

# EKSEN DÖNMESİ GÖSTEREN HIPPARCOS ÖRTEN ÇİFT SİSTEMİ V398 LAC'IN İLK YER TABANLI GÖZLEMLERİNİN FOTOMETRİK ANALİZİ

Caner ÇİÇEK<sup>1</sup>, Ömer L. DEĞİRMENÇİ<sup>2</sup>, İbrahim BULUT<sup>3</sup>,  
Osman DEMİRCAN<sup>1</sup>, Ahmet ERDEM<sup>1</sup>, Volkan BAKIŞ<sup>1</sup>, Naci ERKAN<sup>1</sup>

## Özet

Bu çalışmada, Hipparcos uydusu tarafından değişen (örten) bir çift yıldız olduğu ilk kez ortaya konan V398 Lac'ın ilk yer tabanlı *BVR* CCD gözlemleri sunulmaktadır. Işık eğrileri, ÇOMÜ Gözlemevinde, üç ardışık yıl 2003, 2004 ve 2005'te yapılmıştır. Gözlemlerden 3 baş ve 3 yan minimum zamanı elde edilmiştir. Yeni *BVR* ışık eğrileri, Wilson—Devinney yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda, bu yıldızla ilişkin yörüngesel ve fiziksel öğeler ilk kez bulunmuştur. Sonuçlar, sistemin basık yörüngeli, ayırık bir çift olduğunu göstermektedir. Hipparcos ve ÇOMÜ ışık eğrilerinin çözümü, enberi boylamı için oldukça farklı değerler vermektedir; ki bu sonuç, sistemin eksen dönmesinin yaklaşık 26 yıllık bir döneme sahip olduğunu gösterir. Bu kısa dönem, V398 Lac'ı, eksen dönmesi çalışmaları için çekici bir aday yapar.

**Anahtar Kelimeler :** Örten Çift Yıldızlar, Eksen Dönmesi.

## Abstract

The first ground-based *BVR* photometric observations of the eclipsing binary star V398 Lac, which was recently discovered by Hipparcos, are presented. The light curves were obtained at the ÇOMU Observatory in the consecutive years 2003, 2004 and 2005. From these observations, three primary and three secondary minima times have been calculated. The light curves of the system were also analyzed by using the Wilson-Devinney program. The analysis shows that the system is detached and its orbit is eccentric. The longitude of the periastron ( $\omega$ ) 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 26 yr. This small period makes V398Lac an important candidate for studies of apsidal motion.

**Key Words:** *Eclipsing Binary, Apsidal Motion*

---

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü ve Astrofizik Araştırma Merkezi, Terzioğlu Yerleşkesi, Çanakkale. E-mail: ccicek@comu.edu.tr

<sup>2</sup> Ege Üniversitesi Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Bornova, İzmir. E-mail: omer.degirmenci@ege.edu.tr

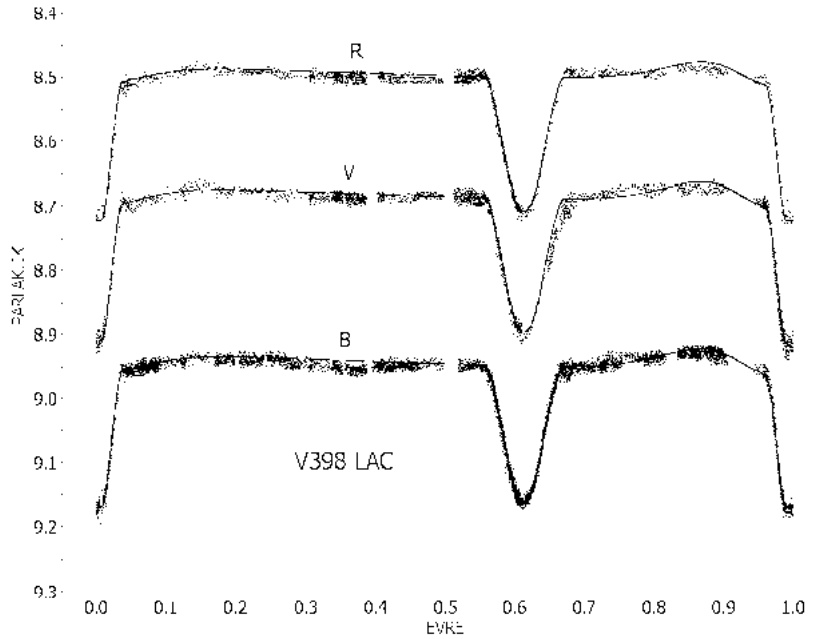
<sup>3</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çanakkale Meslek Yüksek Okulu ve Astrofizik Araştırma Merkezi, Terzioğlu Yerleşkesi, Çanakkale. E-mail: ibulut@comu.edu.tr

## 1. Giriş

V398 Lac (HIP 109193 = HD 210180 = PPM 40240), Hipparcos uydusu ile gözlenerek V renginde ışık eğrisi elde edilmiş, EA sınıfından örten çift olarak sınıflandırılmış, yörünge dönemi 5.4057 gün ve tayf türü A0 olarak verilmiştir [1]. Sistemin Hipparcos uydusu tarafından elde edilen ışık eğrisi, yan minimumun 0.5 evre yerine ~0.35 evrede oluşması nedeniyle, V398 Lac'ı, eksen dönmesi gösteren sistemlere aday yeni bir sistem konumuna getirmektedir.

## 2. Gözlemler

V398 Lac'ın yer tabanlı ilk gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi (ÇOMUG)'de 2003 ve 2004 yılları arasında 30 cm çaplı Schmidt-Cassegrain teleskopu ve buna bağlı ST10X-ME CCD kamera ile gerçekleştirilmiştir. Gözlemler sırasında B, V ve R süzgeçlerinin her birinde sırasıyla, 4874, 1889 ve 1588 gözlem noktası elde edilmiştir. Elde edilen CCD ışık eğrileri Şekil 1'de gösterilmiştir (Düz çizgiler hesaplanan ışık eğrileridir.). Sistemin gözlenen  $B-V$  ve  $V-R$  renk eğrileri ise Şekil 2'de verilmiştir.

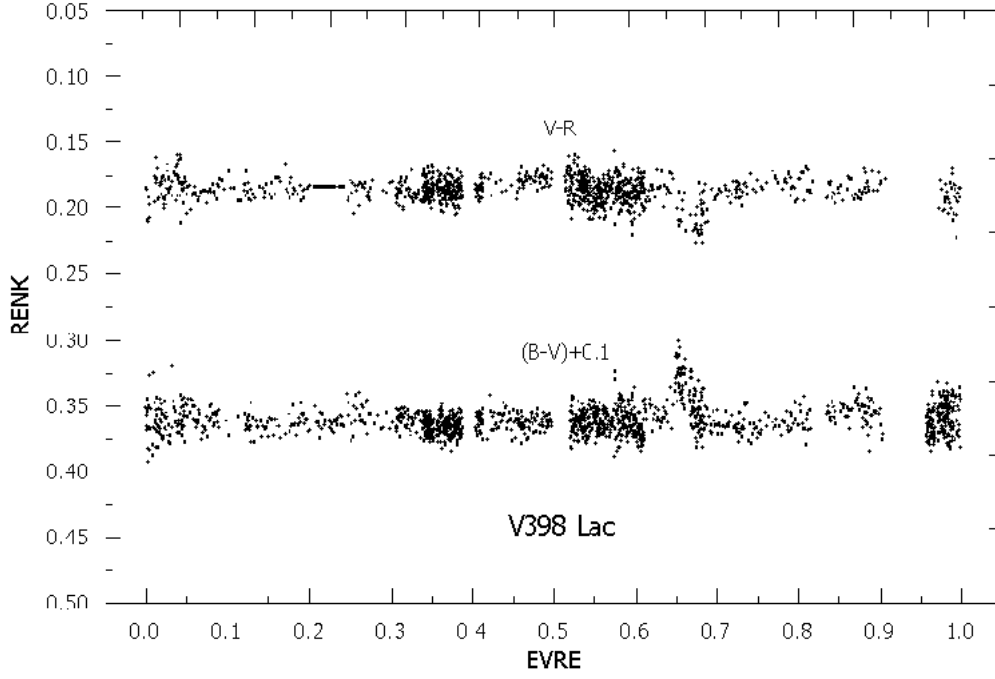


Şekil 1 V398 Lac'ın gözlenen ve Model B parametreleriyle hesaplanan ışık eğrileri

Işık eğrilerinde yan minimumun yeri 0.6 evre civarındadır ve bu da yörünge basık olduğu anlamına gelir. Ayrıca ışık eğrileri tutulmalar dışında da dalga benzeri bir değişim göstermektedir.

Renk eğrileri incelendiğinde,  $B-V$  renginde, yan minimumun çıkış omuzuna denk gelen evrede bariz bir mavileşmeye karşın  $V-R$  renginde hafif bir kızıllaşma olduğu ve diğer evrelerde ise renklerin hemen hemen sabit gittiği görülmektedir. Özellikle tutulma ortalarına denk gelen evrelerde renklerin değişim göstermiyor olması bileşenlerin hemen hemen aynı sıcaklıklarda olduğunu ima eder. Bu nedenle, sistem için elde ettiğimiz renk ölçeklerinin, yaklaşık olarak bileşenlerin de renk ölçeklerini temsil ettiğini varsayabiliriz.

Özgül (kızıllaşmamış)  $(U-B)_0$  ve  $(B-V)_0$  renk ölçekleri hakkında fikir edinebilmek amacıyla, V398 Lac örten çift sistemi, 2005 gözlem sezonunda, mukayese yıldızı ve bir takım standard yıldızlarla birlikte  $UBV$  filtrelerinde gözlenerek, değişen ve mukayese yıldızlarının  $U-B$  ve  $B-V$  standard renk ölçekleri elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2 V398 Lac'ın gözlenen  $B-V$  ve  $V-R$  renk eğrileri

V398 Lac örten çift sisteminin gözlemleri sırasında  $B$ ,  $V$ , ve  $R$  süzgeçlerinin herbirinde bir baş, bir de yan minimum zamanı elde edilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Minimum zamanları ve olası hataları Kwee ve van Woerden [2] yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. Değişen ve mukayese yıldızlarının standard renk ölçekleri

Yıldız	Tycho Katalog Adı	U-B	B-V
Değişen	TYC 3969- 1626-1	-0.25	0.24
Mukayese	TYC 3969- 2396- 1	0.01	0.30

Tablo 2 V398 Lac'ın gözlenen minimum zamanları

HJD	Hata	Süzgeç	Minimum türü
53599.3914	0.0003	B	II
53599.3918	0.0004	V	II
53599.3919	0.0006	R	II
53666.3679	0.0007	B	I
53666.3629	0.0007	V	I
53666.3655	0.0009	R	I

### 3. Işık Eğrisi Analizi

Örten çift sistemlerin ışık eğrilerinin, modern yöntemlerle anlamlı bir şekilde çözülebilmesi için, bileşenlerden birinin sıcaklığının duyarlı olarak bilinmesi gerekir. V398 Lac, henüz yeni keşfedildiğinden dolayı fotometrik ya da tayfsal analizleri yapılmamış bir sistemdir. Bu yüzden ışık eğrilerinin çözümü büyük zorluklar içerir. Ne bileşenlerin sıcaklıkları ne de sistemin kütle oranı hakkında hiç bir bilgi elde mevcut değildir. Bu nedenle, öncelikle yaklaşık da olsa bir sıcaklık değeri bulmak amacıyla  $Q$  parametresi tanımından yararlanılmıştır.  $UBV$  sisteminde tanımlanan  $Q$  parametresi, yıldızlararası sönmükleştirmeden etkilenmeyen bir parametre olup

$$Q = (U - B) - \frac{E(B - V)}{E(U - B)}(B - V) \quad (1)$$

bağıntısıyla verilir [3].  $E$  renk artışı için Persei yasası dikkate alınır ( $E = 0.7$ ) ve  $U-B$  ve  $B-V$  gözlenen renkleri kullanılırsa, değişen ve mukayese yıldızları için sırasıyla  $Q(\text{değişen}) = -0.42$  ve  $Q(\text{mukayese}) = -0.2$  değerlerini elde ederiz. Golay'ın çizelgesine göre,  $Q$ 'nun bu değerleri sırasıyla  $(B-V)_{\text{değişen}} = -0.15$  ve  $(B-V)_{\text{mukayese}} = -0.075$  bünyesel renk ölçeklerine karşılık gelmektedir. Renk ölçekleri için bulunan bu değerler, Popper'in çizelgesinde [4] kullanılarak, değişen ve mukayese yıldızlarının tayf türleri, sırasıyla, B6 ve B9 olarak elde edilmiştir.

Değişen yıldız için yukarıda verdiğimiz renk ölçeği değeri, [4]'e göre,  $T_e = 14800$  K civarında bir etkin sıcaklık değerine karşılık gelmektedir. Bu nedenle, sistemin sıcak bileşenin  $14800$  K civarında bir sıcaklığa sahip olması beklenmelidir. V398 Lac'ın, Şekil 1'de verilen ışık eğrileri incelendiğinde, baş ve yan minimum derinliklerinin hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Dolayısı ile, bileşenlerin sıcaklıklarının da yaklaşık olarak eşit olmalarını beklemekteyiz.

V398 Lac örten çift sisteminin 2003 – 2004 gözlem sezonlarında elde edilen  $BVR$  ışık eğrilerinin çözümleri Wilson-Devinney [5] yöntemiyle yapılmış ve çözümlerde 2003 versiyonu kullanılmıştır. Sıcak bileşenin sıcaklığını tahmin edebilmek amacıyla yaptığımız deneme çözümlerinde en uygun sonuçlar, soğuk bileşenin sıcaklığının  $14500$  K olduğu durumda elde edilmiştir. Bu denemelerde gözlenen önemli bir durum ise baş minimumda örtülen yıldızın (baş yıldız) soğuk, yan minimumda örtülen bileşenin (yoldaş) ise sıcak bileşen olmasıdır. Sonuç olarak, baş yıldızın sıcaklığı  $14500$  K kabul edilmiş ve çözümler sırasında sabit tutulmuştur. Çözümlerde doğrusal kenar kararına yasası kabul edilmiş ve kenar kararına katsayıları [6]'dan alınmıştır. Bileşenlerin bolometrik yansıtma katsayıları ile çekim kararına üsleri ışınımlı atmosferler durumu kabul edilerek 1.0 olarak alınmıştır.  $B$ ,  $V$  ve  $R$  ışık eğrilerinden ortalamalar alınarak, her bir renkte 1000'er ortalama nokta oluşturulmuş ve ortalama ışık eğrileri kullanılarak  $B$ ,  $V$  ve  $R$  ışık eğrileri eşzamanlı olarak çözülmüştür. Çözümlerde atmosfer modeli kullanılmış ve bileşenlerin kimyasal bollukları için Güneş değerleri kabul edilmiştir. Eş dönme parametresi  $F$ 'nin durumuna bağlı olarak iki farklı model çözümü elde edilmiştir. Model A'da dönme ve yörünge açısal hızları eşit kabul edilmiş (eşdönme) ve bileşenlerin eşdönme parametreleri  $F_{1,2}$  sabit tutulmuştur. Model B'de ise  $F_{1,2}$  parametreleri serbest bırakılarak düzeltilmiştir. Çözümler sırasında serbest bırakılan diğer parametreler ise şunlardır: yörünge dışmerkezliği,  $e$ ; enberi boylamı,  $w$ ; evre kayması,  $\phi$ ; yörünge eğim açısı,  $i$ ; yoldaş yıldızın sıcaklığı,  $T_2$ ; bileşenlerin yüzey potansiyelleri,  $\Omega_{1,2}$ ; kütle oranı,  $q(=M_2/M_1)$  ve baş yıldızın, B, V ve R renklerindeki normalize edilmemiş tekrenk ışıtmaları,  $L_1$ . Bütün parametreler için program tarafından üretilen düzeltme miktarları, onların hatalarından küçük kalıncaya kadar iterasyon işlemleri devam ettirilmiştir. Çözüm sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Çözüm denemelerinde elde edilen en ilginç durum, bileşenlerin birbirine çok yakın sıcaklıklara sahip olmalarına karşın, baş minimumda örtülen bileşenin sıcak (ve normal olarak büyük kütleli) bileşen değil aksine daha soğuk (ve küçük kütleli) bileşen olmasıdır. Başka bir deyişle sistemin ışık eğrisinde derin minimum, soğuk

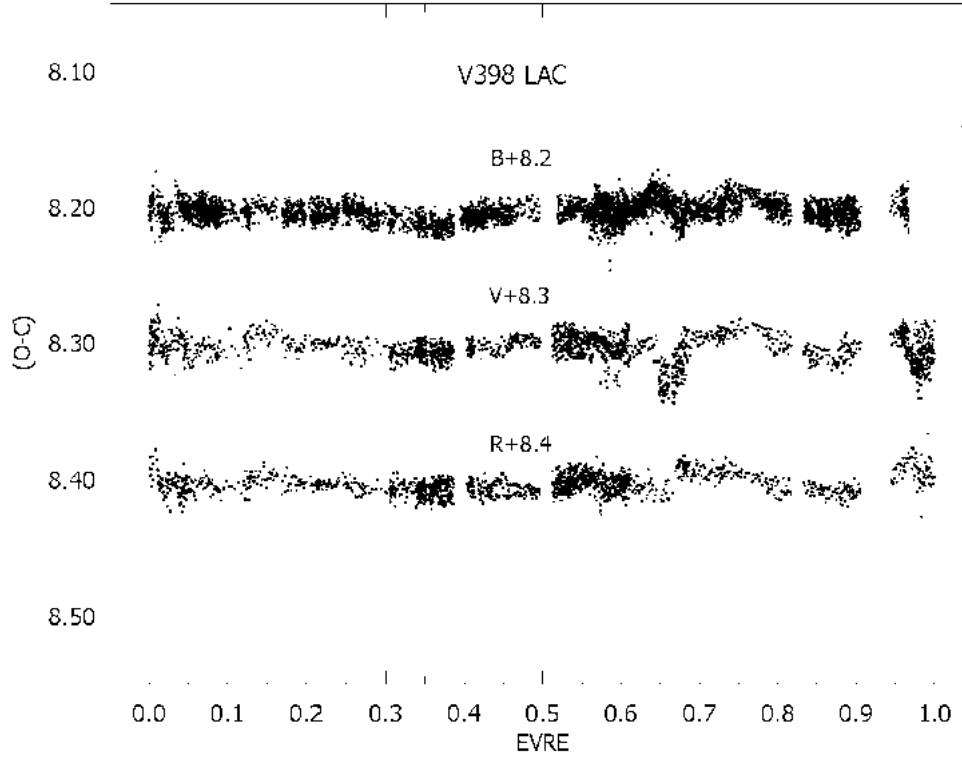
bileşenin örtülmesiyle ve biraz daha sığ olan minimum ise sıcak bileşenin örtülmesiyle oluşmaktadır. Bu nedenle, bugüne kadar kullanılan terminolojiye göre zıt bir durum ortaya çıkmaktadır. Bizim bu çalışmada kullandığımız baş yıldız terimi baş minimumda örtülen bileşen (daha soğuk ve daha küçük kütleli bileşen) içindir.

**Tablo 2.** V398 Lac örten çift sisteminin  $B$ ,  $V$  ve  $R$  ışık eğrilerinin Wilson-Devinney yöntemi ile eşzamanlı çözümlerinden elde edilen sonuçlar. Programın, serbest parametreler için ürettiği hatalar, son basamaklarda olmak üzere parantez içlerinde verilmiştir.

Parametre	Model A	Model B
$\phi$	0.0460 (1)	0.0467 (1)
$e$	0.2961 (5)	0.2859 (6)
$w$ ( $^{\circ}$ )	54.1 (1)	52.4 (1)
$i$ ( $^{\circ}$ )	84.31 (2)	84.57 (1)
$F_1$	1.0	1.1 (2)
$F_2$	1.0	3.5 (1)
$x_1$	0.37 (B), 0.31 (V), 0.24 (R)	0.37 (B), 0.31 (V), 0.24 (R)
$x_2$	0.38 (B), 0.32 (V), 0.25 (R)	0.38 (B), 0.32 (V), 0.25 (R)
$A_1 = A_2$	1.0	1.0
$g_1 = g_2$	1.0	1.0
$T_1$ * (K)	14500	14500
$T_2$ (K)	14721 (48)	15340 (84)
$\Omega_1$	12.219 (22)	12.521 (22)
$\Omega_2$	7.220 (23)	7.767 (21)
$q$	1.243 (5)	1.248 (6)
$L_1/(L_1+L_2)$	0.165 (1) (B)	0.165 (1) (B)
	0.167 (1) (V)	0.167 (1) (V)
	0.166 (1) (R)	0.166 (1) (R)
$r_1$ (ortalama)	0.0957 (2)	0.0930 (2)
$r_2$ (ortalama)	0.2109 (8)	0.2057 (9)
$\sigma$	0.00184	0.00174

Tablo 2'den görüleceği üzere, Model B ile elde edilen sonuçlar, ikinci yıldızın sıcaklığı dışında, Model A ile elde edilenlere oldukça yakındır. Model B'ye göre birinci yıldız hemen hemen eş dönme yaparken ikinci yıldızın dönme açısal hızı yörünge açısal hızının 3.5 katıdır. İki model arasındaki diğer bir farklılık da ikinci yıldızın sıcaklığının Model B'de yaklaşık olarak 800 K daha yüksek çıkmasıdır. Işık eğrilerinin çözümlerinden elde edilen önemli sonuç, baş minimumda örtülen yıldızın (birinci yıldız) sistemin daha soğuk ve daha küçük kütleli bileşeni olmasıdır. Model B'nin öğeleriyle hesaplanan kuramsal ışık eğrilerinin

gözlemsel noktalarla uyumu Şekil 1’de, gözlenen ve hesaplanan eğriler arasındaki (O-C) farkları ise Şekil 3’de verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere, sistemin gözlenen ışık eğrilerini yalnızca örtme ve örtülme olayları ile tam olarak açıklamak olanaklı görülmemektedir. Başka bir deyişle, sistem, tutulma (örtme-örtülme) kaynaklı ışık değişimleri dışında, dalga benzeri ek bir ışık değişimi daha göstermektedir. Işık eğrilerinde ortaya çıkan bu ekstra değişimlerin nedeni şimdilik bilinmemektedir. Bu ekstra değişimin nedenlerinden biri olarak zonklama mekanizması düşünülebilir. Bu nedenle, bu yıldızın gözlemlerine ilerleyen gözlem sezonlarında da devam edilmesi gerekmektedir.



Şekil 3 Gözlenen ve hesaplanan ışık eğrileri arasındaki (O-C) farkları

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Tablo 2’de, kütle oranı, baş yıldızın sıcaklığı ve kesirsel yarıçapı için verilen değerler ile sistemin 5.4057 günlük yörünge dönemi, Budding ve Zeilik [7] (B&Z) tarafından verilen yöntemde kullanılarak, yoldaşın (sıcak bileşen) kütlesi hesaplanmıştır. Yoldaşın kütlesi, Dirilling ve Landolt [8] (D&L) tarafından verilen tablolardan yararlanılarak da tahmin edilmiştir. Yoldaşın kütlesi  $M_2$ , bu şekilde bulunduktan sonra, baş yıldızın kütlesi de  $M_2 = qM_1$  bağıntısından hesaplanmıştır. Keplerin 3. yasası uygulanarak görelî yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu ve  $R_i = r_i a$  bağıntısından da bileşen yarıçapları hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 3 de verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere, D&L’un tablolarından elde edilen kütleler, B&Z yöntemi ile elde edilenlerden yaklaşık olarak %15 daha küçüktür.

**Tablo 3.** V398 Lac örten çift sisteminin salt öğeleri.

Parametre	Model A		Model B	
	B&Z	D&L	B&Z	D&L
$M_2 (M_{\odot})$	6.6	5.6	6.8	5.9
$M_1 (M_{\odot})$	5.3	4.5	5.4	4.7
$a (R_{\odot})$	29.6	28.0	29.8	28.5
$R_2 (R_{\odot})$	6.2	5.9	6.1	5.9
$R_1 (R_{\odot})$	2.8	2.7	2.8	2.7

Sistemin eksen dönme dönemi için bir ilk ve yaklaşık değer elde edebilmek amacıyla, bu çalışmadaki ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen enberi boylamı, Bulut ve Demircan [9]'ın Hipparcos ışık eğrisi çözümlerinden elde ettiği değerle karşılaştırılmıştır. 1989-1993 yılları arasında (ortalama 1991.7) yapılan gözlemlerle elde edilen Hipparcos ışık eğrisi çözümünden enberi boylamı  $221^{\circ}.14$  elde edilmiştir. Bizim gözlemlerimiz için ortalama gözlem zamanı 2004.7 olarak kabul edilirse, Model A için, enberi boylamındaki değişim, ileri hareket durumunda  $14.84$  derece/yıl, geri hareket durumunda ise  $12.85$  derece/yıl olarak, Model B içinse, ileri ve geri hareket durumlarında, sırasıyla,  $14.71$  derece/yıl ve  $12.98$  derece/yıl bulunur. Bu değerler kullanılarak, sistemin eksen dönme dönemi için, Model A durumunda  $24.3$  yıl ya da  $28$  yıl, Model B durumunda da  $24.5$  yıl ya da  $27.7$  yıl değerleri elde edilir. Sonuç olarak, V398 Lac sisteminin yörünge dışmerkezliği yaklaşık  $0.29$  olup, eksen dönme dönemi de yaklaşık olarak  $24 - 28$  yıl arasındadır. Buna göre, V398 Lac örten çifti, eksen dönme dönemi kısa olan sistemler arasına girmektedir. Eksen dönmesine relativistik katkı gözlenenin yaklaşık  $\%10$ 'udur varsayımıyla bu katkıyı arındırırsak, eksen dönmesine klasik katkı  $\dot{\omega}_{cl} = 0.2020$  derece/çevrim olarak elde edilir. Buna göre, sistemin ortalama iç yapı sabiti  $\log \bar{k}_{2,obs} = -1.49$ 'dur. Bileşenler için güneş bollukları kabul edilerek, Claret ve Gimenez [10]'un hem merkezi fırlatma hem de kütle kaybını dikkate alan evrim modelleri kullanılarak, bileşenlerin kuramsal iç yapı sabitleri baş yıldız için  $\log \bar{k}_{21,the} = -2.07$  ve yoldaş için de  $\log \bar{k}_{22,the} = -2.14$  olarak elde edilmiştir. Sistemin kuramsal ortalama iç yapı sabiti  $\log \bar{k}_{2,the} = -2.11$ 'dir. Sonuç olarak, V398 Lac örten çift sisteminin bileşenleri, TV Cet, AS Cam ve U Oph sistemlerinde olduğu gibi (Bozkurt [11]), kuramsal evrim modellerinden beklenenlere göre daha homojen bir yoğunluk dağılımına sahiptirler.

**Teşekkür.** Bu çalışma, TÜBİTAK, TBAG 2228 nolu "Bazı Eksantrik Yörüngeli Örten Çift Yıldızların Fotometrik İncelenmesi" isimli araştırma projesinden üretilmiştir.

#### Kaynaklar:

- [1] ESA, (1997), *The Hipparcos & Tycho Catalogues*, ESA SP-1200.
- [2] Kwee, K.K., van WOERDEN, H., (1956), "A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable", *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 12, 327.
- [3] Golay, M., (1974), *Introduction to Astronomical Photometry*, Astrophysics and Space Science Library, 41, p.375.
- [4] Popper, D. M., (1980), "Stellar masses", *ARA&A*, 18, 115.

- [5] Wilson, R.E., Devinney, E. J., (1971), Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni, *Astrophysical Journal*, 166, 605-620.
- [6] Diaz-Cordoves, J., (1995), "Linear and non-linear limb-darkening coefficients for LTE model atmospheres", *Astronomy & Astrophysics*, 110, 329.
- [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.
- [8] Drilling, J.S., Landolt, A. U., (2000), *Allen's Astrophysical Quantities*, Fourth Edition, Editor: A. N. Cox, p.381, Springer-Verlag.
- [9] Bulut, I., 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, vol. 3, p.300.
- [10] Claret, A., Gimenez, A., (1992), "Evolutionary stellar models using Rogers and Iglesias opacities, with particular attention to internal structure constants", *Astron. Astrophys. Supl. Ser.* 96, 255.
- [11] Bozkurt, Z. (2006), "Eksen Dönmesi Gösteren Üçlü Sistemler", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.