqr'nın O-C diyagramı, en olası LITE çözümü (sürekli eğri) ile, kuramsal eğriden olan farklar (b).

Bu durumda uzak üçüncü cismin sistemin toplam ışınımına ölçülebilir katkısı olacaktır ki bu katkı, eğer varsa, yıldızın ışık eğrisi ve tayfında ortaya çıkarılabilir.

RY Aqr'nın O-C eğrisindeki çevrimsel değişimler, sistemin geri türdeki bileşeninin manyetik etkinlik çevriminden de kaynaklanabilir. Çünkü soğuk bileşenin çevresindeki korona tabakasının X-ışını ürettiği bulundu. (White ve Marshall 1983). Çizelge 4'de, yıldızın Applegate modeline göre hazırlanmış parametreleri de Applegate (1992) tarafından verilen daha önceki örneklerle uyumlu görünmektedir. Daha kesin sonuçlar için, RY Aqr'nın ışık ve renk değişimleri birlikte incelenmelidir.

Çizelge 4. Soğuk bileşen için çözülen Applegate parametreleri ve sinüs çözümleri

Parametreler	RY Aqr	SZ Her	RV Lyr	V913 Oph
T_0 (HJD)	2440824.3555(22)	2434987.3934(3)	2445526.4051(18)	2442935.5600(89)
$P_{yör}$ (gün)	1.9666012(2)	0.81809562(1)	3.5990121(3)	1.9173440(7)
T_s (çevrim)	12414(279)	10327(35)	5371(47)	12495(202)
A_{mod} (gün)	0.074(1)	0.0098(1)	0.0311(5)	0.049(2)
P_{mod} (gün)	$3.15(6) \times 10^4$	$2.58(1) \times 10^4$	$2.45(1) \times 10^4$	$1.68(7) \times 10^4$
ΔP (s)	2.509	0.168	2.476	3.029
$\Delta P/P$	1.48×10^{-5}	2.38×10^{-6}	7.96×10^{-6}	1.83×10^{-5}
ΔJ (g cm ² s ⁻¹)	3.42×10^{47}	1.47×10^{47}	4.44×10^{47}	8.83×10^{47}
I_s (gcm ²)	5.38×10^{53}	1.32×10^{54}	3.02×10^{54}	1.54×10^{54}
$\Delta\Omega/\Omega$	0.017	0.001	0.007	0.015
ΔE (erg)	4.34×10^{41}	3.27×10^{40}	1.31×10^{41}	1.02×10^{42}
ΔL_{rms} (erg)	5.02×10^{32}	4.61×10^{31}	1.93×10^{32}	2.19×10^{33}
B (kG)	17.1	7.9	8.0	22.1
Δm (mag)	0 ^m .014	0 ^m .001	0 ^m .003	0 ^m .033

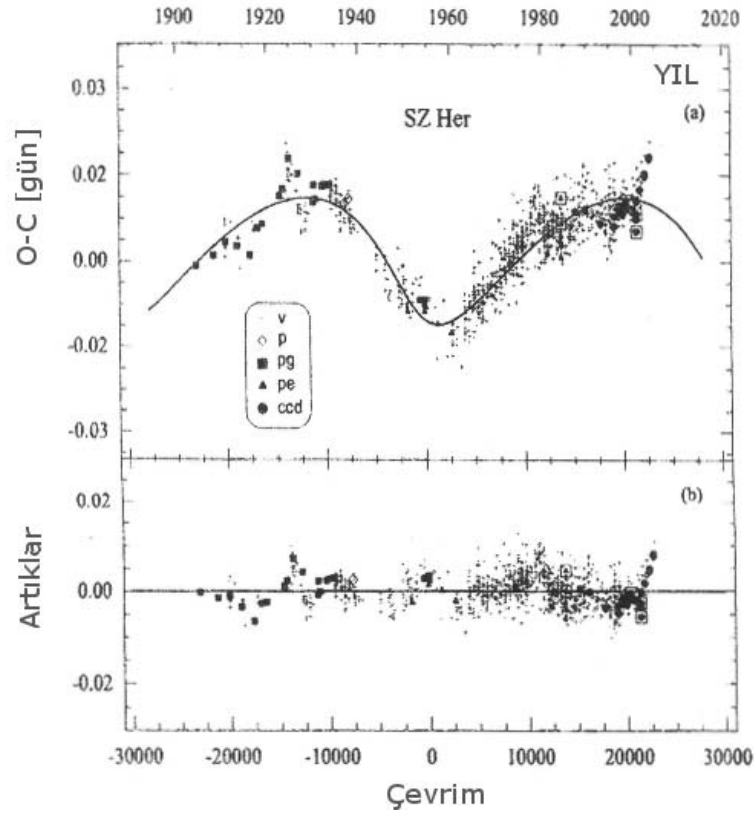
5.2 SZ Her

SZ Her (V~9.92 kadir), kısa dönemli ($P_{yör} \sim 0.818$ gün) Algol türü bir çift yıldızdır. Sistem çok sönük olmamasına rağmen sadece Guiricin ve Mardirossian (1981) tarafından ışık eğrisi çözümü yayınlanmıştır. Bu çözümde sistem, yarı-ayrık olarak tanımlanmıştır. Szekely (2003), CCD alıcısıyla elde ettiği VRI ışık eğrisini yayınladığında zonklama olasılığını da ele almış; fakat sistemde Delta Scuti bileşeni olduğuna ilişkin herhangi bir kanıt bulamamıştır. İkinci minimumun sığ olmasından dolayı bugüne kadar yayınlanan minimum zamanlarının büyük bir kısmı birinci minimuma ilişkindir. Dizgenin O-C diyagramlarına bakıldığında açık bir değişim görülmektedir. (Kreiner 1971; Mallama 1980; Kreiner, Kim ve Nha 2001; Zavala 2002). Fakat sadece Szekely (2003), O-C eğrisinin sinüslü değişiminin ışık-zaman etkisinden kaynaklanabileceğini önerdi.

Bu çalışmada, SZ Her için O-C değerleri, aşağıdaki Kreiner, Kim ve Nha (2001) tarafından yayınlanan ışık elemanları kullanılarak hesaplandı:

$$HJD_{MinI} = 2434987.3959 + 0^s.818095693 \times E \quad (7)$$

LITE parametreleri, SZ Her'in üçlü sistemin kütle merkezi etrafında 72 ± 1 yılda dolandığını göstermektedir. Olası üçüncü cismin minimum kütlesi $0.25 M_{\odot}$ olarak bulundu. Bu değer, onun, eğer anakol yıldızı ise M tür cüce olduğunu göstermektedir. Kütle değeri, Szekely (2003) tarafından üçüncü cismin dairesel yörüngede döndüğü varsayılarak elde edilenden ~ 4 Jüpiter kütlesinden oldukça farklı çıkmıştır. Yaklaşık 1 km s^{-1} olan çift sistemin ortak kütle merkezinin dikine hız değişiminin yarı-genliği ve olası üçüncü cismin düşük kütlesi bu bileşeni gözlemsel olarak ortaya çıkarmayı güçleştirmektedir. Uzun ve kısa zaman ölçekli yörünge dönemi değişimlerinin kanıtlarının bulunabilmesi ancak yüksek çözünürlüklü tayflar üzerinde yapılacak dikkatli çözümlerle, yüksek duyarlıklı astrometrik ve kızılötesi fotometrik gözlem verileriyle sağlanabilir.



Şekil.2 SZ Her'in O-C eğrisi, en olası LITE kuramsal eğrisi (sürekli çizgi) ve artıkları gösterilmiştir

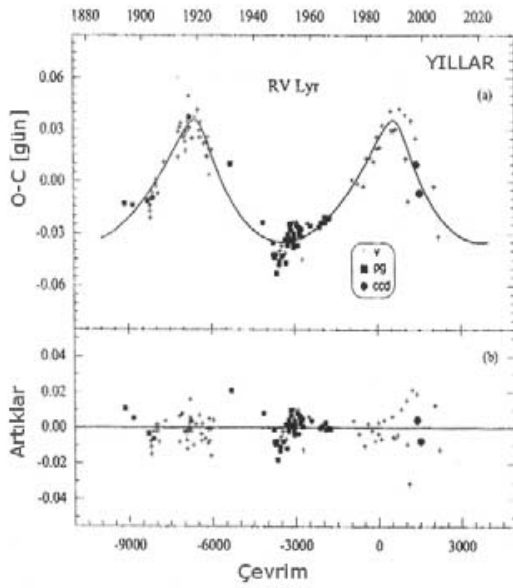
Yörünge dönemi değişimlerinin çevrimsel ve geri tür bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklı olduğu dikkate alındığında Applegate modeli kullanılarak hesaplanan değerler Çizelge 4’de yer almaktadır. Fakat bu değerlerin modelle tutarlı olmadığı görülebilir. Soğuk bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklanan sistemin ışık düzeyindeki beklenen değişim $\pm 0^m.001$ düzeyindedir. Diğer yandan, O-C değişimlerinin karakteristiği, çevrimselden çok yaklaşık 1.5 çevrim içeren dönemli değişim şeklinde olup değişim kaynağı olarak LITE daha olası açıklama olarak görünmektedir. Fakat uzun zaman aralığındaki yörünge dönemi değişimlerine ek olarak LITE’den çıkan artıklar, değişen genlikli küçük dalgalanmalar göstermektedir. Geri tür bileşenin manyetik etkinliği yaklaşık 20 yıllık dönemler içerisinde çevrimsel değişimler ortaya çıkarabilir.

5.3 RV Lyr

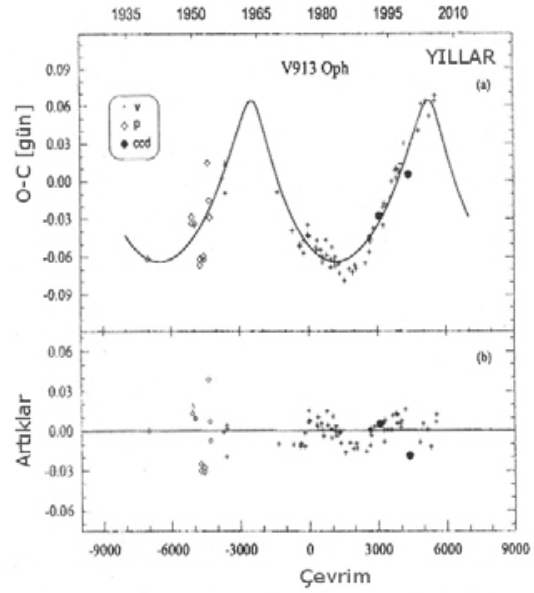
RV Lyr ($V \sim 11.5$ kadir, $P_{\text{yör}} \sim 3.6$ gün), çalışılmamış klasik Algol türü sistemlerdendir. (Budding ve diğ. 2004). Mavi bölgede yaklaşık 3 kadirlik değişim gösteren baş minimumunun derinliği dikkat çekicidir. İlk kez Todoran (1963) ve Illies-Almar ve Almar (1963), O-C değerlerinin sırasıyla 52.6 ve 51 yıllık dönemlerle sinüs benzeri değişim gösterdiğini söylemişti. Frieboes-Conde ve Herczeg (1973) ise sistemde dönemli değişimlerden çok ani yörünge dönemi değişimleri olduğunu açıkladı. Bu çalışmadan sonra LITE yaklaştırmasının çözüm olarak kullanılması bu dizge için daha anlamlı olmaktadır.

Şekil 3’de görüldüğü gibi O-C değişimleri, 20.yy süresince yayınlanmış ve 1.5 çevrimi olan dönemli değişimler içermektedir. Çift sistem, üç cismin kütle merkezi etrafındaki hareketini 71 ± 1 yıllık dönemle dış merkezliğe sahip bir yörüngede sürdürmektedir. Görünmeyen bileşenin kütle fonksiyonu $0.049 M_{\odot}$ olarak hesaplandı. En küçük kütle değeri ise $0.78 M_{\odot}$ şeklinde bulundu. Sistemin beklenen dikine hız değişimlerinin yarı-genliği, ölçülebilecek bir değer olan 4 kms^{-1} yöresinde bulundu. Üçüncü cismin varlığı, RY Aqr’ın toplam ışınımına katkı yapabileceği göz önüne alınarak yeni fotometrik ve taysal çalışmalarla denetlenmelidir.

Applegate (1992) modeli bu sistemde yörünge dönemi salınımlarını açıklamak için alternatif bir model olarak kullanılabilir. Geri tür bileşenin manyetik etkinliğinden kaynaklanabilecek bolometrik parlaklık farkı $\pm 0^m.003$ olarak hesaplandı. O-C değişimi ~ 1.7 çevrimi içeren dönemli değişimler göstermekte. Bundan dolayı görünmeyen bileşenden kaynaklanan ışık-zaman etkisini dikkate almak daha uygun görünmektedir.



Şekil.3 RV Lyr'in O-C eğrisi, LITE çözümü ile elde edilen en iyi kuramsal eğri (a) ve ondan olan farklar (b).



Şekil.4 V913 Oph'un O-C eğrisi, en olası LITE eğrisi (a) ve ondan olan farklar (b).

5.4. V913 Oph

V913 Oph ($B \approx 11^m.5$, $P_{yör} = 1.92$ gün) diğer bir çalışılmamış Algol türü bir sistemdir. V913 Oph'un dönemli yörünge dönemi değişimlerinin açıklamak LITE kullanıldı. Çözüm sonuçları, çift yıldızın üçlü sistemin kütle merkezi etrafında 40 ± 1 yılda yüksek dış merkezliğe ($e' = 0.56 \pm 0.05$) sahip bir yörüngede dolandığını söylüyor. O-C değişimlerinin gözlenen genliği yaklaşık 0.13 gün olarak tespit edildi. Bu durum, yarı-büyük eksen uzunluğunun büyük olduğunu ($a_{12} \sin i' = 11.2 \pm 0.4 AB$) göstermektedir. LITE parametrelerine göre kütle fonksiyonu $0.85 M_{\odot}$ olarak bulundu. Bu bize üçüncü cismin en küçük kütle değerini $2.9 M_{\odot}$ olarak hesaplamamızı sağladı ki bu değer çift sistemin olası toplam

kütlesinin çok üstündedir. Bu nedenle, eğer üçüncü cisim normal bir yıldız ise örten çift sistemin çok sığ minimuma sahip olması gerekir. Sistemin baş minimumunda ölçülen ışık değişiminin $\sim 3^m.0$ olduğunu düşünürsek görünmeyen bileşenin çok yoğun küçük bir yıldız olduğunu da söyleyebilir. Üçüncü cismin varlığına ilişkin kanıtlar çok sayıda süzgeç ile elde edilmiş ışık eğrilerinde aranmalıdır. Sistemin ortak kütle merkezinin dikine hız değişiminin genliği 24 kms^{-1} yöresinde beklenmektedir. Bu değişim, yüksek çözünürlüklü tayflarla on yıllar yöresine yayılmış gözlemler sonucunda çıkarılabilir.

V913 Oph'un için hesaplanan Applegate (1992) parametrelerinin modelle uyumlu olduğu görülmektedir (bkz. Çizelge 4). Model, soğuk bileşenin olası manyetik etkinliğinden kaynaklanan ışık ve renk değişimlerine bakılarak denetlenebilir. Üçüncü cisme ilişkin kanıtları toplayabilmek için tayfsal ve fotometrik gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

6. Sonuç

Bu çalışmada, dört Algol türü çift sistem RY Aqr, SZ Her, RV Lyr ve V913 Oph için üçüncü cisim olasılığı ve geri tür bileşenin olası manyetik etkinlik çevrimleri etkisi altındaki yörünge dönemi değişimleri incelendi.

Yörünge dönemi değişimlerini açıklamakta ilk olarak sistemlerin etrafında yer alan olası bir üçüncü cismin ortaya çıkardığı LITE kullanıldı. Diğer taraftan konvektif katmana sahip ikinci bileşenin oluşturabileceği manyetik etkinlik, Applegate (1992)'in önerdiği mekanizma ele alınarak değerlendirildi. Applegate (1992) modeli için parametreler, geri tür bileşenin manyetik etkinliği olduğu düşünülerek hesaplandı. Bu modele göre ihtiyaç duyulan parametrelerin değerleri, $\Delta P/P \sim 10^{-5}$, $\Delta L/L \sim 0.1$, $\Delta \Omega/\Omega \sim 0.01$ şeklinde olmalıdır. Buna göre V913 Oph ve RY Aqr'nın çözümleri modelle uyumludur. RY Aqr'nın ikinci bileşenin bir X-ışın kaynağı olarak manyetik etkinlik işaretleri gösterdiği bilinmektedir (White & Marshall 1983). SZ Her ve RV Lyr içinse Applegate modeli zayıf kalmaktadır. Bu yıldızlar, O-C eğrilerinde gözlenmiş görece yüksek genlikli sinüs benzeri değişimler göstermelerine karşın modele uymamaktadırlar. LITE, bu durumda bu tür değişimleri açıklamada

daha anlaşılır görünse de manyetik etkinlik açıklaması dışlanmamalıdır.

Algol türü çiftlerin O-C diyagramlarındaki dönemli değişimler olduğu uzun zamandır bilinmektedir (örn. Erdem ve diğ. 2007, Hoffman ve diğ. 2006). Algol tür yıldızlar için önemli bir istatistiksel çalışma olan Kreiner, Kim ve Nha (2001) tarafından sunulan O-C Atlası, Budding ve diğ. (2004) tarafından yayınlanan Algol kataloğundaki 171 sistemin O-C eğrisi, klasik Algollerin yaklaşık %50 kadarının çevrimsel veya dönemli yörünge dönemi değişimlerine sahip olduğunu gösterdi. Bu nedenle bu sistemlerdeki olası üçüncü cisimleri tespit edebilmek için daha ayrıntılı fotometrik ve tayfsal araştırmalar yapılmalıdır. Çünkü birçok yakın çiftin çevresindeki üçüncü cisim varlığı, çift yıldızların yörünge çözümlerini ve dikine hız eğrilerini çıkarma amacıyla yapılan çalışmaların sonucunda ortaya çıkarılmıştır (örneğin, Pribulla & Rucinski 2006, Lu ve diğ. 2000, Rucinski ve diğ. 2005).

Bu çalışmada LITE çözümleri çift yıldızın çevresindeki bir üçüncü cismin varlığı konusunda denetlenebilir sonuçlar vermektedir. RY Aqr ve V913 Oph'un çevresindeki olası üçüncü cismin yaklaşık kütleleri sırasıyla 1.1 ve 2.9 M_{\odot} şeklinde olup sistemin toplam kütleleriyle karşılaştırılabilir durumdadır. Eğer üçüncü cisimler, büyük kütleli normal yıldızlar ise çift sistemlerin ışık eğrisindeki minimumlar sığ olmalıdır. Bu görüşe göre, görünmeyen bileşen çok küçük sıkışık bir cisim olabilir. Nitekim V913 Oph'un ışık eğrisi çok derin bir minimuma sahiptir. SZ Her ve RV Lyr için ise üçüncü cisimlerin kütleleri çok büyük değildir; fakat ikinci bileşenin önerilen kütle miktarına çok yakın olmalıdır. Bu durumda fazladan bir bileşenin varlığı, çoklu filtrelerle elde edilmiş alınmış ışık eğrilerinde ve ayrıca yüksek çözünürlüklü tayflarda kendisini gösterecektir. İlerideki çalışmalarda farklı çözüm yöntemleri ve yüksek duyarlıklı veri takımları kullanılarak bu dört sisteme ilişkin üçüncü cisim olasılıkları açıklığa kavuşturulabilir.

Teşekkür. Minimum zamanlarını bize sağlayan Prof. Dr. J.M. Kreiner'e teşekkür ederiz. Ayrıca önerileri ve yorumlarıyla bu makalenin gelişmesinde katkıda bulunan Dr. R. Wichmann'a da teşekkürlerimizi iletiriz.

Kaynaklar

- Applegate, J.H.: 1992, ApJ 385, 621
Bakış, V.:2003, M.Sc. Thesis, The Graduate School of Natural and Applied Science, Çanakkale Onsekiz Mart University.
Barai, P., Gies, D.R., Choi, E. ve diğ.: 2004, ApJ 608, 989.
Borkovits, T., Hegedus, T.: 1996, A&AS 120, 63.
Borkovits, T., Elkhateeb, M.M., Csizmadia, Sz. ve diğ.: 2005, A&A 441, 1087.
Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Bulut, I., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Bakış, V., Demircan, O.: 2004, A&A 417, 263.
Chochol, D., Probulła, T., Vanko, M. ve diğ.: 2006, Ap&SS 304, 93.
Demircan, O.: 2000, Variable stars as essential tools, ed. C. İbanoğlu, Dordrecht, Boston, Kluwer Academic Publishers, NATO Science Ser., Series C, Mathematical and Physical Sciences, Vol.544, p.615.
Erdem, A., Soyduğan, F., Doğru S.S. ve diğ.: 2007, NewA 12, 613.
ESA: 1997, The Hipparcos and Tycho Catalogues (ESA SP-1200; Noordwijk: ESA)
Fetlaar, J.: 1930, BAN 6, 29.
Frieboes-Conde, H., Herczeg, T.: 1973, A&AS 12, 1.
Giuricin, G., Mardirossian, F.: 1981, A&AS 45, 85.
Hall, D.S.: 1989, Space Sciences Reviews 50, 219.
Hall, D.S.: 1990, NATO ASI Series, in Active Close Binaries, ed. C. İbanoğlu (Dordrecht: Kluwer), p.95.
Helt, B.E.: 1987, A&A 172, 155.
Hoffman, D.I., Harrison, T.E., McNamara, B.J. ve diğ.: 2006, AJ 132, 2260.
Illes-Almar;E. Almar, I.: 1963, AcA 13, 72.
Irwin, J.B.: 1959, AJ 64, 149.
Kim,C.-H., Jeong, J.H., Demircan, O., Müyesseroğlu, Z. ve Budding, E.: 1997, AJ 114, 2753.
Kreiner, J.M.: 1971, AcA 21, 365.
Kreiner, J.M., Kim,C.-H., Nha, I.S.: 2001, An Atlas of O-C diagrams of eclipsing binary stars, Printed by Wydawnictwo Naukowe AP, Krakow.
Kukarkin, B.V., Parenago, P.P., Efremov, J.I., Cholopov, P.N.: 1958, Lbscij Katalog Peremennich Zvezd, Moskova.
Lanza, A.F.: 2005, MNRAS 364, 238.
Lu, W., Rucinski, S.M., Ogloza, W.: 2001, Aj 122, 402.
Malamla, A.D.: 1980, ApJS 44, 241.
Malkov, O.Yu., Oblak, E., Snegireva, E.A., Tora, J.: 2006, A&A 446, 785.
Mayer, P.: 1990, BAICz 41, 231.
Maxted, P.F.L., Hill, G., Hilditch, R.W.: 1995, A&A 301, 135.
Pickering, E.C.: 1908, Harvard Colege Obs. Circ., 142.
Popper, D.M.: 1982, Publ. Astron. Soc. Pasific 94, 945.
Popper, D.M.: 1989, ApJS 71, 595.
Pribulla, T., Chochol, D., Tremko, J., Kreiner, J.M.: 2005 ASP Conference Ser. Vol. 335, p.103.
Pribulla, T., Rucinski, S.M.: 2006 AJ 131, 2986.

- Rucinski, S.M., Pych, W., Ogloza, W. ve diğ.: 2005, AJ 130, 767.
Shapley, H.: 1913, ApJ 38 1.
Simon, V.: 1999, A&AS 134, 1
Soydugan, F.: 2008, AN 329, 587.
Svechnikov, M.A., Kuznetsova, E.F: 1990, Catalogue of Approximate Photometric and Absolute Elements of Eclipsing Variable Stars, A.M. Gorky University of Urals Publ., Sverdlovsk.
Szekely, P.: 2003, IBVS, 5467.
Todoran, I.: 1963, Studii de Asronomie Anul 8,1.
White, N.E., Marshall, F.E.: 1983, ApJ 268, 117.
Wood, F.B.: 1950, ApJ 112, 196.
Yerli, S.K., Sarna, M.J., Zola, S., Connon, S.R., Tovmassian, G.: 2003, MNRAS 342, 1349.
Zavala, R.T., McNamara, B.J., Harrison, T.E. ve diğ.: 2002, AJ 123, 450.