

EKSANTRİK YÖRÜNGELİ ÖRTEN ÇİFT YILDIZLAR: QX CAR VE V397 CEP'DE EKSEN DÖNMESİ ANALİZİ

İbrahim BULUT

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi, Terzioğlu Yerleşkesi, 17100
Çanakkale,
e-posta: ibulut@comu.edu.tr*

Özet

Bu çalışmada V397 Cep ($P = 2.09$ gün, $e = 0.134$) ve QX Car ($P = 4.48$ gün, $e = 0.278$) örten çift yıldız sistemlerde eksen dönmesi analizi gerçekleştirilmiştir. Sistemlerin literatürde bulunan tüm minimum zamanlarıyla oluşturulan (O-C) diyagramları Lacy (1992)'nin yöntemi kullanılarak analiz edilmiş, eksen dönmesi parametreleri elde hesaplanmıştır. QX Car ve V397 Cep'in eksen dönme dönemi sırasıyla 353.9 ± 1.1 ve 174.2 ± 1.4 yıl, iç yapı sabitleride, $\log \bar{k}_{2,obs}$, -2.064 ve -2.460 olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: *Değişen yıldızlar, Örten çiftler, Eksen Dönmesi, QX Car, V397 Cep.*

Abstract

In this study, the apsidal motion analysis of the eclipsing binaries V397 Cep ($P = 2.09$ days, $e = 0.134$) and QX Car ($P = 4.48$ days, $e = 0.278$) were presented. Using all reliable timings found in the literature, (O-C) diagrams were analyzed by Lacy (1992)'s method and improved values for the elements of apsidal motion and the internal structure constants were computed. We found periods of apsidal motion of about 353.9 ± 1.1 and 174.2 ± 1.4 yr and corresponding internal structure constants, $\log \bar{k}_{2,obs}$, -2.064 and -2.460 for QX Car and V397 Cep, respectively.

Key words: *Variable stars, Eclipsing binaries, Apsidal Motion, QX Car, V397 Cep.*

1. Giriş

Eksantrik yörüngeli yakın çift yıldızlarda yörünge büyük ekseninin uzayda dönmesinin temel nedeni bileşenlerin dönme ve karşılıklı çekim nedeniyle küresel yapılarının bozulmasıdır. Eksen dönmesi denen bu olaya bir başka etki Einstein'ın görelilik kuramından gelir. Görelilik kuramına göre iki yıldız nokta kütle bile olsa yörünge büyük ekseninin dönmesi beklenir.

Eksen dönmesi çalışmaları, yıldızların yoğunluk dağılımlarının bir göstergesi olan iç yapı sabitlerinin gözlemlerle bulunmasının en önemli yoludur. Gözlemsel iç yapı sabitlerinin, yıldız modellerden hesaplanan kuramsal iç yapı sabitleri ile karşılaştırılması, yıldız modellerinin gözlemsel testlerinin yapılmasını sağlar. Ayrıca eksen dönmesi çalışmaları görelilik kuramının Güneş sistemi dışında test edilmesine de olanak sunarlar. Bu tür çalışmaların duyarlılığı, çok sayıda parametreleri iyi bilinen sistemin bulunmasına bağlıdır.

Bu çalışmada son yayınlanan eksantrik yörüngeli örten çift yıldızlar kataloğunda da (Bulut ve Demircan, 2007) yer alan QX Car ve V397 Cep'in eksen dönmesi parametreleri (O-C) analizleri yapılarak hesaplanmıştır.

2. Eksen Dönmesi Analizi

QX Car ve V397 Cep'in eksen dönmesi parametrelerinin bulunmasında Lacy (1992)'nin yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, örten bir çift yıldız sisteminde ikinci bileşen, birinci bileşen etrafında yörünge hareketi yaparken oluşacak tutulma anında yörünge büyük ekseninin de bir sabit oranında ilerleyeceği kabulüne dayanır.

Yöntemin temel bağıntısı yıldızların merkezleri arasındaki açısal ayrıklığı (δ) veren

$$\delta = \left[\frac{1 - e^2}{1 - e \sin(\theta - \omega)} \right] (1 - \sin^2 i \cos^2 \theta)^{1/2} \quad (1)$$

bağıntısıdır. Bu bağıntıya göre maksimum tutulma anı (δ) açısını en küçük yapan (θ) açı değerinde oluşacaktır. (1) bağıntısındaki (θ) açısı

$$\theta = \nu + \omega - \pi/2 \quad (2)$$

biçiminde tanımlanır. Burada (ω) t anında enberi noktasının boylamını, (ν) ise ikinci bileşenin gerçek anomalisini gösterir.

Eğer (1) eşitliğini minimum yapan (θ) açısı sayısal yöntemlerle bulunursa, (2) eşitliğinden (ν) gerçek anomalinin değeri elde edebilir. Sonra da (ν) değeri (3), (4), (5) eşitlileriyle verilen Kepler eşitliklerinde kullanılarak tutulma anıyla tutulmadan önceki son enberi geçiş anı arasındaki zaman aralığı (Δt) hesaplanabilir.

$$\varepsilon = 2 \tan^{-1} \left[\left(\frac{1-e}{1+e} \right)^{1/2} \tan \frac{\nu}{2} \right] \quad (3)$$

$$M = \varepsilon - e \sin \varepsilon \quad (4)$$

$$\Delta t = \frac{MP_a}{2\pi} \quad (5)$$

Bu eşitlerde (ε) eksantrik anomaliyi göstermektedir. Eğer birinci minimum anı (T_0) 'dan önceki (t_0) enberi geçiş zamanı bilinir ise, (t_0) ile tutulma zamanı arasındaki enberi geçiş sayısı (m) da kullanılarak bir tutulmanın zamanı

$$T = t_0 + mP_a + \Delta t \quad (6)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. (6) ifadesinde kabaca hesaplanan tutulma zamanı (T) sonraki iterasyonda kullanılarak yeni bir (T) değeri elde edilir. Bu şekilde birbirini izleyen iterasyonlara istenilen duyarlılığa ulaşana kadar devam edilerek tutuma zamanı için en uygun değer bulunabilir.

Bu işlemler sonucunda yörünge dış merkezliği (e) , başlangıç minimum zamanı (T_0) , enberi noktası boylamının başlangıç zamanındaki değeri (ω_0) , enberi noktası boylamının değişim oranı $(\dot{\omega})$, anomalistik dönem (P_a) 'nın değerleri hesaplanır. Bu değerler de kullanılarak (P_s) yıldızıl dönem

$$P_s = P_a \left(1 - \frac{\dot{\omega}}{2\pi} \right) \quad (7)$$

bağıntısıyla, (U) eksen dönme dönemi de

Tablo 1: Yeni minimum zamanları

Sistem	Min.Zamanı		Türü	Filtre	E	Gözlem
	HJD+2400000					
V397 Cep	48558.7492		II	Hp	27.5	HIP
	49014.5359		I	Hp	246.0	HIP
QX Car	48629.1399		II	Hp	1770.5	HIP
	48779.7546		I	Hp	1804.0	HIP
	48972.3169		I	Hp	1847.0	HIP
	53060.7336		I	V	2760.0	ASAS
	53093.6493		II	V	2767.5	ASAS

$$U = P_a \frac{2\pi}{\dot{\omega}} \quad (8)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Sunulan çalışmadaki sistemlerin eksen dönmesi analizlerinde yukarıda kısaca açıklanan Lacy'nin yöntemini bilgisayar programı haline getiren Holmgren'in TMLM3 programı kullanılmıştır. TMLM3 sayısal çözümlerinde Lacy'nin önerdiği Levenberg-Marquart algoritmasını kullanır. Bu programının örnek uygulamaları Holmgren ve diğ. (1995), Holmgren ve Wolf (1996) tarafından IT Cas ve Y Cyg sistemleri için yapılmıştır.

QX Car ve V397 Cep için Hipparcos fotometrisi (ESA, 1997) ve ASAS-3 veri tabanı (Pojmanski, 2002) kullanılarak toplam 7 adet yeni minimum zamanı belirlenmiştir. Bunlardan 2 tanesi V397 Cep'e, 5 tanesi de QX Car'a aittir. Yeni minimum zamanları Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1'de verilen minimum zamanları ile literatürden toplanan minimum zamanları kullanılarak sistemlerin eksen dönmesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Her iki sistem içinde toplanan tüm minimum zamanları fotometrik gözlemlerden belirlenmiştir. Bu nedenle çözümlerde tüm minimum zamanlarının ağırlıkları eşit kabul edilmiştir.

2.1. QX Car

QX Car (HIP 48589=CoD-57°2897 ; V=6.64 kadir, $\alpha_{2000} = 09^{\text{sa}} 54^{\text{dk}} 33^{\text{s}}.88$, $\delta_{2000} = -58^{\circ} 25' 16''.6$; Sp. B2V + B3V) Strohmeier ve diğ.

(1964)'nin keşfettiği güney yarım kürede yer alan eksantrik yörüngeli ($e = 0.28$) parlak bir örten çift yıldız sistemidir. Sistemin tayf türünü Thackeray ve diğ. (1973) B3V+B3V olarak belirlemiştir. Daha sonra Houk ve Cowley (1975) birinci bileşenin tayf türünü B2V olarak düzeltmiştir. Sistemin fotometrik ve mutlak parametreleri Andersen ve diğ. (1983) tarafından elde edilmiştir. QX Car'da eksen dönmesi Gimenez ve diğ. (1986) ve Wolf ve diğ. (2008) tarafından araştırılmıştır. Eksen dönme dönemi Gimenez ve diğ. (1986)'nin çalışmasında 361 ± 6 yıl, Wolf ve diğ. (2008)'nin çalışmasında ise 362 ± 4 yıl olarak bulunmuştur.

Sistemin eksen dönmesi analizinde Cousins (1981), Andersen ve diğ. (1983), Gimenez ve diğ. (1986) ve Wolf ve diğ. (2008) tarafından yayınlanan minimum zamanlarıyla birlikte Hipparcos ve ASAS-3 gözlem veri tabanları kullanılarak belirlenen 5 yeni minimum zamanı da kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan toplam 28 minimum zamanının 13 tanesi birinci minimum zamanıdır. QX Car'ın çevrim sayıları hesaplanırken

$$T_{MinI} = \text{HJD } 2453197.4048 + 4.781704 \times E \quad (9)$$

doğrusal ışık elemanları kullanılmıştır. Yörünge eğimi (i) için Andersen ve diğ. (1983)'nin verdiği $85^\circ.7$ değeri alınmıştır. Hesaplanan eksen dönmesi parametreleri ve hataları Tablo 2'de,

Tablo 2: QX Car ve V397 Cep'in eksen dönmesi parametreleri

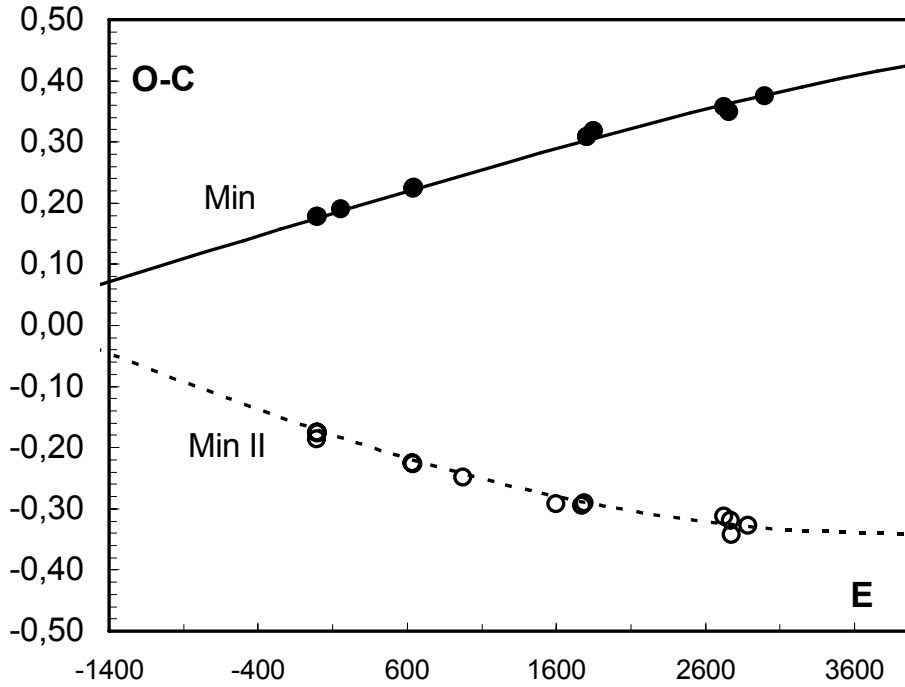
Parametre	Birim	QX Car	V397 Cep
T_0	HJD	2440701.3726 ± 0.0037	$2448501.18051 \pm 0.00007$
P_a	gün	4.4781295 ± 0.000016	2.0868924 ± 0.0000005
P_s	gün	4.4779744 ± 0.000016	2.0868240 ± 0.0000008
e		0.277 ± 0.003	0.1402 ± 0.0003
$\dot{\omega}$	derece/çevrim	0.012469 ± 0.000038	0.01181 ± 0.00010
ω_0	derece	116.0 ± 0.7	14.95 ± 0.38

i	derece	85.7	81.83
U	yıl	353.9 ± 1.1	174.2 ± 1.4

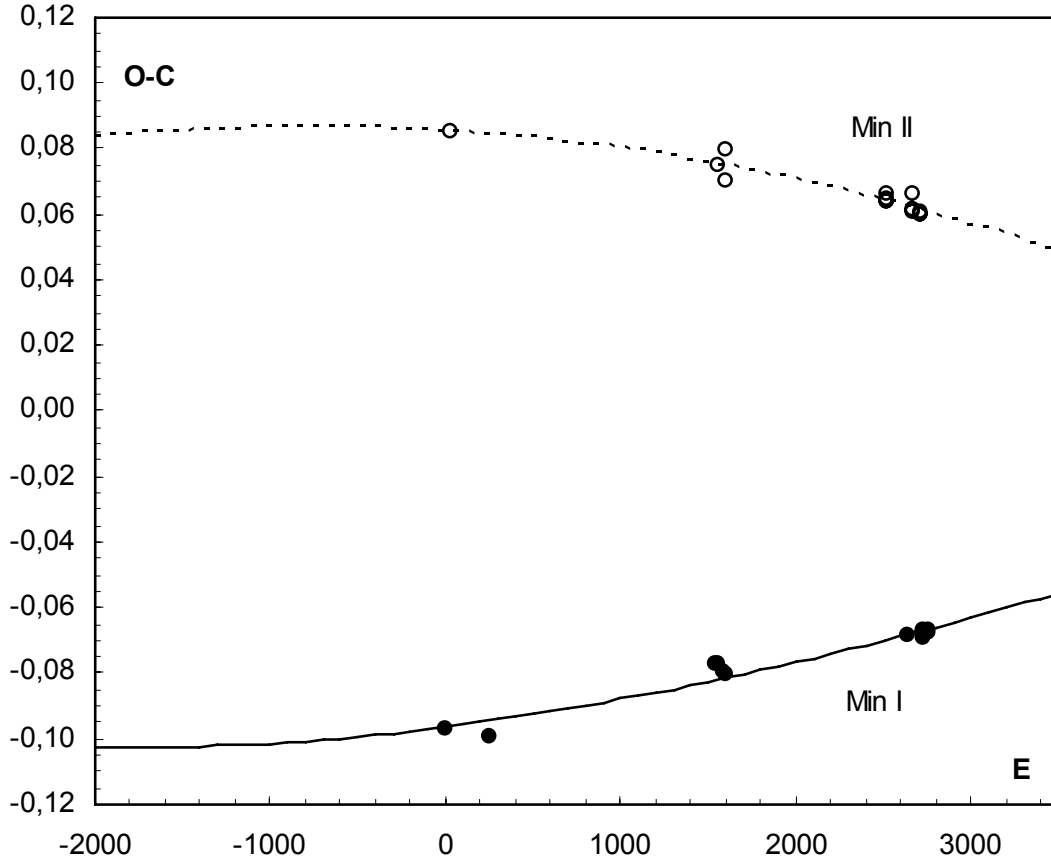
çözümlerin (O-C) eğrisiyle uyumu ise Şekil 1’de görülmektedir. Bu sonuçlara göre sistemin eksen dönme dönemi 353.9 ± 1.1 yıl olarak bulunmuştur.

2.2. V397 Cep

V397 Cep (BD $+72 \pm 1136$ = HIP 270 = HD 225093; $V=7.39$ kadir; $\alpha_{2000} = 00^{\text{sa}} 03^{\text{dk}} 24^{\text{s}}.01$, $\delta_{2000} = +73^{\circ} 10' 28''.0$; Sp. A2) Hipparcos uydusunun keşfettiği örten çift yıldız sistemlerindedir. Sistemin Hipparcos ışık eğrisi Bulut ve Demircan (2002) tarafından analiz edilmiştir. V397 Cep’in yere dayalı ilk fotometrik gözlemlerini yapan Bulut ve diğ. (2001)’nin elde ettiği UBV ışık eğrilerinin çözümleri Bulut ve diğ. (2005) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada sistemin yörünge dış merkezliği 0.13 olarak verilmiş, eksen dönme dönemi de yaklaşık olarak 300 yıl tahmin edilmiştir. Sistemin literatürde yayınlanmış tayfsal çalışması bulunmamaktadır.



Şekil 1: QX Car'ın (O-C) eğrisi.



Şekil 2: V397 Cep'in (O-C) eğrisi.

Sistemin eksen dönmesi analizinde Hegedus ve diğ. (2003), Bulut ve diğ. (2005) ve Brát ve diğ. (2007)'nin yayınladıkları minimum zamanlarıyla birlikte, Hipparcos fotometrisi kullanılarak belirlenen 2 yeni minimum zamanı da kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan toplam 19 minimum zamanının 11 tanesi birinci minimum zamanıdır. V397 Cep'in çevrim sayıları hesaplanırken

$$T_{MinI} = \text{HJD } 2448501.2767 + 2.086824 \times E \quad (10)$$

doğrusal ışık elemanları kullanılmıştır. Yörünge eğimi (i) için Bulut ve diğ. (2005)'nin fotometrik çözümlerden bulduğu $81^{\circ}.83$ değeri kullanılmıştır. Hesaplanan eksen dönmesi parametreleri ve hataları Tablo 2'de, çözümlerin (O-C) eğrisiyle uyumu ise Şekil 2'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre sistemin eksen dönme döneminin 174.2 ± 1.4 yıl olduğu bulunmuştur.

2.2.1 V397 Cep Mutlak Parametreleri

V397 Cep'in daha önce yapılmış tayfsal çalışması olmadığından literatürde mutlak parametreleri de yer almamaktadır. Gözlemsel iç yapı sabitini hesaplayabilmek için sistemin mutlak parametrelerin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için Budding ve Zeilik (1987) tarafından verilen yöntem kullanılarak sistemin mutlak parametrelerinin yaklaşık değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde Hipparcos kataloğunda verilen B-V renk indeksi ve Bulut ve diğ. (2005)'nin fotometrik çözümleri kullanılarak bileşenlerin mutlak parametrelerinin ilk değerleri Güneş biriminde $M_1 = 2.39$, $M_2 = 2.35$, $R_1 = 2.21$ ve $R_2 = 2.01$ olarak hesaplanmıştır.

3. İç Yapı Sabitleri

Eksen dönmesi çalışmaları, yıldızların (k_2) iç yapı sabitlerinin gözlemlerle bulunmasının

Tablo 3: QX Car ve V397 Cep'in iç yapı sabitleri

Parametre	Birim	QX Car	V397 Cep
M_1	M_{\odot}	9.27 ± 0.12	2.39
M_2	M_{\odot}	8.48 ± 0.12	2.35
r_1	-	0.144 ± 0.003	0.1914 ± 0.0005
r_1	-	0.136 ± 0.003	0.1746 ± 0.0007
i	derece	85.7 ± 0.2	81.83 ± 0.04
Kaynak		Andersen ve diğ. (1983)	Bulut ve diğ. (2005) Bu çalışma
$\dot{\omega}_{rel}$	derece/çevrim	0.001478	0.000961
$\dot{\omega}_{rel} / \dot{\omega}$	%	12	8
$\log \bar{k}_{2,obs}$	-	-2.064	-2.460
$\log \bar{k}_{2,teo}$	-	-2.042	-2.402

en önemli yoludur. Ancak bir çift sistemin eksen dönmesi döneminin belirlenmesi, bileşen yıldızların ayrı ayrı iç yapı sabitlerinin

bulunmasına olanak vermez. Bu yolla sadece sistem için ortalama bir iç yapı sabiti değeri belirlenebilir. Eksen dönme dönemini, ortalama gözlemsel iç yapı sabitine ($\bar{k}_{2,obs}$) bağlayan ifade Kopal (1978) tarafından

$$\bar{k}_{2,obs} = \frac{1}{c_{21} + c_{22}} \frac{P_a}{U} = \frac{1}{c_{21} + c_{22}} \frac{\dot{\omega}_N}{360} \quad (11)$$

ifadesiyle verilir. (11) ifadesindeki c_{2i} katsayılarının yaklaşık değerleri

$$c_{2i} = r_i^5 \left[\left(\frac{\Omega_i}{\Omega_K} \right)^2 \left(1 + \frac{m_{3-i}}{m_i} \right) f(e) + 15 \frac{m_{3-i}}{m_i} g(e) \right] \quad (12)$$

eşitliğiyle bulunur. Bu eşitlikte f ve g yörünge dış merkezliğinin fonksiyonudur ve

$$f(e) = \frac{1}{(1-e^2)^2}$$

$$g(e) = \frac{(8+12e^2+e^4)f(e)^{2.5}}{8} \quad (13)$$

biçiminde ifade edilir. (12) eşitliğinde ($\Omega_{1,2}$) yıldızların açısal dönme hızları, (Ω_K) ise yörünge açısal hızını göstermektedir. Kopal (1978) enberi noktasında bileşen yıldızlarda eş-dönme olduğu kabul edildiğinde

$$\left(\frac{\Omega_{1,2}}{\Omega_K} \right)^2 = \frac{1+e}{(1-e)^3} \quad (14)$$

yaklaşımının yazılabileceğini göstermiştir. (11) eşitliğindeki ($\dot{\omega}_N$) enberi noktasının ilerlemesindeki klasik katkıyı göstermektedir. Eğer enberi

noktasının boylamındaki değişimin gözlemsel değeri ($\dot{\omega}$) belirlenebilirse, enberi noktası boylamının değişimindeki klasik katkı ($\dot{\omega}_N$)

$$\dot{\omega}_N = \dot{\omega}_{obs} - \dot{\omega}_{rel} \quad (15)$$

eşitliğiyle bulunabilir. Bu eşitlikteki ($\dot{\omega}_{rel}$) enberi noktası boylamının değişimindeki relativistik katkıyı temsil eder ve Gimenez (1985) tarafından

$$\dot{\omega}_{rel} = 5.45 \times 10^{-4} \frac{1}{(1-e^2)} \left(\frac{M_1 + M_2}{P} \right)^{2/3} \quad (16)$$

ifadesiyle verilir. Burada (M_1), (M_2) Güneş kütlesi biriminde bileşenlerin kütleleri, (P) ise gün biriminde yörünge dönemidir.

Bu ifadelerle göre bir sistemin mutlak parametreleriyle birlikte eksen dönmesi dönemi bilinirse, sistemin ortalama gözlemsel iç yapı sabitini ($\bar{k}_{2,obs}$) hesaplamak mümkündür. QX Car ve V397 Cep'in ($\dot{\omega}_{rel}$) ve gözlemsel ortalama içyapı sabitleri ($\bar{k}_{2,obs}$) değerleri hesaplanarak Tablo 3 verilmiştir. Bu tabloda verilen ortalama teorik iç yapı sabitleri ($\bar{k}_{2,teo}$) Claret (1995)'in kimyasal bolluğu (X,Z) = (0.70, 0.02) kabul ederek hesapladığı değerlerden belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada QX Car ve V397 Cep'in eksen dönmesi analizi yapılarak eksen dönmesi parametreleri belirlenmiştir. QX Car'ın eksen dönme dönemi 353.9 ± 1.1 yıl bulunmuştur. Bu sonuç daha önce yapılan çalışmalara göre yaklaşık 10 yıl daha küçüktür. Mevcut gözlemler eksen dönmesi döneminin yaklaşık %10'unu kapsamaktadır. Sistemin yörünge dışmerkezliği için bulunan 0.277 ± 0.003 değeri önceki çalışmalarla uyumludur. Gözlenen eksen dönmesine relativistik eksen dönmesinin katkısı %12 olarak hesaplanmıştır. Bu oran gözlemsel eksen dönmesinden çıkarıldığında ortalama gözlemsel iç yapı sabiti $\log \bar{k}_{2,obs} = -2.064$ olarak

hesaplanır. Bu sonuç sistem için belirlenen teorik ortalama iç yapı sabiti değeri $\log \bar{k}_{2,teo} = -2.042$ ile oldukça uyumludur.

Analizler sonucunda V397 Cep'in eksen dönme dönemi 174.2 ± 1.4 yıl bulunmuştur. Bulut ve diğ. (2005)'nin farklı zamanlarda elde edilen ışık eğrilerinin çözümünden bulunan enberi noktalarının boylam değerlerinin değişimden tahmin ettikleri 300 yıl değerinden oldukça küçüktür. Bu çalışmada bulunan sonuç (O-C) değişiminden belirlendiği için daha duyarlıdır. Mevcut gözlemler eksen dönmesi döneminin %9'unu kapsamaktadır. Yörünge dışmerkezliği için bulunan 0.1402 ± 0.0003 değeri, fotometrik çözümlerden bulunan sonuçlara oldukça yakındır. Sistemin mutlak parametrelerinin yaklaşık değerleri kullanılarak gözlemsel iç yapı sabitinin değeri $\log \bar{k}_{2,obs} = -2.460$ olarak hesaplanmıştır. Gözlenen eksen dönmesine, relativistik eksen dönmesinin katkısı da %8 olarak bulunmuştur. Sistemin teorik ortalama iç yapı sabiti değeri $\bar{k}_{2,teo} = -2.402$ olarak belirlenmiştir. Bulunan gözlemsel ve teorik değerler karşılaştırıldığında gözlemler, sistemde merkezi yoğunlaşmanın yıldız modellerine göre daha büyük olduğunu göstermektedir.

Her iki sisteminde ileriki yıllarda yapılacak sürekli ve düzenli minimum zamanı gözlemleri, eksen dönmesi döneminin daha duyarlı belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca özellikle V397 Cep için yapılacak tayfsal gözlemler mutlak parametrelerin çok daha duyarlı elde edilebilmesini dolayısıyla da iç yapı sabitlerinin daha doğru belirlenmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

Andersen, J., Clausen, J. V., Nordstroem, B., Reipurth, B. 1983, 'Absolute dimensions of eclipsing binaries. I - The early-type detached system QX Carinae', *Astronomy and Astrophysics*, 121, 271-280.

Brát, L., Zejda, M., Svoboda, P. 2007, 'B.R.N.O. Contributions #34', *Open European Journal on Variable Stars*, 74, 1.

Budding, E., Zeilik, M. 1987, 'An analysis of the light curves of short-period RS Canum Venaticorum stars-Starspots and fundamental properties', *Astrophysical Journal*, 319, 827-835.

- Bulut, İ., Demircan, O., Erdem, A., Çiçek, C., Özdemir, S., Soydugan, F., Soydugan, E., Değirmenci, Ö. L., Bozkurt, Z., Yakut, K., Esenoğlu, H., Hegedus, T., Borkovits, T., Biro, I. B. 2001, 'The First Ground-based Photometric Observations of V397 Cephei', *Information Bulletin on Variable Stars*, 5129, 1.
- Bulut, İ., Demircan, O. 2002, 'in *New Directions for Close Binary Studies: The Royal Road to the Stars*', eds. O. Demircan & E. Budding, Publications of Çanakkale Onsekiz Mart Univ. Astrophysics Research Center.
- Bulut, İ., Demircan, O., Budding, E., Erdem, A., Çiçek, C., Esenoğlu, H., Soydugan, F., Soydugan, E., Değirmenci, Ö. L., Bozkurt, Z., Yakut, K. 2005, 'Photometric Study of the Binary System V397 Cephei', *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 57, 335-339.
- Bulut, İ., Demircan, O. 2007, 'A new catalogue of eclipsing binary stars with eccentric orbits', *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 378, 179-181.
- Claret, A. 1995, 'Stellar models for a wide range of initial chemical compositions until heliumburning. I. From $X=0.60$ to $X=0.80$ for $Z=0.02$ ', *Astronomy and Astrophysics Suppl. Ser.*, 109, 441-446.
- Cousins, A. W. J. 1981, 'Photometric Observations of the Eclipsing Variable QX-Carinae', *Circulars. South African Astron. Obs.*, 6, 1.
- ESA, 1997, 'The Hipparcos & Tycho Catalogues', ESA SP-1200.
- Gimenez, A. 1985, 'General-relativistic periastron advances in eclipsing binary systems', *Astrophysical Journal*, 297, 405-412.
- Gimenez, A., Clausen, J. V., Jensen, K. S. 1986, 'Four-colour photometry of eclipsing binaries. XXIV-Apsidal motion of QX Carinae, ζ Phoenicis and NO Puppis', *Astronomy and Astrophysics*, 159, 157-165.
- Hegedus, T., Borkovits, T., Biro, I. B., Demircan, O., Erdem, A., Çiçek, C., Özdemir, S., Bulut, I., Soydugan, F., Soydugan, E., Değirmenci, Ö. L., Bozkurt, Z., Yakut, K., Esenoğlu, H., Sztetle, I. 2003, 'New Times of Minima of Eclipsing Binary Systems', *Information Bulletin on Variable Stars*, 5372, 1.
- Holmgren, D., Hill, G. and Scarfe, C. D. 1995, 'New Apsidal-Motion Parameters for Y Cygni', *Observatory*, 115, 188-192.
- Holmgren, D., Wolf, M. 1996, 'Apsidal Motion in the Eclipsing Binary IT Cassiopeiae', *Observatory*, 116, 307-313.
- Houk, N., Cowley, A. P. 1975, '*Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD star*', Ann Arbor: University of Michigan, Department of Astronomy.
- Kopal, Z., 1978. '*Dynamics of close binary systems*', Dordrecht, Holland.

Lacy, C.H.S. 1992, 'An Exact Solution of the Ephemeris – Curve Problem', *Astronomical Journal*, 104, 2213-2216.

Pojmanski, G. 2002, 'The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. I. 0 h - 6 h Quarter of the Southern Hemisphere', *Acta Astronomica*, 52, 397-427.

Strohmeier, W., Knigge, R., Ott, H. 1964, 'Bright Southern BV-Stars', *Information Bulletin on Variable Stars*, 66, 1.

Thackeray, A. D., Tritton, S. B., Walker, E. N. 1973, 'Radial velocities of southern B stars determined at the Radcliffe Observatory-VII', *Memoirs of the Royal Astronomical Society*, 77, 199.

Wolf, M., Zejda, M., de Villiers, S. N. 2008, 'Apsidal motion in southern eccentric eclipsing binaries: GL Car, QX Car, NO Pup and V366 Pup', *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 10.1111/j.1365-2966.2008.13527.x.