

ALGOL TÜRÜ ÇİFT YILDIZ SİSTEMLERİNDE ÜÇÜNCÜ CİSİM ARAŞTIRMASI

S. Serkan DOĞRU, Ahmet ERDEM, Osman DEMİRCAN

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi
Terzioğlu Kampüsü, 17040 Çanakkale*

E-posta: dogru@comu.edu.tr, demircan@comu.edu.tr, aerdem@comu.edu.tr

ÖZET

Algol türü örten çift yıldız sistemlerinde, sistemde görülemeyen bir üçüncü cismin varlığını araştırmak için O-C analizi ile konum ölçümü (astrometrik) yöntemi birlikte kullanılmıştır. Çalışma sırasında analiz edilen sistemlere ilişkin minimum zamanları Kreiner ve ark. (2001) veritabanından alınmıştır. O-C değişimlerinde, ayrıca, rastlanılan parabolik değişimler, bileşenler arası kütle aktarımı ve/veya sistemden kütle kaybı cinsinden açıklanmaya çalışılmıştır. Gökyüzü düzleminde eğer örten çift yıldız bir üçüncü cisimle üçlü bir sistem oluşturursa örten çift yıldızın ortak kütle merkezi bu üçlü sistemin ortak kütle merkezi etrafında kapalı bir yörünge hareketi oluştururken çift yıldızın konumu da değişecektir. Bu konum değişikliğini ölçmek ve böylece ele alınan bir Algol çift sisteminin O-C analizinden çıkartılan olası üçüncü cismin varlığını denetlemek için Hipparcos Orta Düzey Konum Ölçümü verilerinden faydalanılarak konum ölçümü analizi yapılmıştır. Bu bildiride çalışmamıza ilişkin 3 örnek sistem (KO Aql, RX Gem ve RW Tau) için elde edilen sonuçlar üzerinde ayrıntılar verilirken analizi yapılan tüm 59 sistemin sonuçları istatistik bir çalışma çerçevesinde sunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: *Yıldızlar: çift yıldızlar:örten – çift yıldızlar:Algol – çift yıldızlar: ışık zaman etkisi – Teknik: konum ölçümü*

ABSTRACT

In this study, we investigated the existence of third body in the Algol type eclipsing binaries by using two methods: O-C analyse and astrometric method. We took the data of minima times from Kreiner et al. (2001) for making O-C diagrams of selected classical Algols. The parabolic O-C variations (i.e. secular changes of orbital periods) were explained in terms of mass transfer between components and/or mass loss from binary system. The tilted sinusoidal O-C variations were considered as light-time effect due to a third body in the binary system. The eclipsing pair, orbiting around the common center of mass of the triple system, then changes its positions on the sky and its distance from us periodically. Therefore, we used the astrometric method to investigate such variations of stellar positions and to support the third body hypothesis, and took the necessary data from Hipparcos astrometry database. In this study, we present the results on three classical Algols (KO Aql, RX Gem and RW Tau) in details, and discuss other results on 59 classical Algols statistically.

Keywords: *Stars: binaries: eclipse – binaries: Algols – binaries: light-time effect – technique: astrometry*

1. Giriş

Örten Çift yıldız sistemlerinin dönem değişimlerinin araştırılmasında en etkili yöntem gözlenen minimum zamanları kullanılarak oluşturulan O-C diyagramlarının analiz edilmesidir. Klasik Algol türü çift sistemler genellikle yakın çift sistemler sınıfında olup yarı-ayrık yapıdadırlar. Bu türden sistemlerin bileşenlerinden biri, Roche lobunu doldurmamış, büyük kütleli, B-A Tayf türünden bir anakol yıldızı ve diğeri ise Roche lobunu doldurmuş küçük kütleli, F-K tayf türünden ve III veya IV ışınım sınıfından bir dev veya alt dev yıldızdır. Böylesi sistemlerde Roche lobunu doldurmuş, küçük kütleli ve geri tayf türünden olan bileşen, diğeri bileşene kütle aktarmanın yanında sistemden kütle kaybedilmesine de sebep olur. Bu durumda Algol Türü çift sistemlerin O-C diyagramlarının, bileşenler arası kütle aktarımı kaynaklı kolları yukarı yönde bir parabolik değişim ve sistemden kütle kaybının neden olacağı kolları aşağı yönde bir parabolik değişimin bileşke etkisini göstermesi beklenir. Bu türden etkiler gerçek dönem değişimleridir. Böylece O-C diyagramlarının analizi, iki etkiyi birbirinden ayırmaya olanak sağlamasa da, hangi etkinin baskın olduğu hakkında fikir verir. Bileşenler arası korunumlu kütle aktarımı durumu, örneğin Sing ve Chaubey (1986) tarafından, korunumsuz kütle aktarımı durumu ise örneğin Erdem ve ark. (2005, 2007a ve 2007b) ve Budding ve Demircan (2007) tarafından tartışılmıştır. Algol türü çift sistemlerin O-C eğrileri çevrimli değişimlerde içerebilir. Bu durumun kaynağı ise, eksen dönmesi yada sisteme kütle çekimiyle bağlı üçüncü bir bileşenin varlığı olabileceği gibi hızla dönen güneş benzeri soğuk bileşenin manyetik aktivite çevrimi de olabilir. Sisteme dahil olabilecek üçüncü bileşen sistemin yörüngesinde gerçek bir değişime neden olmamakla beraber ışığın sonlu hızda olmasıyla kütle merkezinin bir yörünge hareketi yapmasından dolayı sistemin döneminde çevrimli bir değişim görülmesine sebep olur ki buna ışık-zaman etkisi de denir. Işık zaman etkisi Irwin (1959) tarafından modellenmiştir. Diğer taraftan soğuk bileşenin manyetik çevriminden kaynaklanan değişim ise gerçek dönem değişimidir ve Applegate (1992) tarafından modellenmiştir. Böylece Algol türü sistemlerin O-C diyagramları parabolik ve çevrimli değişimlerin üst üste binmesiyle oluşan karmaşık yapıda da olabilir.

Çalışmada, aşağıda verilen seçim kriterlerine uygun, 59 klasik Algol türü örten çift sistemin O-C diyagramları analiz edilerek yorumlanmıştır. Çalışmada asıl amaç üçüncü veya dördüncü bileşenler içermesi muhtemel olan sistemlerin ilave bileşenlerinin varlığını tartışmak ve sistemden kütle kaybı ve bileşenler arası kütle aktarımı mekanizmalarını araştırmaktır. Çalışmamızda, ayrıca, Hipparcos orta düzey konum ölçümü verileri kullanılarak, O-C eğrilerinin çözümünde öngörülen ilave bileşenlerin varlığına destek aranmıştır.

2. Gözlemsel Veri ve Sistemlerin Seçimi

Örten çift sistemlerin O-C diyagramlarının oluşturulmasında kullanılan gözlemsel veri sistemlere ilişkin literatürde mevcut minimum zamanlarıdır. Kreiner ve ark. (2001), titiz bir çalışma sonucu, 3851 çift yıldızın tüm minimum zamanlarını literatürden toplayarak bunların O-C diyagramlarını oluşturmuş ve bir atlas halinde yayınlamışlardır. Bu katalogda toplanan veriler bir veritabanı halinde tutulmakta ve halen literatüre katılan yeni minimum zamanlarıyla güncelleştirilmektedir. Sunulan bu çalışmada Kreiner-Kim-Nhia (KKN) veritabanı kullanılmıştır. KKN veritabanı 263 klasik Algol türü örten çift yıldız içermektedir. Bu sistemlerin çoğu karmaşık dönem değişimi gösterirken bir kısmı dönem değişimi göstermemekte veya yeterli veriye sahip gözükmemektedirler. Buna göre çalışmada seçim kriterleri aşağıdaki biçimde alınmıştır:

- Yarı-ayrık yapıda (klasik Algol türü) olmaları,
- KKN veri tabanında zamana göre mümkün olduğunca düzgün dağılmış, en az 70 yıllık veriye sahip olmaları ve
- Çevrimli değişimlerin, özellikle basık yörüngeli ışık-zaman etkisini temsil eden basık sinüs dalgaları şeklinde olmaları ve genliklerinin O-C artıklarının standart sapmalarından en az üç kat daha büyük olmaları.

Yukarıdaki kriterlere uyan 59 sistemin O-C diyagramları analiz edilmiştir. Bu bildiride örnek olarak üç klasik Algol sistemi için elde edilen sonuçların ayrıntılı tartışması yapılırken diğer klasik Algoller üzerine elde edilen sonuçlar istatistik olarak verilecektir. Sistemlere ilişkin mutlak parametreler Surkova ve Svechnikov. (2004)'dan alınmıştır. Örnek için seçilen üç klasik Algolün mutlak parametreleri, Çizelge 1'de listelenmiştir.

Çizelge 1. Seçilen sistemler KO Aql, RX Gem ve RW Tau'ya ait mutlak parametreler

Yıldız	Tayf türü	q	a (AU)	i (deg)	$m_1(m_\odot)$	$m_2(m_\odot)$	$R_1(R_\odot)$	$R_2(R_\odot)$	$M_{bol,1}$	$M_{bol,2}$
KO Aql	AV+[G8IV]	0.29	12.50	79.9	2.50	0.73	1.80	3.49	1.29	2.98
RX Gem	AVe+[K2IV]	0.18	31.55	81.0	2.40	0.43	2.50	7.50	0.58	1.69
RW Tau	B8V+[KIV]	0.23	11.94	89.8	2.43	0.55	2.27	3.00	-0.10	3.56

3. Yöntem

O-C Analizi

Analiz sırasında parabolik değişimi temsil için karesel terimin katsayısı Q ve ışık-zaman etkisi için Irwin (1959) tarafından verilen denklem birleştirilerek

$$\text{Min } I = T_0 + P x E + Q x E^2 + \frac{a_{1,2} \cdot \sin i_3}{c} \left\{ \frac{1 - e_3^2}{1 + e_3 \cos v_3} \sin(v_3 + \omega_3) + e_3 \sin \omega_3 \right\} \dots (1)$$

ifadesi kullanılmıştır. Oluşturulan O-C diyagramında, eğer karesel terimin katsayısı çok küçükse ($Q < 10^{-12} - 10^{-13}$ gün); temsil ettiği değişim, veri aralığının kısa olması nedeniyle, O-C eğrilerine yansımamaktadır. Bu türden sistemlerde Q katsayısı ihmal edilmiştir. Eğer sistemin O-C eğrisi iki ayrı çevrimli değişim gösteriyorsa,

$$\text{Min } I = T_0 + P x E + Q x E^2 + \frac{a_{1,2} \cdot \sin i_3}{c} \left\{ \frac{1 - e_3^2}{1 + e_3 \cos v_3} \sin(v_3 + \omega_3) + e_3 \sin \omega_3 \right\} \dots (2)$$

$$+ \frac{a_{1,2,3} \cdot \sin i_4}{c} \left\{ \frac{1 - e_4^2}{1 + e_4 \cos v_4} \sin(v_4 + \omega_4) + e_4 \sin \omega_4 \right\}$$

denklemden faydalanılmıştır. Denk. (1) ve (2)'de $a_{1,2} \sin i_3$ ve $a_{1,2,3} \sin i_4$ sırasıyla üçüncü ve dördüncü bileşenlerden kaynaklanan ışık-zaman yörüngesinin yarı-büyük eksen uzunluğunun izdüşümü, e_3 ve e_4 dış merkezlikler, ω_3 ve ω_4 enberi noktalarının boylamı, T_0 , P ve Q ise karesel ışık elemanlarıdır. v_3 ve v_4 , ışık zaman

yörüngeleri için gerçek ayıklık olarak tanımlanır. $T_{1,2}$ ve $T_{1,2,3}$ olarak tanımlanan enberiden geçiş zamanları ile $P_{1,2}$ ve $P_{1,3}$ ile gösterilen ışık-zaman yörüngelerinin dönemleri denk. (1) ve (2)'de gizli parametre olarak barınır.

O-C eğrilerine denk. (1) veya (2) uydurulmuş ve tüm parametreler serbest bırakılarak çözüm arayışına gidilmiştir. Çözüm için ağırlıklı en küçük kareler yöntemi kullanılmıştır. Analiz sonucu bulunan parametreler, standart hatalarıyla birlikte, Çizelge 2'de listelenmiştir. Çözümler sırasında görsel ve fotografik düzlem (sky patrol) yöntemiyle elde edilen minimum zamanlarının ağırlıkları 1, fotografik yöntemle elde edilenlerin 2, fotoelektrik ve CCD gözlemlerinden elde edilen minimum zamanlarının ağırlıkları ise 10 olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Örnek üç Algol içim O-C çözümünden elde edilen parametreler ve standart hataları

Sistem	P_{12} (yıl)	e_3	ω_3 (derece)	T_{12} 2400000+	$a_{12}\sin i$ (AU)	T_0 2400000+	P (gün)	Q (gün)
KO Aql	49.4 (± 2.3)	0.41 (± 0.15)	198 (± 13)	34643 (± 819)	6.41 (± 0.56)	37731.8170 (± 0.0051)	2.86397992 ($\pm 6.7E-7$)	1.32E-08 ($\pm 5.0E-10$)
RX Gem	59.7 (± 3.4)	0.83 (± 0.06)	158 (± 11)	31086 (± 1830)	25 (± 4)	40555.8554 (± 0.0116)	12.208572 ($\pm 9.0E-6$)	2.0E-08 ($\pm 8.0E-9$)
RW Tau	68.5 (± 0.2)	0.33 (± 0.01)	80 (± 2)	45718 (± 129)	8.23 (± 0.05)	46005.3399 (± 0.0004)	2.76879614 ($\pm 2.1E-7$)	-3.56E-9 ($\pm 3.0E-11$)

Çözümlerden elde edilen Q terimi yardımıyla dönem değişim miktarı,

$$\Delta P / P = 2Q / P \quad \dots (3)$$

formülünden hesaplanarak 1/ yıl birimine çevrilir. Bu değer ;

$$\frac{\Delta P}{P} = 3k^2 \left(\frac{r_A}{a} \right)^2 \frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \delta m + 3 \frac{m_2 - m_1}{m_1 m_2} \Delta m \quad \dots (4)$$

İfadesinde kullanılır. Denk. (4)'deki k jirasyon sabiti, r_A maddenin manyetik rüzgar aracılığıyla uzaya kaçtığı uzaklık olan Alfven

yarıçapı olup analizler sırasında kütle kaybeden bileşenin (ikinci bileşen) yarıçapının 10 katı olarak alınmıştır. m_1 ve m_2 sırasıyla baş ve yoldaş bileşenin güneş kütlesi biriminde kütleleri olmakla beraber Δm küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşene yılda aktarılan kütle miktarı ve δm ise sistemden yılda kaybedilen kütle miktarıdır. Bu ifadede bilinmeyenler Δm ve δm dir. Bu iki parametre birbirinden bağımsız olarak bulunamaz. Denk. (4)'ün sağ tarafındaki ilk terim, sistemden kütle kaybını gösterir ki her zaman negatif; ikinci terim ise bileşenlerarası kütle transferini gösterir ki klasik Algoller için pozitif değerlidir. Böylece O-C eğrisine uydurulan parabolün Q teriminin negatif olması durumu kütle kaybının baskın olduğunu; aksi durum ise kütle aktarımının baskın olduğunu göstermektedir. Analizler sırasında, eğer $\Delta P/P < 0$ ise bu değişimin kaynağının kütle kaybı olduğu düşünülmüş ve (4) ifadesinde $\Delta m = 0$ alınarak yıllık kayıp kütle miktarı δm hesaplanmıştır; eğer $\Delta P/P > 0$ ise sistemde kütle aktarımının baskın rol oynadığı düşünülmüş ve sistemden yıldız rüzgarlarıyla kaybolan madde miktarı ihmal edilerek ($\delta m = 0$), yıllık aktarılan kütle miktarı Δm hesaplanmıştır. Hesaplamalar sırasında k jirasyon sabiti için $k^2 = 1$ yaklaşımı kullanılmıştır.

Öte yandan, çevrimsel yapıları O-C eğrilerinin ışık-zaman etkili yorumlarında, üçüncü ve dördüncü cisimlerin kütle fonksiyonları,

$$f(m_3) = \frac{(a_{1,2} \sin i_3)^3}{P_{1,2}^2} = \frac{(m_3 \sin i_3)^3}{(m_1 + m_2 + m_3)^2} \quad \text{ve} \quad \dots (5)$$

$$f(m_4) = \frac{(a_{1,2,3} \sin i_4)^3}{P_{1,2,3}^2} = \frac{(m_4 \sin i_4)^3}{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)^2} \quad \dots (6)$$

denklemleri ile hesaplanabilir. Bu denklemlerde ilave bileşenin kütle fonksiyonu, ışık-zaman yörüngesinin eğimine bağlı olarak hesaplanır. Bu çalışmada ışık-zaman yörüngesinin eğimi, Bölüm (3.2)'de anlatılan konum ölçümü yöntemiyle bulunmuştur. İlave bileşenlerin anakol yıldızı olması kabulüyle Demircan ve Kahraman (1991) tarafından verilen kütle-parlaklık bağıntısı kullanılarak bu yıldız(lar)ın bolometrik mutlak parlaklığı hesaplanmış ve buradan hareketle ilave bileşen(ler)in olası ışınım gücü tahmin edilmiştir. Bulunan bu olası parlaklık veya ışınım güçleri çift sistemin ışınım gücü veya parlaklık değerleri ile kıyaslanarak bu ilave bileşenlerin fotometrik ve tayfsal

yolla denetlenip denetlenemeyeceğine karar verilebilir. Parabolik değişimlerin sonuçları ve üçüncü cisimlere ilişkin hesaplanan parametreler, Çizelge 3’de listelenmiştir.

Çizelge 3. O-C diyagramından tahmin edilen kütle aktarımı, kütle kaybı ve ilave bileşenlerin kütle ve mutlak bolometrik parlaklık değerleri.

Sistem	ΔP (s/year)	$\frac{\Delta P}{P}$ (1/year)	Δm ($M_{\odot}/year$)	δm ($M_{\odot}/year$)	$f(m_3)$	m_3 (M_{\odot})	M_{bol3}
KO Aql	0.2909	1.18E-06	4.04E-07	0.00E+00	0.1080	1.341	5.01
RX Gem	0.1034	9.80E-08	1.71E-08	0.00E+00	4.3842	8.259	-0.16
RW Tau	-0.0811	-3.39E-07	0.00E+00	-8.05E-09	0.1188	1.657	4.41

Konum Ölçümü

Çalışmada, ele alınan Algol türü örten çift sistemlerin O-C analizinden çıkarılan üçüncü bir bileşenin varlığını kanıtlamak üzere Hipparcos uydusunun orta düzey konum ölçümü verileri kullanılarak konum ölçümü analizleri yapılmıştır. Hipparcos gözlemlerin kullanım yöntemi Van Leeuwen ve Evans (1998) tarafından tartışılmıştır. Hipparcos Orta Düzey Konum Ölçümü (bundan sonra HIPKÖ olarak kullanılacak) verileri, tek boyutlu büyük çember apsis (ν) değerlerini içermektedir. HIPKÖ verisi, ayrıca, bu apsisler üzerinde tek yıldız çözümüyle sistemlere ilişkin $\alpha, \delta, \pi, \mu_{\alpha} \cos \delta$ ve μ_{δ} gibi ekvatorial koordinatlar, paralaks ve öz hareket parametrelerini ve apsislerin bu modele göre artıklarını da içermektedir. Bu apsisler,

$$\Delta \nu = \frac{\partial \nu}{\partial \alpha \cos \delta} \Delta \alpha \cos \delta + \frac{\partial \nu}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial \nu}{\partial \pi} \Delta \pi + \frac{\partial \nu}{\partial \mu_{\alpha} \cos \delta} \Delta \mu_{\alpha} \cos \delta + \frac{\partial \nu}{\partial \mu_{\delta}} \Delta \mu_{\delta} \dots (7)$$

denklemini sağlarlar. HIPKÖ dosyası bu denklemdeki beş astrometrik parametre için kısmi türevleri vermektedir. Bu ifade tek yıldızlar içindir. Ribas ve ark. (2002) ve Bakış ve ark. (2006), örten çift yıldız sistemini tek yıldız olarak düşünerek bu yıldızın üçüncü bileşenle ortak kütle merkezi etrafındaki yörünge hareketini (7) denklemine uyarlamışlardır. Bakış ve ark. (2006)’na göre;

$$\Delta X = a \frac{1 - e^2}{1 + e \cos \nu} [\cos(\nu + \omega) \sin \Omega + \sin(\nu + \omega) \cos \Omega \cos i] \quad \dots (8)$$

ve

$$\Delta Y = a \frac{1 - e^2}{1 + e \cos \nu} [\cos(\nu + \omega) \cos \Omega - \sin(\nu + \omega) \sin \Omega \cos i] \quad \dots (9)$$

olmak üzere denk. (7),

$$\Delta \nu = \frac{\partial \nu}{\partial \alpha \cos \delta} (\Delta \alpha \cos \delta + \Delta X) + \frac{\partial \nu}{\partial \delta} (\Delta \delta + \Delta Y) + \frac{\partial \nu}{\partial \pi} \Delta \pi + \frac{\partial \nu}{\partial \mu_\alpha \cos \delta} \Delta \mu_\alpha \cos \delta + \frac{\partial \nu}{\partial \mu_\delta} \Delta \mu_\delta \dots (10)$$

şeklini alır. Böylece denk. (10), 7 yörünge parametresi ($a, e, i, P, T_{enberi}, \Omega$) ve 5 astrometrik bileşen ($\alpha, \delta, \pi, \mu_\alpha$ ve μ_δ) olmak üzere toplam 12 parametre içerir. Hipparcos uydusu yaklaşık 3 yıllık bir gözlem aralığına sahiptir. Bu ise O-C analizince öngörülen ışık zaman etkisi dönemine göre oldukça kısadır. Böylece HIPKÖ verisine denk. (10) uydurulurken O-C analizi ile bulunamayan yörünge eğimi i ve düğümler çizgisinin boylamı Ω serbest bırakılmış, diğer parametreler sabit alınmıştır. Ayrıca astrometrik parametrelerin tamamı serbest bırakılarak çözüme gidilmiştir. Çözüm sonucu bulunan i yörünge eğimine göre üçüncü bileşen için hesaplanan kütle ve bu bileşenin bir anakol yıldızı olması durumunda sahip olacağı mutlak bolometrik parlaklık Çizelge 3'te verilmiştir. Astrometrik yöntemle bulunan çözüm parametreleri hatalarıyla birlikte Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. Astrometrik yörüngeye ilişkin parametreler

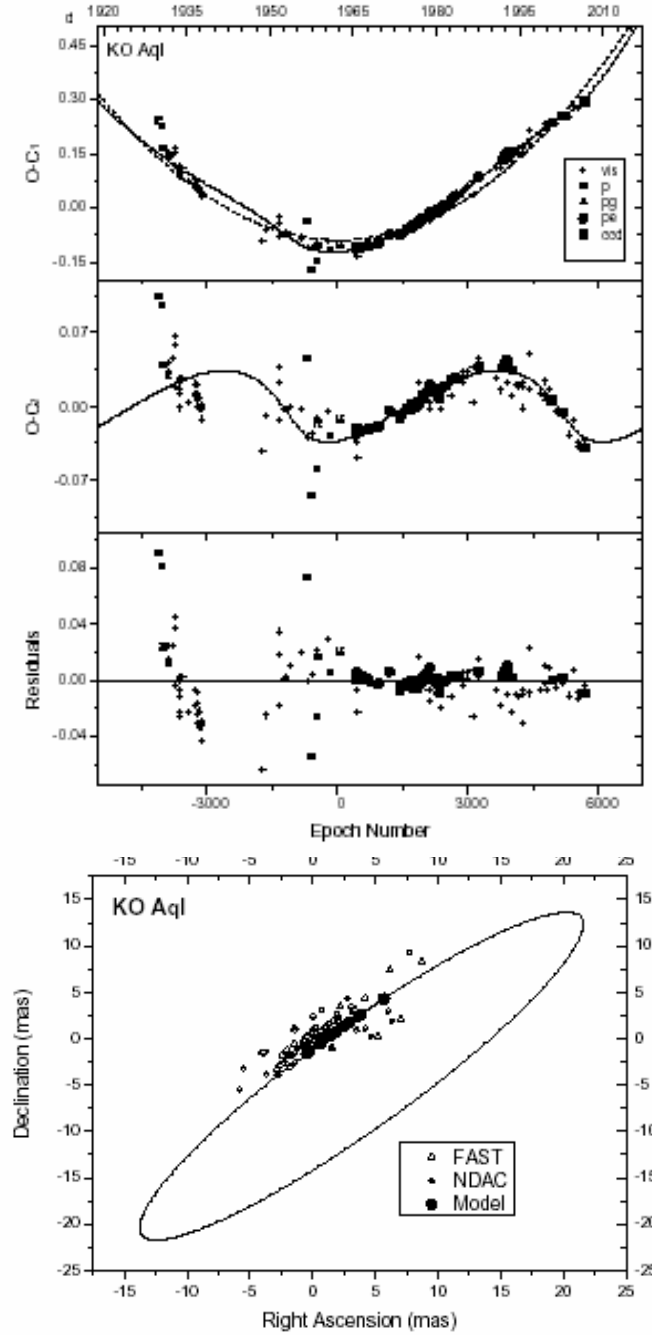
Parameter	KO Aql	RX Gem	RW Tau
P (year)	49.43	59.6	68.51
a (mas)	24.73	81.78	27.68
e	0.41	0.84	0.33
ω (deg)	198	158	80
i (deg)	78(1)	80(3)	55(2)
Ω (deg)	136(2)	126(1)	165(1)
$T_{1,2}$ (HJD)	2434643	2431086	2445718
$\Delta \alpha \cos \delta$ (mas)	11.1(3)	92.2(4)	1.7(4)
$\Delta \delta$ (mas)	2.4(3)	67.8(2)	-19.8(3)
$\Delta \pi$ (mas)	-0.5(4)	0.7(5)	-0.4(3)
$\Delta \mu_\alpha$ (mas/yıl)	-2.7(4)	-5.0(4)	-3.1(5)
$\Delta \mu_\delta$ (mas/yıl)	-2.2(3)	-3.4(2)	-2.6(4)

4. Sonuç ve Tartışmalar

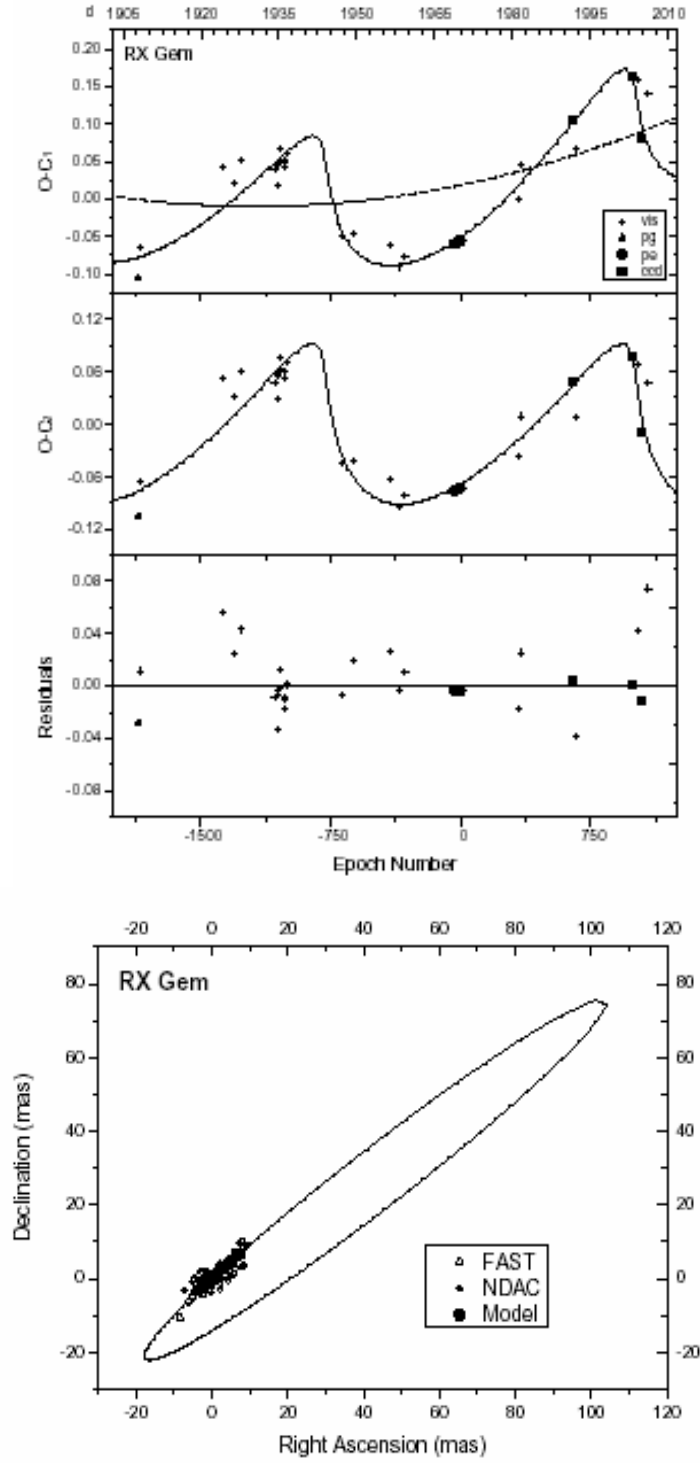
Çalışmada toplam 59 klasik Algol türü örten çift yıldızın O-C analizi yapılmıştır. Bunların 30'u, dönem artışı ile birlikte çevrimli dönem değişimi göstermektedir. Bu durum küçük kütleli bileşenden büyük kütleli bileşen üzerine madde akışı ile yorumlanmış ve korunumlu kütle aktarımı olması durumunda aktarılan kütle miktarları hesaplanmıştır. O-C çözümlerine göre aktarılan kütle miktarları $10^{-7} - 10^{-9} M_{\odot} / yıl$ arasındadır. Yarı-ayrık sistemler için Richards ve Albright (1999), yıllık kütle aktarım miktarının $10^{-7} - 10^{-11} M_{\odot} / yıl$ aralığında olması gerektiğini belirtmiştir. Dolayısıyla ilgili çözüm sonuçları literatürde verilen aralığın üst sınırında kalmakta ve hızlı kütle aktarımını göstermektedir. Diğer taraftan 19 sistemin yörünge dönemi azalmakla birlikte çevrimli dönem değişimi göstermektedir. Bu sistemlerde dönem azalması ikinci bileşenin manyetik aktivitesi sebebiyle sistemden kütle kaybının sistemin dönem değişimi üzerinde baskın rol oynadığını gösterir ve hesaplanan yıllık kayıp kütle miktarları örnek sistemler için Çizelge 3'te verilmiştir. Çözümlere göre yıllık kaybolan kütle miktarları $10^{-8} - 10^{-9} M_{\odot} / yıl$ aralığındadır. Çözülen sistemlerin 10'una ait O-C diyagramları, sadece çevrimli dönem değişimlerini göstermektedir.

Çevrimli dönem değişimleri için ilk adımda sisteme çekimsel olarak bağlı ilave bileşenlerin var olabileceği ve bu cisimlerin çift sisteme yaptırdığı yörünge hareketinin bir sonucu olarak yorumlanmıştır; ancak bu hipotez, astrometrik, fotometrik ve tayfsal gözlemlerle desteklendiği takdirde geçerlilik kazanacaktır. Çalışmada örnek olarak sunulan üç sistem, astrometrik olarak analiz edilmiş ve ilave bileşenlerin varlığına bir kanıt olarak sunulmuştur. Sistemlerin O-C diyagramları ve astrometrik yörüngeleri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te sırasıyla KO Aql, RX Gem ve RW Tau için gösterilmiş ve astrometrik olarak bulunan yörünge eğimleri için bu bileşenlerin olası kütleleri hesaplanmış ve anakol yıldızı olmaları durumunda sahip olabilecekleri bolometrik mutlak parlaklık ile birlikte Çizelge 3'te listelenmiştir. Çizelge 3'e göre KO Aql ve RW Tau sistemlerindeki üçüncü bileşenler oldukça sönük olmalıdırlar. Bu durumda bu bileşenlerin tayfsal ve fotometrik yolla doğrulanması için çok yüksek duyarlılıklı gözlemler gerektirmektedir. Ancak RX Gem sistemindeki

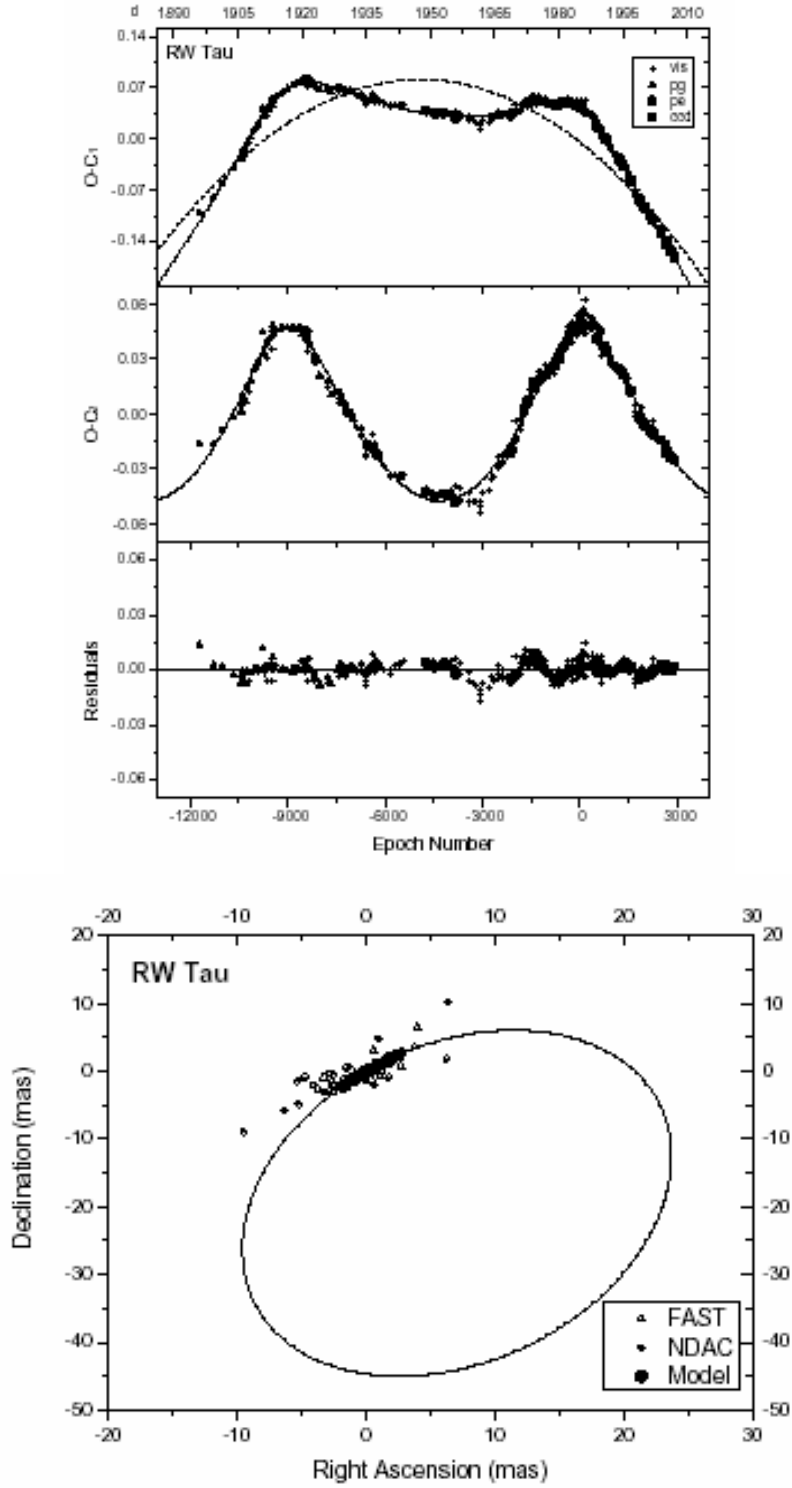
ilave bileşen, sistemin toplam kütesinden daha büyük kütleli ve ışınımına katkısı yüksek çıkmaktadır. Bu ilave bileşen şimdiye kadar tayfsal ve fotometrik yolla kendini göstermiş olmalıdır. Ancak, literatürde RX Gem sistemine ilişkin ilave bileşenin tayfsal ve fotometrik gözlemlerde etkisine dair herhangi bir bulgudan söz edilmemektedir. Dolayısıyla, bu $8.3 m_{\odot}$ kütleli devasa ilave bileşenin karadelik veya nötron yıldızı gibi bir dejenere yıldız olma ihtimali vardır.



Şekil 1. KO Aql çift sisteminin O-C çözümü (üstte) ve astrometrik çözümü (altta).



Şekil 2. RX Gem çift sisteminin O-C çözümü (solda) ve astrometrik çözümü (sağda).



Şekil 3. RX Gem çift sisteminin O-C çözümü (solda) ve astrometrik çözümü (sağda).

KAYNAKLAR

- Applegate, J. H., 1992, *Astrophysical Journal*, 385, 621.
- Bakış, V., Budding, E., Erdem, A., Bakış, H., Demircan, O., Hadrava, P., 2006, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 370, 1935.
- Budding, E., Demircan, O., 2007, “Introduction to Astronomical Photometry”, 2nd edition. Cambridge University Press.
- Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Bulut, I., Soyduğan, F., Soyduğan, E., Bakış, V., Demircan, O., 2004, *Astronomy and Astrophysics*, 417, 263.
- Demircan, O., Kahraman, G., 1991, *Astrophysics and Space Science*, 181, 313.
- Erdem, A., Budding, E., Demircan, O., Değirmenci, Ö. L., Gülmen, Ö., Sezer, C., 2005, *Astronomische Nachrichten*, 326, 332.
- Erdem, A., Doğru, S. S., Bakış, V., Demircan, O., 2007a, *Astronomische Nachrichten*, 328, 543.
- Erdem, A., Soyduğan, F., Doğru, S. S., Özkardeş, B., Doğru, D., Tüysüz, M., Demircan, O., 2007b, *New Astronomy*, 12, 613.
- Irwin, J. B., 1959, *Astronomical Journal*, 64, 149.
- Keriner, J. M., Kim, C. H., Nha, S., 2001., in An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars, Krakow.
- Ribas, I., Arenou, F., Guinan, E. F., 2002, *Astrophysical Journal*, 123, 2033.
- Richards, M. T., Albright, G. E., 1999, *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 123, 537.
- Sing, M., Chaubey, U.S., 1986., *Astrophysics and Space Science*, 124, 189.
- Surkova, L. P., Svechnikov, M. A., 2004, Vizer On-line Data Catalog: V/115
- van Leeuwen, F., Evans, D. W., 1998, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 130, 157.
- <http://www.rssd.esa.int/SA/HIPPARCOS/apps/PlotHipi.html>