

ÜÇ ÖRTEN ÇİFT YILDIZ SİSTEMİNİN DÖNEM DEĞİŞİMİ, U CORONAE BOREALIS, DI PEGASI ve AH VIRGO

Şeyma ÇALIŞKAN¹, Taner TANRIVERDİ¹, Aslı ELMASLI¹, Tolgahan KILIÇOĞLU¹,
Berahitdin ALBAYRAK¹, Selim O. SELAM¹

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 06100 Tandoğan-Ankara
e-mail:seyma@astrol.science.ankara.edu.tr

Özet

Bu çalışmada U CrB, DI Peg ve AH Vir çift sistemlerinin yörünge dönemi değişimleri, tutulma minimum zamanları ile oluşturulan O-C diyagramları yardımıyla incelendi. U CrB'in O-C diyagramı, 2. dereceden bir polinom üzerine binmiş çevrimli bir yapı ile temsil edilebilirken, DI Peg'in O-C diyagramı iki çevrimsel yapının bileşkesi şeklinde bir karakter göstermektedir. AH Vir'in dönem değişim karakteristiği ise 2. derece polinom ve bir çevrimsel yapının üstüste binmesi ile ifade edilebilmektedir. Yapılan analizlerde, O-C diyagramlarında izlenen 2. derece polinomlar bileşenlerarası kütle aktarımı/kaybı olarak ele alındı, çevrimsel yapıları değişimler sistemlere çekimsel olarak bağlı ilave cisimlerin yarattığı ışık-zaman etkisi veya geç tür bileşenlerinin çevrimli manyetik aktivitesi olarak yorumlandı. Bu yolla gerçekleştirilen O-C analizleri sonucunda, sistemlerin dönem değişimlerine ilişkin elde edilen fiziksel parametreler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler, Yakın çiftler, dönem değişimi, kütle aktarımı/kaybı, ışık-zaman etkisi, manyetik etkinlik

Abstract

In this study, the orbital period variations of the binary systems U CrB, DI Peg and AH Vir have been analyzed by using their O-C diagrams constructed for their eclipse minima times. While the O-C diagram of U CrB can be represented with a cyclic variation superimposed on a 2nd degree polynomial, the O-C diagram of DI Peg shows a character of combination of two cyclic structure. The character of O-C diagram of AH Vir can be best described by the superposition of a cyclic variation and a 2nd degree polynomial. While during the analysis, the 2nd degree polynomials are taken in account as mass exchange/loss between the components, the cyclic structures are interpreted as light-time effect of gravitationally bound additional components or cyclic magnetic activity of their late-type components. According to the O-C analyses performed in this way, the physical parameters related to the period variations of the systems are presented.

Keywords, close binaries, period variation, mass exchange/loss, light-time effect, magnetic activity

1. Giriş

Örten çift sistemler yıldız astrofizikinde yıldızların fiziksel ve dinamik özelliklerini belirlemede sağladığı kolaylıklar nedeniyle en iyi laboratuarlardır. Bu tür çift sistemler yıldızların evrim durumlarını test etmede önemli bir yere sahiptirler. Ancak bu tür sistemler dahi zamanla dönemli değişimler gösterebilmektedirler. Örten çift sistemlerde

gözlenen dönem değişimleri kütle aktarımı/kaybı, ışık zaman etkisi, manyetik aktivite ve eksen dönmesi ile açıklanabilir.

Bir sistemde kütle aktarımı/kaybı olduğuna dair bir çok önemli delil vardır, tayfındaki değişen salma çizgileri, asimetrik ve değişen ışık eğrileri, güçlü ve/veya değişen x ışın ve/veya radyo-akı yoğunlukları.

Soğuk yıldızların manyetik etkinlik gösterdiği ve bu etkinliğin tıpkı Güneş'te olduğu gibi çevrimsel yapıları değişimler gösterdiği bilinmektedir. Yakın çift yıldızlarda manyetik alanın asıl etkisi açısal momentum değişimi üzerinde olacaktır, açısal momentum değişimi bileşenlerin eşpotansiyel yüzey değişimine neden olacak, bu da eşdönme nedeniyle yörünge açısal momentumuna yansıdığı için sistemin yörünge dönemi, dönemli salınımlar yapacaktır. Bu dönem salınımlarının ortalama değeri yıldızın manyetik çevrim dönemine eşit olmalıdır. Bileşenlerinden biri F5 den daha geç tayf türünde olan yakın çift yıldızların dönem değişimindeki salınımlar bu tür manyetik etkilere bağlanmaktadır (Hoffman ve diğ. 2006).

Yakın çift yıldızların yörünge dönemi değişimlerinde ilave cisim etkisinin çift sistem üzerindeki etkisini Irwin(1959) tarafından irdelendi. Bu irdelemeye göre sadece çift sisteme fiziksel olarak bağlı üçüncü bir cismin çekim etkisiyle oluşan dönem değişimi düzgün ve dönemli olmalıdır.

Örten çift yıldız sisteminin yörüngesi eliptik ise ve elipsin büyük eksenini bakış doğrultusunda değilse, fotometrik gözlemlerde minimumlar asimetrik ve eş süreli olmadığı gibi ikinci minimum da 0.5 evresinde bulunmaz. Böylesi gözlemsel bir durum yörünge elips olduğunu gösterir. Böyle bir sistemin minimum zamanları uzunca bir süre gözlenirse ikinci minimum evresinin komşu birinci minimumlara göre periyodik olarak yer değiştirdiği görülür.

Bu çalışmada U CrB, DI Peg ve AH Vir çift sistemlerinin literatürden toplanan ve gözlenen yeni minimum zamanlarıyla yörünge dönem değişimleri incelendi. Bu üç sistemin gözlenen dönem değişimlerinin çevrimsel olduğu ve örten çifte çekimsel olarak bağlı bir üçüncü cismin sebep olduğu ışık zaman etkisinden kaynaklandığı sonucuna varıldı.

2. Hedef Yıldızlara Genel Bakış

U CrB (SAO 64619, P=3.452211 gün) Algol türü örten çift sistemdir. Bu sistemin fotoelektrik ışık eğrisi ilk olarak Kordylewski&Szafraniec(1957), Wood(1958a,b), Catalano ve diğ.(1966), Svolopoulos&Kapranidis (1972) ve Olson(1982) tarafından gözlemlendi. Sistemin ilk ışık eğrisi analizi UPS (Utrecht Photometrical system) kullanılarak Van Gent(1989) tarafından yapıldı. Yerli ve diğ.(2003), Wood(1958a,b), Van Gent (1989) ve Hipparcos gözlemlerini W-D (Wilson&Devinney(1971)) ışık eğrisi analiz programını kullanarak çözdüler. Dikine hız çalışması için Batten&Tomkin(1981) tarafından elde edilen K_1 değerini ve kendi çalışmalarında elde ettikleri K_2 değerini kullandılar. Sistem parametrelerini, $M_1=4.74\pm 0.28M_{\odot}$, $M_2=1.46\pm 0.06M_{\odot}$, $K_1=58.6\pm 2 \text{ kms}^{-1}$, $K_2=185.2\pm 5 \text{ kms}^{-1}$, $R_1=2.79\pm 0.11R_{\odot}$, $R_2=4.83\pm 0.15R_{\odot}$, $\log L_1/L_{\odot}=2.41$, $\log L_2/L_{\odot}=1.2$ ve $i=78.7\pm 0.3$ olarak elde ettiler. U CrB sisteminin dönem değişimi Chandler (1889), Hellerich (1922), Gadowski(1930) ve Dugan&Wright (1939) tarafından çalışıldı. Daha sonra, Frieboes-Condoe&Herczeg (1973) ışık zaman etkisi sebebiyle sistemde dönem değişimi gösterdiğini belirttiler. Kreiner&Ziolkoski(1978) sistemde kaydadeğer bir dönem değişimi olmadığını fakat yarı-çevrimsel değişim olabileceğini belirtti. Sonrasında Bakos&tremko (1981) sistemdeki O-C değişiminin üçüncü cisimden kaynaklandığını vurguladı. Son olarak Van Gent (1982) sistemde ışık zaman etkisinden kaynaklanan bir dönem değişimi olduğunu fotometrik, astrometrik ve spektroskopik olarak elde etti.

DI Peg (SAO 108667, $P=0.71181641$ gün) Algol türü örten bir çift sistem. Örten çift yıldız olduğu ilk olarak Morgenroth (1934) tarafından ifade edildi. Fotoelektrik ışık eğrisi Jensch (1934) tarafından yayınlandı. Rucinski (1967), sistemi analiz ederek geometrisini elde etti ve Kruszewski (1964) tarafından yapılan fotometrik gözlemleri kullanarak DI Peg sisteminin dönemini buldu. Geometrik elemanlarından sistemin toplam ışığına %24 kadar bir üçüncü ışık katkısı olduğunu buldu. Binnendijk (1973), Mardirossian (1980), Wilson&Rafert (1980) ve Chaubey (1982) tarafından sistemin ışık eğrisi çözümü yapıldı. Sisteme ait fotometrik çalışmalar dışında bir kaç spektroskopik çalışmada yapıldı. Rucinski (1967) M.C. Bretz tarafından Haute Provence'de elde edilen sistemin iki tayfını kullanarak birinci bileşenin tayf türünü F4IV olarak belirledi. Diğer taraftan, Lu(1992) sistemin fotometrik ve spektroskopik çalışmasını yaptı ve bu sistemde tayf türü K4 olan bir üçüncü cismin varlığını gösterdi ve sistem parametrelerini $M_1=1.184\pm 0.03M_{\odot}$, $M_2=0.698\pm 0.02M_{\odot}$, $R_1=1.412\pm 0.029R_{\odot}$, $R_2=1.374\pm 0.029R_{\odot}$, $L_1=3.82\pm 0.58L_{\odot}$, $L_2=0.75\pm 0.05 L_{\odot}$ olarak buldu. Gaposchkin(1953) sistemin döneminin değiştiğini buldu. Sistemin O-C analizi Ahnert (1967) tarafından elde edildi. Bu analiz 1929 dan 1973 aralığındaki minimum zamanları kapsamaktaydı. Bu çalışmada, şiddetli düzensizliklerin sebebinin kütle aktarımı veya üçüncü cisimden kaynaklandığı öne sürüldü. Lu(1992) sistemin O-C değişimini inceledi ve mümkün ışık zaman etkisinin varlığını vurguladı. Vinko(1992) sistemin yörünge elemanlarını $a(10^6 \text{ km})=115\pm 31$, $e=0.66\pm 0.2$, $w(\text{rad})=2.5\pm 0.4$, $Pyör(\text{gün})=8070\pm 500$ olarak hesapladı. Fakat sonuçlar çalışmada kullanılan verilerin yetersizliği nedeniyle kesinlik kazanmadı.

AH Vir (SAO 100003, $P=0.407$) W UMa türü örten çift sistemdir. Ayrıca çift sistem ADS 8472B'nin görsel bir üyesi. İlk ışık değişimi Guthnick ve Prager (1929) tarafından keşfedildi. İlk fotoğrafik ışık eğrisi Prager (1929) tarafından yayınlandı. Bu çalışmada sistemin yörünge dönemi yanlış hesaplanmıştır. Lourse (1934,1935 ve 1937) sistemi gözledi ve Prager (1929) tarafından yanlış olarak hesaplanan yörünge dönemini doğru olarak hesapladı. Daha sonra Chang (1948), Prager (1929) tarafından elde edilen ışık eğrisini doğru yörünge dönemiyle analiz etti. Sistemin fotometrik gözlemleri Kitamura ve diğ.(1957), Bakos (1977), Hoffman (1981), Niarchos (1983) ve Demircan (1987) tarafından yapıldı. Sistemin fotometrik analizi Lucy(1973), Hilditch (1981), Niarchos (1983), Kaluzny (1984), Jabbar&Koppal (1983) ve Binnendijk (1984) tarafından yapıldı. Chang(1948) tarafından sistemin ilk dikine hız eğrisi gözlemlendi ve Pyörünge elemanlarını hesaplamak için Prager(1929) tarafından elde edilen ışık eğrisi ile birleştirildi. Elde edilen yörünge elemanlarından sistemin kütle oranı 0.42 olarak hesaplandı. Kaluzny(1984), Jabbar&Kopal(1983) ve Binnendijk (1984) sistemin fotometrik analizinden kütle oranını buldular fakat Lu (1993) tarafından elde edilen kütle oranı gibi tam doğru değildi. Lu(1993) genişletme foksiyonu methoduyla dikine hız ölçümleri yaparak sistemin kütle oranını 0.3 olarak hesapladı. AH Vir'in dönem değişimi Kwee(1958), Binnendijk (1960), Wood&Forbes (1963), Purgathofer&Prochazka(1967), Bakos (1977), Niarchos (1983), Demircan(1991), Hobart (1999), Pribulla&Rucinski (2006) ve Steinbach (2007) tarafından çalışıldı. Sistemde kütle kaybı ve ışık zaman etkisi olduğunu ilk olarak Demircan(1991) öne sürdü. Hobart ve diğ. (1999), AH Virgo'nun O-C diyagramını oluşturdu ve çevrimsel olmayan uzun dönemli dönem değişimini göz önüne alarak analiz yaptı. Pribulla&Rucinski (2006) üçüncü cismin kütlesini $0.65M_{\odot}$, yörünge dönemini ise 41.1 yıl olarak hesapladılar. Rucinski ve diğ. (2007) adaptiv optik kullandılar ve çift sistemden $1''.707$ uzaklıkta bir bileşen belirlediler.

3. Gözlemler ve Yeni Minimumlar

U CrB, DI Peg ve AH Vir'in yeni minimum zamanları sırasıyla 06 Mart-26 Haziran 2007, 01-07 Eylül 2007 ve 26 Haziran 2008 tarihlerinde Ankara Üniversitesi Gözlemevinde (AUG)

elde edildi. DI Peg'in gözlemleri 40 cm Kreiken teleskobu ve ona bağlı Apogee ALTA U47+CCD kamera, U CrB ve AH Vir gözlemleri ise 30 cm Maksutov teleskobu ve ona takılı olan SSP-5A fotometresi ile yapıldı. Gözlemlerde her bir hedef yıldız için mukayese ve denet yıldızları seçildi. Ayrıca her gece için atmosferik sönmüleme katsayıları da mukayese yıldız gözlemleri kullanılarak hesap edildi. Değişen ve mukayese yıldızların bazı özellikleri Çizelge 1'de verilmektedir. Herbir yıldızın minimum zamanları Kwee ve van Woerden (1956) metodu kullanılarak belirlendi. Belirlenen bu yeni minimum zamanları Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Gözlenen değişen ve mukayese yıldızlarının tayf türü ve maksimum parlaklık değerleri.

Yıldız			Tayf Türü	V(mag)
U CrB	Değişen	HIP 74881	B7Vv	7.82
	Mukayese	HIP 75104	F5	6.86
DI Peg	Değişen	HIP 116167	F0IVn	9.52
	Mukayese	BD+14 5004	K0	9.83
AH Vir	Değişen	HIP 59683	K0V	9.33
	Mukayese	HIP 59857	K2	9.63

Çizelge 2. AUG de elde edilen yeni fotoelektrik ve ccd minimum zamanlarının listesi.

Yıldız	HJD	Error		Tip	Teleskop
U CrB	2454166.4951	0.0003	pe	I	Maksutov
U CrB	2454280.4172	0.0003	pe	I	Maksutov
DI Peg	2454345.4486	0.00002	ccd	I	Kreiken
DI Peg	2454351.5003	0.0001	ccd	II	Kreiken
AH Vir	2453443.3470	0.0003	pe	I	Maksutov
AH Vir	2453443.5520	0.0003	pe	II	Maksutov
AH Vir	2454523.5148	0.0003	pe	II	Maksutov

Hedef yıldızlar için literatürden görsel, fotografik, fotoelektrik ve ccd minimum zamanları toplandı ve düzenlendi. Analizde DI Peg için 1983 yılından sonraki ve AH Vir için, büyük ölçüde saçılma gösterdiklerinden dolayı görsel minimum zamanları kullanılmadı. Ek olarak, genel trende uymadığı gerekçesiyle analizde bir kaç minimum zamanı da kullanılmadı.

4. Hedef Yıldızların Dönem Değişimleri

Şekil 1 ve 3 te görüldüğü gibi, U CrB ve AH Vir sistemleri için yapılan analizlerde ışık zaman etkisi kaynaklı dönem değişimleri göstermektedir. Çift sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü cismin varlığı ve ilgili parametreler Irwin(1959) tarafından geliştirilen method ile hesaplandı..

$$\tau = \frac{A}{\sqrt{1-e'^2 \cos^2 w'}} \left\{ \frac{1-e'^2}{1+e' \cos v'} \sin(v'+w') + e' \sin w' \right\} \quad (1)$$

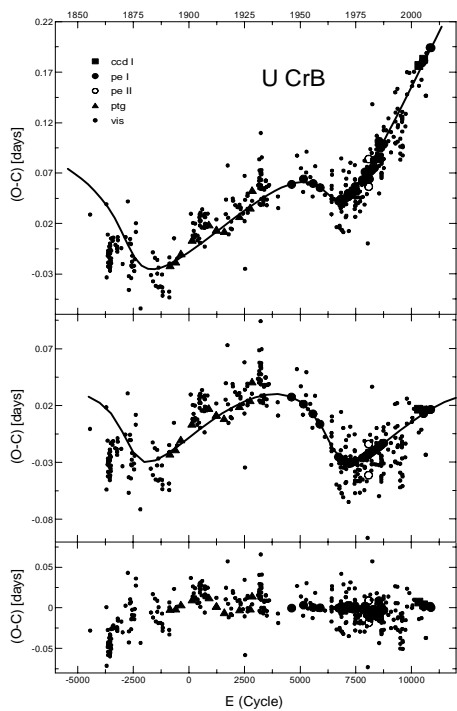
$$A = \frac{a'_{12} \sin i' \sqrt{1-e'^2 \cos^2 w'}}{2.590 \times 10^{10}}$$

Burada A ışık zaman etkisinin gün cinsinden yarı genliği, a'_{12} , e' w' sırasıyla yarı büyük eksen uzunluğu, dışmerkezlik, çift sistemin yörünge eğim açısı ve örten çift sisteminin yörüngesindeki enberi boylamı, v' örten çiftin gerçek anomalisi, 2.59×10^{10} km/gün cinsinden ışık hızıdır. E, Porb, To ve dP/dE ise sırasıyla çevrim sayısı, çiftin epok değeri ve dönem değişim oranlarını göstermektedir. Bu bağıntıya göre ışık zaman etkisinin genliği arttıkça, üçüncü cismin kütle değeri ve dönemi artmaktadır. Gözlemsel O-C farklarını en iyi temsil edebilecek kuramsal değerler OC2LTE30 programıyla hesaplandı. Bu şekilde üçüncü cisim için belirlenen parametreler Çizelge 3 te listelendi.

U Coronae Borealis, Fotoelektik ve ccd gözlemlerine dayanan O-C farkları için uygulanan en küçük kareler fiti sonucunda elde edilen ışık elemanları;

$$\text{Min } I = \text{HJD}2416747.96180 + 3^d.452194748x E$$

olarak bulundu. Tüm minimum zamanları yeni ışık elemanları kullanılarak Şekil 1 de O-C değişimi ortaya konmaktadır. Şekil 1'deki O-C değişim karakterinde görüldüğü gibi sistemin ortalama dönemlerinin değişim hızı sabit değildir ve ancak küçük kütleli bileşende büyük kütleli bileşene kütle aktarımı/kaybıyla ifade edilebilen parabol ile açıklanmaktadır. Buna göre yılda 0.02742 sn dönem artışı öngören bu değişim, korunumlu kütle aktarımı kabulü altında yılda $6.47 \times 10^{-8} M_{\odot}$ kadar bir kütle ana bileşene aktarılmasını gerektirmektedir. Bu değer klasik algoller için çeşitli çalışmalarda öngörülen değerlerle uyum içerisindedir. Bu parabolün artıkları 85.68 yıl dönemli belirgin bir çevrimsel yapı göstermektedir. Bu çevrimsel yapı sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü cisimden kaynaklanmaktadır. Hesaplamalarda Yerli ve diğ.(2003) tarafından elde edilen kütle ve eğim açısı değerleri kullanıldı.



Şekil 1. U Coronae Borealis'in O-C diyagramı. Sürekli eğri ışık zaman etkisini göstermektedir. En alttaki grafik, ışık zaman denklemindeki tüm terimlerin çıkarılmasından sonra elde edilen O-C artıkları.

DI Pegasi, Fotoelektik ve ccd gözlemlerine dayanan O-C farkları için uygulanan en küçük kareler fiti sonucunda elde edilen ışık elemanları;

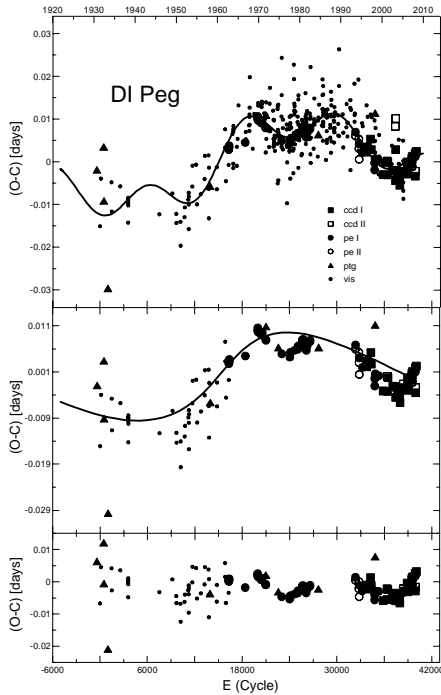
$$\text{Min } I = \text{HJD}2425918.3661 + 0^d.711816055x E$$

olarak bulundu. Tüm minimum zamanları yeni ışık elemanları kullanılarak Şekil 2 de O-C değişimi ortaya konmaktadır. Şekil 2'deki O-C değişim karakterinde görüldüğü gibi özellikle görsel gözlemlerden elde edilen minimum zamanlarının gösterdiği aşırı saçılma nedeniyle çok iyi belirlenmemektedir. Bu yüzden 1983 yılından sonraki görsel minimum zamanları analizde kullanılmadı. Analizde, büyük dönemli ve büyük genlikli değişim ilave bileşen varlığından, küçük genlikli ve küçük dönemli değişim ise soğuk bileşenin manyetik aktivitesinden kaynaklandığı kabulü yapıldı. Buna göre $0.1265 M_{\odot}$ kütleli ilave bileşen çift sistemden 26.9AB uzaklıktadır. Daha küçük genlikli (0.004 gün) ve dönemli (23.19 yıl) olan diğer çevrimsel yapı ise ikinci bileşen aktivitesinden kaynaklandığı göz önüne alınarak, $\Delta P = 0.182$ s/çevrim, $\Delta J = 3.125 \times 10^{47} \text{ gcm}^2 \text{ s}^{-1}$, $\Delta E = 1.296 \times 10^{41} \text{ ergs}$, $\Delta L = 5.56 \times 10^{32} \text{ ergs/s}$, $B = 92.3 \text{ kG}$ ve sistemin toplam parlaklığında 0.03 kadir düzeyinde ışık değişimleri olmalıdır. Hesaplamalarda Lu(1992) tarafından elde edilen kütle ve eğim açısı değerleri kullanıldı.

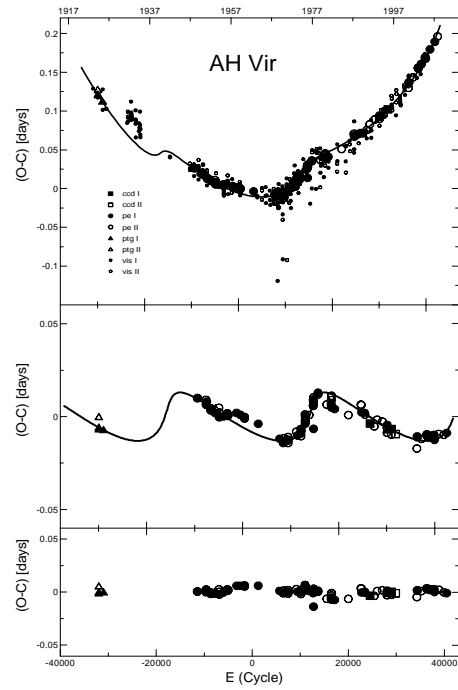
AH Virgo, Fotoelektik ve ccd gözlemlerine dayanan O-C farkları için uygulanan en küçük kareler fiti sonucunda elde edilen ışık elemanları;

$$\text{Min I} = \text{HJD}2438026.9935 + 0^d.4075230 \times E$$

olarak hesaplandı. Tüm minimum zamanları yeni ışık elemanları kullanılarak Şekil 3 de O-C değişimi ortaya konmaktadır. Şekil 3'deki O-C değişim karakterinde görüldüğü gibi sistemin ortalama dönemlerinin değişim hızı sabit değildir ve ancak küçük kütleli bileşende büyük kütleli bileşene kütle aktarımı/kaybıyla ifade edilebilen parabol ile açıklanmaktadır. Buna göre yılda 0.0192 sn dönem artışı öngören bu değişim, korunumlu kütle aktarımı kabulü altında yılda $6.74 \times 10^{-6} M_{\odot}$ kadar bir kütle ana bileşene aktarılmasını gerektirmektedir. Bu değer klasik Algoller için çeşitli çalışmalarda öngörülen değerlerle uyum içerisindedir.



Şekil 2. DI Pegasi'nin O-C diyagramı. Sürekli eğri ışık zaman etkisini göstermektedir. En alttaki grafik, ışık zaman denklemindeki tüm terimlerin çıkarılmasından sonra elde edilen O-C artıkları



Şekil3. AH Virgo'nun O-C diyagramı. Sürekli eğri ışık zaman etkisini göstermektedir. En alttaki grafik, ışık zaman denklemindeki tüm terimlerin çıkarılmasından elde edilen O-C artıkları.

Bu parabolün artıkları 33.36 yıl dönemli belirgin bir çevrimsel yapı göstermektedir. Bu çevrimsel yapı sisteme çekimsel olarak bağlı üçüncü cisimden kaynaklanmaktadır. Hesaplamalarda Lu&Rucinski (1993) tarafından elde edilen kütle ve eğim açısı değerleri kullanıldı. Şekil 1,2 ve 3 teki O-C diyagramlarının analiz sonuçları Çizelge 3'te verilmektedir

Çizelge 3. Her bir çift sistem için O-C analizinden elde edilen ilave cisim parametreleri ve standart hatalar.

Parametreler	U CrB	DI Peg	AH Vir
$T_0(\text{HJD})$	2416747.9618 ± 0.00022	2425918.3661 ± 0.00027	2438026.9935 ± 0.00005
$P_{\text{orb}}(\text{gün})$	3.452194748 ± 0.07605	0.711816055 ± 0.02489	$0.40752295 \pm 2.16 \times 10^{-9}$
$a'_{12} \text{sin} i' (\text{AB})$	5.75623 ± 0.05041	1.81374 ± 0.16	3.03436 ± 0.09258
e'	0.52 ± 0.33	0.42 ± 0.12	0.7 ± 0.018
$w'(^{\circ})$	213 ± 10.38	11 ± 1.82	16 ± 1.41
$T' (\text{HJD})$	2439118.18 ± 50.41	2437276.103 ± 83.72	2418600 ± 11.28
$P_{12}(\text{yıl})$	85.689 ± 0.237	99.586 ± 0.439	33.538 ± 0.05
$A(\text{gün})$	0.03001 ± 0.00026	0.00957 ± 0.00019	0.013 ± 0.00019
$f(m_3) (M_{\odot})$	0.02597 ± 0.00081	0.0006 ± 0.00017	0.02483 ± 0.00225

5. Sonuç ve Tartışma

Seçilen üç sistem için oluşturulan O-C eğrilerinin değişim karakteri, gözlemsel verilerin duyarlılığı ölçüsünde iyi temsil edilebilmiştir. Bu çalışma için seçilmiş üç sistemde ikinci minimum zamanlarının yarattığı O-C değişimleri birinci minimumların oluşturduğu O-C değişimiyle uyum içerisindedir ve aynı fit fonksiyonuyla temsil edilebilmektedir. Buna göre bu çalışma için seçilen sistemlerde çevrimsel yapılı dönem değişimlerinin nedeni, yörünge ekseninin dönmesi olamaz. Parabol biçimli O-C değişim karakterleri düzenli ve sürekli olarak dönem azalmasını veya artmasını gerektirmektedir. Bu olgunun tek açıklaması bileşenler arası kütle aktarımı ve/veya sistemden kütle kaybıdır. U CrB ve AH Vir çift sistemleri için dönem artışı küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene madde aktarımıyla açıklanabilir. U CrB, DI Peg ve AH Vir çift sistemlerinde sinüs eğrisiyle ifade edilebilen O-C değişimleri sistemlere çekimsel olarak bağlı ilave cisimlerin varlığı ile açıklandı, DI Peg sistemindeki iki sinüs eğrisinin toplamı olarak ifade edilebilen O-C değişimleri ilave cisim ve/veya bileşenlerden birinin çevrimli manyetik etkinliği ile açıklandı. İlave cisim varlığından kaynaklı dönem değişimleri Irwin(1959) tarafından önerilen model parametreler ile hesaplandı ve Çizelge 3'te listelendi. Küçük genlikli ve dönemli olan değişim eğer soğuk bileşenin çevrimli manyetik alanından kaynaklanıyorsa, Applegate (1992) kuramına göre dönem değişimine neden olan enerjini oluşturacağı parlaklık farkı soğuk bileşen için büyük olsa bile sistemin görünür parlaklığında ölçülebilir bir fark yaratmamaktadır. Bunun nedeni Algollerde büyük kütleli bileşenlerin soğuk bileşenlere göre çok parlak olmasıdır. Birinci minimum seviyesindeki değişimlerle kurama kanıt aranabilir. Kırmızı öte bölgede yapılacak gözlemlerin bu konuya ışık tutacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Ahnert, P., 1967, "Sternbedeckungen durch den Mond 1966", AN, 290, 84A
 Applegate, J. H., 1992, "A mechanism for orbital period modulation in close binaries" ApJ, 385, 621
 Bakos, G.A., 1977, "Variations of the Light Curve and the Period of AH VIR", BAICz, 28, 157
 Bakos, G.A., Tremko, J., 1981, "The history of U Coronae Borealis - A sequel", JRASC, 47, 333
 Batten, A. H., Tomkin, J., Chaubey, J., 1981, "The Spectroscopic Orbit of U Coronae", PDAO, 15, 419
 Binnendijk, L., 1960, "The light variation and orbital elements of AH Virginis", AJ, 65, 358
 Binnendijk, L., 1973, "The light variation of the eclipsing variable DI Pegasi", AJ, 78, 1
 Binnendijk, L., 1984, "Synthetic parameters of five W-type contact binaries", PASP 96, 646
 Chang, Y.R., 1948, "Spectrographic Observations of the Eclipsing Binaries of the W Ursae Majoris Type: AH Virginis and TZ Bootis", ApJ, 107, 96
 Catalano, S., Cristaldi, S., Lacona, G., 1966, "Curva di luce ed elementi del sistema U CrB", MmSAI, 37, 213
 Chaubey, U.S., 1993, "Mass transfer in ALGOLS and its implications to the mass transfer theory", BASI 21, 597C
 Demircan O., 1987, BV observations of W UMA-type binaries - CK Boo, BI CVn, and AH VIR, Ap&SS, 135, 169
 Demircan O., Erman E. and Akalin A., 1991, A period analysis of AH Virginis, AJ, 101, 201
 Dugan, R.S., Wright, F.W., 1939, A Study of Certain Eclipsing Variables for Variation of Period. U Coronae Borealis, Princeton Contr., 19, 26D
 Frieboes-Condoe, H., Herczeg, T., 1973, Period variations of fourteen eclipsing binaries with possible light-time effect, A&AS, 12, 1
 Gaposchkin, S., 1953, The eclipsing variables, AnHar 113, 67C
 Guthnick, P., Prager R., 1929, Benennung von veränderlichen Sternen, AN, 234, 377
 Hellerich, J., 1924, Der Lichtwechsel von U Coronae borealis, AN, 220, 331
 Hilditch, R. W., 1981, A Study of Four Contact Binary Systems Using the DDO Photometric System, MNRAS, 196, 305.
 Hobart M.A., Pena J.H. and De La Cruz C., 1999, Character of the O-C Variation of Four W UMA Type Stars: AW UMA, AP Leo, AG Vir and AH Vir, Ap&SS, 260, 385

- Hoffmann M., 1981, B and MG Band Observations of AH Vir in 1977, IBVS1933,1
- Hoffman, D. I., et al., 2006, The Case for Third Bodies as the Cause of Period Changes in Selected Algol Systems, AJ, 132, 2260.
- Irwin, J.B., 1959, Standard light-time curves, AJ, 64, 149
- Jabbar S. R., Kopal Z., 1983, The geometrical elements of 10 totally-eclipsing systems of the type of W Ursae Maioris, Ap&SS, 92, 99
- Jensch, A., 1934, Ergebnisse photographischer und visueller Beobachtungen an 7 Veränderlichen, AN 252, 393-402.
- Kordylewski,K.,Szafraniec,R., 1957, Photoelectric Observations of Eclipsing Variables in the Years 1955 and 1956, AcA, 7, 177.
- Kreiner, J.M., Ziolkowski,J., 1978, Period changes and evolutionary status of 18 Algol-type systems, AcA, 28, 497.
- Kitamura, M., Tanabi, H., Nakamura, T., 1957, Photoelectric Observations of AH Virginis and the Interpretation of its Color Changes at Light Minima, PASJ, 9, 119.
- Kwee, K. K.,1958, Investigation of variations in the period of sixteen bright short-period eclipsing binary stars, BAN, 14, 131.
- Kwee, K. K., van Woerden, H., 1956, A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable, BAN, 12, 327.
- Lu, W., 1992, A truly triple system DI Pegasi, AcA 42, 77C
- Lucy, L.B., 1973, The common convective envelope model for W Ursae Majoris systems and the analysis of their light curves ,Ap&SS 22, 381.
- Mardirossian, F., Giuricin, G., 1980, Revised Photometric Elements of the Eclipsing Binary DI Pegasi, A&A, 91, 254.
- Morgenroth, O., 1934, 77 neue Veränderliche , AN, 252, 389.
- Niarchos P.G., 1983, Light curves and elements of AH Virginis ,A&AS, 53, 13
- Olson, E.C.,1982, Transient photometric disturbances in Algol-like binaries, ApJ, 259,702.
- Prager, W.S., 1929, Kleine Veroff. Sternwarte Berlin Babelsberg No 6
- Pribulla T. and Rucinski S.M., 2006, Contact Binaries with Additional Components. I. The Extant Data, AJ, 131, 2986.
- Purgathofer A., Prochazka F., 1967, Bildverstärker, Mitt Univ. Sternwarte Wien, 12, 31.
- Rucinski, R., 1967, The Eclipsing Binary System DI Pegasi, AcA 17, 271.
- Steinbach, H.-M., 2007, AH Vir: Periodenaenderungen von 1926-2006, 36, 138S.
- Svolopoulos, S.N., Kapranidis, S.,1972, Photoelectric Observations of the Eclipsing Variable U Coronae Borealis, IBVS 731,1
- Wilson, R.E., Devinney, E.J., 1971, Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni, ApJ, 166, 605.
- Wilson, R.E., Rafert, J.B., 1980, Slightly detached binaries as calibrators of the main-sequence, A&AS 42, 195.
- Wood, F. B.,1950, On the Change of Period of Eclipsing Variables Stars, AJ, 112, 196.
- Wood, F. B., 1958, Photoelectric Observations of U Coronae Borealis, ApJ 127, 351.
- Wood, F. B., 1958, Photometric Elements of U Coronae Borealis, ApJ, 128, 395.
- Van Gent R.H.,1982, Evidence for a third component in the U CrB system, A&AS, 48, 457.
- Van Gent R.H.,1989, Lightcurves of the Algol-variable U CrB in the UPS photometrical system, A&AS, 77, 471.
- Van Gent R.H.,1989, A photometric-spectroscopic analysis of the Algol-type binary U CrB, SSRv, 50, 264.
- Vinko, J., 1992, Photometric orbit of the triple system DI Pegasi, IBVS 3757, 1
- Yerli,S.K., Sarna, M.J.,Zola,S.,Connon,S.R.,Towmassian,G.,2003, A Photometric-spectroscopic analysis and the evolutionary status of the Algol-type binary U Coronae Borealis, MNRAS, 342, 1349
- Wood B. D., Forbes J. E.,1963, Ephemerides of eclipsing stars, AJ, 68, 257.