

EKSANTRİK YÖRÜNGELİ ÖRTEN ÇİFT YILDIZ V744 CAS'NIN YERE-DAYALI İLK GÖZLEMLERİNİN FOTOMETRİK ANALİZİ

İbrahim BULUT¹, Caner Çiçek¹, Ahmet ERDEM¹, Volkan BAKIŞ¹,
Osman DEMİRCAN¹, Ömer L. DEĞİRMENCİ²

Özet

Hipparcos uydusu tarafından keşfedilen V744 Cas örten çift yıldız sisteminin B , V ve R filtrelerinde yapılan yere-dayalı ilk fotometrik gözlemleri sunulmuştur. Gözlemlerden, ikisi birinci minimum olmak üzere üç tane yeni minimum zamanı hesaplanmıştır. Sistemin yeni ışık eğrisi Wilson-Devinney yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, V744 Cas'ın A2V tayf türünden benzer bileşenlere sahip ayrık bir sistem olduğu, yörüngesinin de eksantrik ($e = 0.0662 \pm 0.0005$) olduğu anlaşılmaktadır. Enberi noktasının boylamının (ω) ayrı iki ışık eğrisi (bizim ve Hipparcos gözlemleri) için yapılan analizlerde belirgin olarak farklı olduğu bulunmuş, buradan da eksen dönmesi dönemi 425 ± 68 yıl olarak hesaplanmıştır. Sistemin elde edilen ilk mutlak parametrelerinden, HR diyagramında TAMS'a yakın bir bölgede yer aldığı, uzaklığının da 740 ± 10 pc olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Değişen yıldızlar, Örten çiftler, V744 Cas.

Abstract

The first ground-based BVR photometric observations of the recently discovered eclipsing binary V744 Cas are presented. From these measurements, timings for two primary and one secondary minima have been calculated. The light curves of the system were analyzed by using the Wilson-Devinney program. The analysis shows that the system is detached with two similar components of spectral type A2V, and the orbit is eccentric ($e = 0.0662 \pm 0.0005$). The longitude of the periastron (ω) was found significantly different for two different light curves (ours and that of Hipparcos), which is strongly suggestive of an apsidal motion with a period of about 425 ± 68 yr. This makes V744 Cas an important candidate for studies of apsidal motion. The first estimate of the absolute dimensions place the system close to terminal age of the main sequence (TAMS) in the HR diagram. The distance from the spectroscopic parallax ($d = 740 \pm 10$ pc) was found to be slightly larger than the Hipparcos' estimate of $d = 610 \pm 400$ pc.

Key words: Variable stars, Eclipsing binaries, V744 Cas.

1. Giriş

V744 Cas (HIP 1735=BD+52°51, $\alpha_{2000}=00^{\text{sa}}21^{\text{dk}}56^{\text{s}}.69$, $\delta_{2000}=+53^{\circ}28'51''.1$) Hipparcos uydusu tarafından keşfedilen eksantrik yörüngeli algol türü bir örten çift yıldız sistemidir [1]. V bandında, sistemin maksimum parlaklığı 8.70 kadir, parlaklık değişimi 0.26 kadir, ($B-V$) ve ($V-I$) renk indisleri ise sırasıyla 0.09 ve 0.10 kadir. Ortalama yörünge

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi, Terzioğlu Yerleşkesi, 17100 Çanakkale,

Tel: 286-2180018, e-posta: ibulut@comu.edu.tr

² Ege Üniversitesi Gözlemevi, Bornova, İzmir

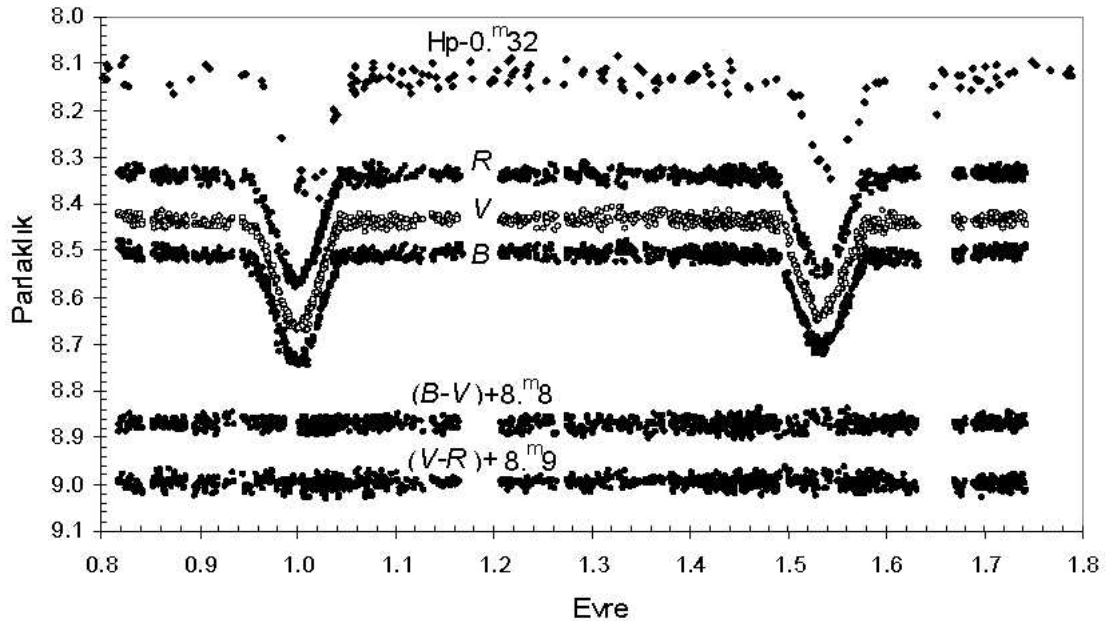
dönemi 4.78180 gün, tayf türü ise B9'dur [1]. Hipparcos uydusu ölçümlerine göre sistemin paralaksı 1.65 ± 1.10 mas, uzaklığı ise 610 ± 400 pc'dir.

Sistemin Hipparcos ışık eğrisi EBOP (Eclipsing Binary Orbit Program) yörünge analiz programı kullanılarak [2] tarafından analiz edilmiş, yörünge dış merkezliği 0.056 ± 0.004 , enberi noktasının boylamı ise $23^\circ.91 \pm 2.31$ olarak bulunmuştur.

2. Gözlemler

V744 Cas'ın ilk yere-dayalı gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Gözlemevi (ÇOMUG)'de 40 cm çaplı Schmidt-Cassegrain teleskopu ve buna bağlı OPTEC SSP-5A fotometre başlığıyla Johnson B , V ve R filtrelerinde, 2003-2004 gözlem sezonunda toplam 29 gecede gerçekleştirilmiştir. Gözlemlerde mukayese yıldızı olarak BD+53°67 (HD 2033; A2, $m_v=8^m.55$), denet yıldızı olarak da BD+52°54 (HD 232168; A0, $m_v=9^m.11$) kullanılmıştır. Gözlemler sonucu B , V ve R filtrelerinde sırasıyla 1196, 1219, 1094 gözlem noktası elde edilmiştir. Elde edilen aletsel gözlemler, [3] tarafından ÇOMUG'de kullanılan teleskop, fotometre başlığı ve filtreler için verilen standart sistem katsayıları kullanılarak, standart sisteme dönüştürülmüştür. Gözlemlerin muhtemel hataları B , V ve R filtrelerinde sırasıyla ± 0.030 , ± 0.020 ve ± 0.025 olarak elde edilmiştir.

Şekil 1'de standart B , V ve R ışık eğrileriyle beraber Hipparcos ışık eğrisi ve $(B-V)$ ve $(V-R)$ renk eğrileri birlikte görülmektedir. Şekil 1'deki evreler, denklem 1'de verilen ışık elemanları kullanılarak hesaplanmıştır. Şekilden, V744 Cas'nın eksantrik yörüngeli, bileşenleri benzer sıcaklığa sahip ayırık bir sistem olduğu açıkça görülebilmektedir. Sistemin $(B-V)$ renk indeksi $8.501(B)-8.434(V)=0.067$ kadir, V bandında birinci minimum derinliği 0.244 kadir, ikinci minimum derinliği 0.218 kadir, birinci ve ikinci minimumun tutulma süreleri ise sırasıyla 11.04 saat ve 11.50 saattir.



Şekil 1: V744 Cas örten çift sisteminin ışık ve renk eğrileri.

2. Eksen Dönmesi

Gözlemlerimizde 2'si birinci minimum olmak üzere, 3 yeni minimum zamanı belirlenmiştir. Bundan başka Hipparcos gözlemlerinden de 2 yeni minimum zamanı daha elde edilmiştir. Minimum zamanları ve olası hataları Kwee ve van Woerden yöntemi [4] kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 1'de sistemin yeni minimum zamanları ile beraber literatürde yayınlanan minimum zamanları birlikte listelenmiştir. Tabloda verilen yeni

minimum zamanları, her filtre için ayrı ayrı hesaplandıktan sonra bulunan ortalama değerlerdir.

Tablo 1'de verilen minimum zamanları kullanılarak birinci ve ikinci minimumlar için doğrusal ışık elemanları

$$T_{MinI} = \text{HJD } 2453197.4048 + 4.781704 \times E \quad (1)$$

$$T_{MinII} = \text{HJD } 2453199.9611 + 4.781690 \times E \quad (2)$$

olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, ikinci minimum ortası 0.535 evreye karşılık gelmektedir. Denklem (1) ve (2)'de birinci ve ikinci minimumlar için elde edilen dönemlerdeki belirgin fark, eksen dönmesi etkisini açıkça göstermektedir.

Tablo 1: V744 Cas'ın minimum zamanları

Min.Zamanı	HJD+2400000	Hatası	Türü	Filtre	E	(O-C)	Gözlemevi, kaynak
48028.3824	0.02	I	Hp	-1081.0	-0.0004	Hipparcos, bu çalışma	
48164.8611	0.02	II	Hp	-1052.5	0.1805	Hipparcos, bu çalışma	
48501.7240	--	I	Hp	-982.0	-0.0475	Hipparcos, [1]	
52927.4048	0.0004	II	B, V, R	-56.5	0.1663	ÇOMUG, bu çalışma	
53197.4047	0.0003	I	B, V, R	0.0	-0.0001	ÇOMUG, bu çalışma	
53264.3487	0.0005	I	B, V, R	14.0	0.0001	ÇOMUG, bu çalışma	

Sistemin eksen dönmesi döneminin ilk değerini belirlemek amacıyla, bu çalışmadaki ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen enberi noktası boylamı ile [2]'nin Hipparcos ışık eğrisi çözümlerinden elde ettiği enberi noktası boylamı değerleri karşılaştırılmıştır. 1989-1993 yılları arasında (ortalama 1991.1) yapılan gözlemlerle elde edilen Hipparcos ışık eğrisi çözümünden enberi noktası boylamı $23^{\circ}.91 \pm 2.31$ elde edilmiştir. Bizim gözlemlerimiz için ortalama gözlem zamanı 2004.3 olarak kabul edilirse, enberi noktası boylamındaki değişim 0.85 ± 0.13 /yıl, buna karşılık gelen eksen dönmesi dönemi ise 425 ± 68 yıl olarak bulunur.

3. Işık Eğrisi Analizi

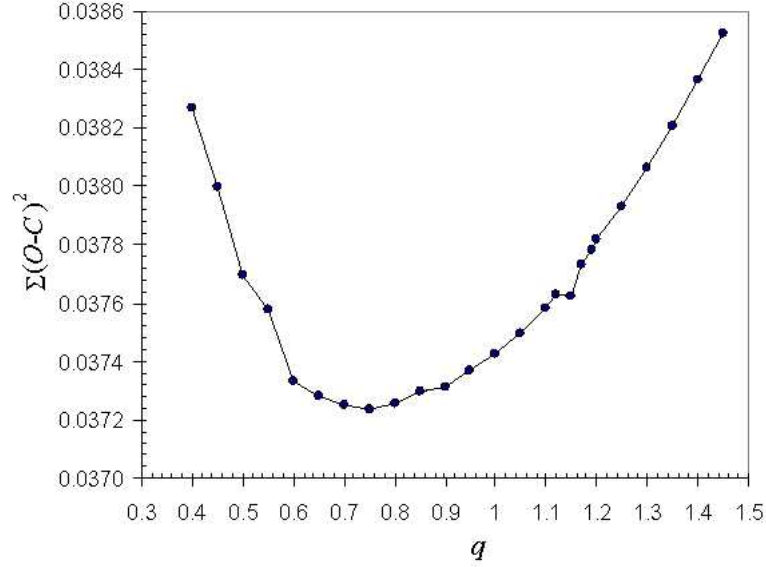
V744 Cas'ın BVR ışık eğrilerinin çözümünde Wilson-Devinney (WD) programının 2004 sürümü kullanılmıştır. Çözümler, WD'in ayrık sistemlerde kullandığı MODE 2 seçilerek yapılmıştır. Çözümlerde tüm gözlem noktaları kullanılmıştır.

Yıldız yüzeyleri eş potansiyelli yüzeyler olarak kabul edilen WD yönteminde, temelde şu parametreler kullanılır: yörüngenin dış merkezliği (e), enberi noktasının boylamı (ω), yörüngenin eğimi (i), evre kayması (PSHIFT), çekim kararına üsleri ($g_{1,2}$), bileşenlerin sıcaklıkları ($T_{1,2}$), doğrusal ve logaritmik kenar kararına katsayıları ($x_{1,2}$), bolometrik albedolar ($A_{1,2}$), yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1,2}$), kütle oranı (q), kesirsel ışınım güçleri ($L_{1,2}$).

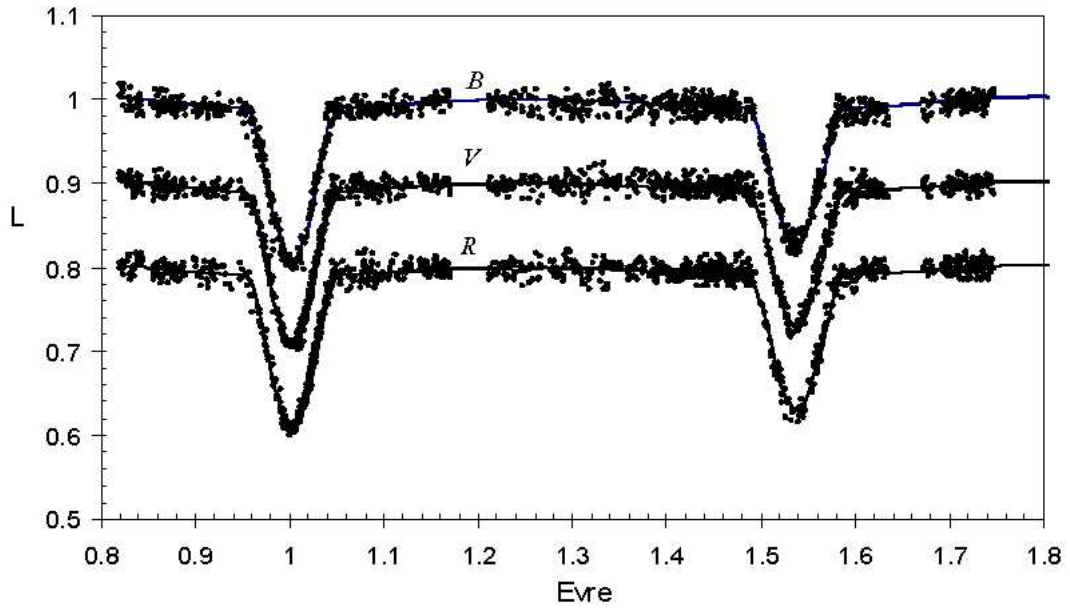
Çözümlerde, yıldızın karakteristik fizikine uygun olarak bazı parametreler sabit alınmıştır. Birinci bileşenin sıcaklığı (T_1) için bu çalışmada hesaplanan $(B-V)=0.067$ kullanılarak buna karşılık gelen 10800 K değeri [5]'den alınmıştır. Lineer kenar kararına katsayıları ($x_{1,2}$), [6]'ın tablolarından belirlenmiştir. Bolometrik albedo ($A_{1,2}$), ışınım atmosfer varsayımıyla 1.0, çekim kararına üsleri ($g_{1,2}$) ise, ışınım dengesi varsayımıyla 1.0 olarak alınmıştır.

WD programı, Roche geometrisi kullandığından (q) kütle oranına çok duyarlıdır. V744 Cas'ın belirlenmiş bir kütle oranı olmadığından (q) taraması yapılarak fotometrik kütle oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için (q)'nun 0.3 ile 1.45 aralığında, 0.05 artımlarla seçilen değerleri sabit tutularak WD programı ile V bandında çözümler yapılmıştır.

Çözümlerde (i) , (T_2) , (L_1) ve $(\Omega_{1,2})$ serbest parametreler olarak kullanılmıştır. Her çözüm için elde edilen fark kareler toplamının $[\sum W (O-C)^2]$ ilgili (q) değerine karşı değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir. Şekildeki eğri tek minimumlu düzgün bir dağılım göstermekte ve $[\sum W (O-C)^2]$ değeri $q \approx 0.75$ yöresinde minimum yapmaktadır. Bu değer (q) için başlangıç değeri olarak alınmıştır.



Şekil 2: V744 Cas'ın q taraması.



Şekil 3: V744 Cas'ın gözlem noktalarının kuramsal eğriyle uyumu.

Başlangıç değerleri belirlendikten sonra tüm gözlem noktaları kullanılarak B , V ve R bantlarında eşzamanlı çözümler yapılmıştır. Çözümlerde serbest bırakılan parametreler, (e) , (ω) , (i) , (T_2) , $(\Omega_{1,2})$, (q) ve (L_1) 'dir. Yapılan çözümlerden elde edilen sonuç değerler Tablo 2’de, bu değerlerle oluşturulan kuramsal ışık eğrilerinin, gözlem noktalarıyla uyumu ise Şekil 3’de görülmektedir.

Tablo 2: V744 Cas'ın için ışık eğrisi çözüm sonuçları.

Parametre	EBOP Çözümü	WD Çözümü
e	0.056±0.004	0.0662±0.0005
$\omega(^{\circ})$	23.91±2.31	35.09±1.19
$i(^{\circ})$	80.40±0.54	79.01(2)
PSHIFT	0.0172±0.0007	0.00030±0.00007
x_1	0.408 (Hp)	0.497(B) 0.421(V) 0.340(R)
x_2	0.408 (Hp)	0.497(B) 0.421(V) 0.340(R)
$A_1=A_2$	1.0	1.0
$g_1=g_2$	--	1.0
T_1 (K)	--	9730
T_2 (K)	--	9725±8
Ω_1	--	6.1912±0.0067
Ω_2	--	5.5853±0.0062
q	0.9	0.743±0.001
$L_1(L/L_{Top})$	0.608(Hp)	0.5388±0.0008(B) 0.5417±0.0007(V) 0.5416±0.0007(R)
$L_2(L/L_{Top})$	0.392 (Hp)	0.4612(B) 0.4583(V) 0.4584(R)
$r_{at,1}$	0.172±0.011	0.187±0.001
$r_{at,2}$	0.150	0.171±0.001

4. Sonuç ve Tartışma

V744 Cas'ın ilk yere-dayalı fotometrik gözlemlerinin WD ışık eğrisi analiz programıyla yapılan çözümlerden, yörüngesinin eliptik olduğu ($e=0.0662\pm 0.0005$) ve bileşenlerinin de benzer yapıya sahip oldukları anlaşılmaktadır. Çözümlerde fotometrik kütle oranı 0.743 ± 0.001 olarak bulunmuştur.

Tablo 2'de verilen kesirsel ışınım güçleri kullanılarak bileşenlerin *BVR* parlaklıkları ve renk indeksleri elde edilmiş ve Tablo 3'de ise sunulmuştur.

Tablo 3: V744 Cas'ın bileşenlerinin parlaklık ve renk indeksleri

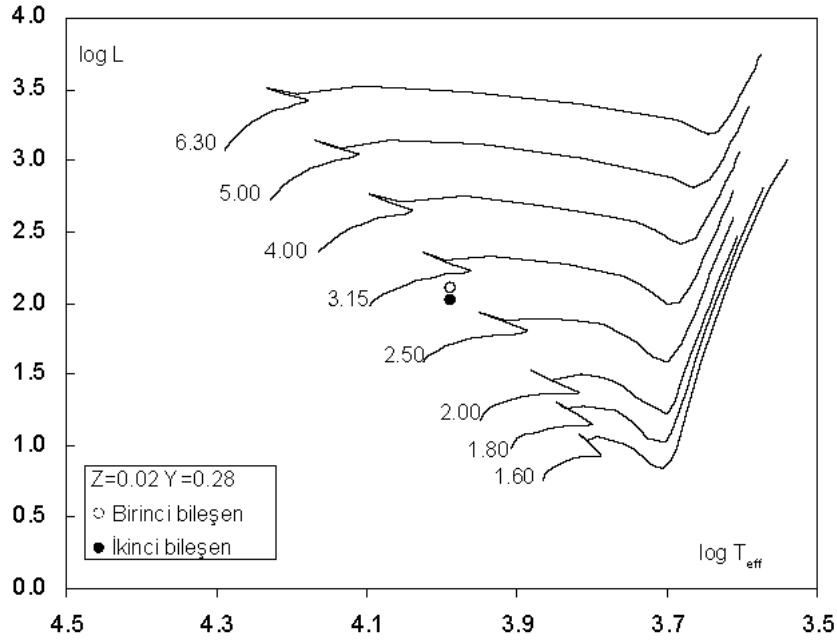
Yıldız	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>B-V</i>	<i>V-R</i>
TOPLAM	8.501	8.434	8.372	0.067	0.063
A	9.172	9.100	9.037	0.073	0.062
B	9.341	9.281	9.218	0.060	0.063

[7] tarafından verilen yöntem kullanılarak, bileşenlerin mutlak parametrelerinin ilk değerleri hesaplanmış, Tablo 4'de sunulmuştur. Bu değerlere göre sistemin HR diyagramındaki konumu ise Şekil 4'de verilmiştir. Evrim yolları [8]'in verdiği değerlere göre çizilen bu diyagramda, her iki bileşeninde TAMS'a yakın bir bölgede olduğu görülmektedir.

Renk indislerine göre bileşenlerin tayf türlerinin, Hipparcos'un verdiği tayf türüne (B9) göre daha geç tayf türünden (A2) olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sistemin uzaklığının da Hipparcos'un verdiği değerden (610 ± 400) daha büyük olarak (740 ± 10) bulunmuştur.

Tablo 4: V744 Cas örten çift sisteminin salt parametrelerinin ilk değerleri.

Parametre	Birinci Bileşen	İkinci Bileşen
$M (M_{\odot})$	3.30 ± 0.02	2.45 ± 0.02
$R (R_{\odot})$	4.00 ± 0.38	3.65 ± 0.35
$\log g$ (cgs)	3.75 ± 0.07	3.70 ± 0.07
$\log T$ (K)	3.988 ± 0.001	3.988 ± 0.001
$\log L (L_{\odot})$	2.10 ± 0.07	2.02 ± 0.07
M_{bol}	-0.51 ± 0.04	-0.31 ± 0.05
B.C.	-0.25	-0.25
M_p	-0.26 ± 0.04	-0.06 ± 0.05
Tayf Türü	A2V	A2V
d (pc)	740 ± 10	

**Şekil 4:** V744 Cas'ın bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları. Evrim yolları, [8]'den alınan kuramsal değerlere göre çizilmiştir. Evrim yollarının yanındaki sayılar, evrim modellerinin başlangıç kütlelerini göstermektedir.

Enberi noktası boylamı için Hipparcos ışık eğrisi çözümlerinden $\omega=23^{\circ}.91 \pm 2.31$ değeri elde edilmişken, yeni ışık eğrisi çözümlerinden $\omega=35^{\circ}.09 \pm 1.19$ değeri bulunmuştur. Buradan enberi noktası boylamındaki değişim yaklaşık 0.0111 ± 0.0017 /çevrim, buna karşılık gelen eksen dönmesi dönemi ise yaklaşık 425 ± 68 yıl olarak elde edilir.

Bir sistemin mutlak parametreleriyle birlikte eksen dönmesi dönemi biliniyor ise, sistemin ortalama gözlemsel iç yapı sabiti hesaplanabilir. Bunun için öncelikle gözlenen eksen dönmesine, relativistik eksen dönmesinin katkısı belirlenmelidir. V744 Cas için bu oran yaklaşık %10 olarak hesaplanmıştır. Bu oran gözlemsel eksen dönmesinden çıkarıldığında ve sistemin enberi noktasında eş-dönme yaptığı kabul edildiğinde, V744 Cas'ın ortalama gözlemsel iç yapı sabiti $\log \bar{k}_{2,obs} = -2.38$ olarak hesaplanır. Diğer taraftan sistem için ortalama

teorik iç yapı sabiti ise [8]'in verdiği tablolardan $\log \bar{k}_{2,peo} = -2.57$ olarak belirlenmiştir. Bulunan gözlemsel ve teorik değerler karşılaştırıldığında gözlemler, sistemde merkezi yoğunlaşmanın yıldız modellerine göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

Sistemin ileriki yıllarda yapılacak sürekli ve düzenli minimum zamanı gözlemleri, eksen dönmesi döneminin daha duyarlı belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca sistemin tayfsal gözlemlerinin de yapılarak, fotometrik gözlemlerle birlikte analiz edilmesi mutlak parametrelerin çok daha duyarlı elde edilebilmesini sağlayacaktır.

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından TBAG-102T201 No'lu bilimsel araştırma projesi olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] ESA (1997), "The Hipparcos & Tycho Catalogues", ESA SP-1200.
- [2] 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 University Astrophysics Research Center.
- [3] Bakış, H., Bakış, V., Demircan, O., Budding, E. (2005), *Turkish Journal of Physics*, 29, 217.
- [4] Kwee, K. K., van Woerden, H. (1956), "A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable", *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, 12, 327.
- [5] Zombeck, M. V. (1990), "Handbook of Astronomy and Astrophysics" Second Edition, Cambridge, UK: Cambridge University Pres.
- [6] Van Hamme, W. (1993), "New limb-darkening coefficients for modeling binary star light curves", *Astronomical Journal*, 106, 2096-2117.
- [7] 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.
- [8] 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.

