

## Üçlü Sistem LT CMa: Astrofiziksel parametreler ve CMa OB1a üyeliği

Volkan Bakış<sup>1\*</sup>, İbrahim Bulut<sup>2</sup>, Selçuk Bilir<sup>3</sup>, Hicran Bakış<sup>2</sup>, Osman Demircan<sup>1</sup>, ve Herman Hensberge<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fizik Bölümü, Çanakkale

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, MYO, Çanakkale

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul

<sup>4</sup> Royal Observatory of Belgium, Ringlaan 3, 1180 Brüksel, Belçika

**Özet** Kısa dönemli ( $P \sim 1.76$  gün) genç yıldız sistemi LT CMa'nın yüksek çözünürlüklü tayfları ile 20 yıllık fotometrik ışık eğrileri analiz edilmiş ve aynı doğrultudaki CMa OB1 oymağı ile ilişkisi kinematik ve evrimsel açıdan incelenmiştir. Fotometrik analiz sistemin basık yörüngeli olduğunu ve 65 yıllık bir eksen dönme dönemine sahip olduğunu göstermektedir. Eksen dönmesinden elde edilen içyapı sabiti teorik modellerle uyum göstermemektedir. Tayfsal analiz sistemde üçüncü cismin varlığını ortaya koymaktadır. LT CMa, yıldız oluşum bölgelerindeki genç çift yıldız sistemlerinin genel özelliklerini sergilemesine karşın CMa OB1 oymağından daha yakında ve oymağın üyelerinden daha yaşlı olması nedeniyle üyelik ihtimali zayıf bulunmuştur.

### 1 Giriş

OB oymaklarındaki erken-tür çift-çizgili örten çift yıldızların (cOCY) ayrıntılı analizi duyarlı yıldız parametrelerinin yanısıra bu sistemlerin içinde bulunduğu oymak hakkında da bilgi verir. cOCY'lerin kütle merkezlerinin hızları uzaklıkları ile birleştirildiği zaman oymağın kinematiğine çalışmak mümkün olmaktadır. Oymak üyeleri ile aynı ortamda oluştuklarından cOCY'lerin evrimsel durumu ve kimyasal özellikleri oymağınki ile aynı olmalıdır. Bu nedenle oymaklardaki cOCY'lara çalışmak oymakların duyarlı fiziksel özelliklerini ortaya koymak açısından önemlidir. Bu amaçla oymaklardaki cOCY'ların incelendiği bir uluslararası proje kapsamında birçok cOCY'nin gözlemi yaptık. Bazı sistemlerin üye oldukları belirlendi bazı sistemlerin de üyelik ihtimalleri daha zayıf bulundu.

LT CMa ışık değişimleri Hipparcos uydusu (ESA, 1997) tarafından keşfedilmiş görece parlak ( $V \sim 7.4$  kadir) ve kısa dönemli ( $P \sim 1.76$  gün) bir örten çift sistemdir. Sistemin Johnson renkleri Claria (1974) tarafından  $B-V = -0.11$  ve  $U-B = -0.57$  kadir olarak verilmiştir. Otero (2005) Hipparcos (ESA, 1997) ve ASAS (Pojmanski, 2002) fotometrik verilerini karşılaştırarak sistemin ışık eğrisinde ikinci minimumun kaymasından yola çıkarak sistemin eksen dönmesi

\* bakisv@comu.edu.tr

gösterdiğini öngörmüştür. Bulut&Demircan (2007) da LT CMa'yı eksen dönmesi gösteren sistemler katoloğunda listelemişlerdir.

Bu çalışmada LT CMa sisteminin yüksek çözünürlüklü ( $R \sim 40000$ ) tayfları literatürdeki tüm yer tabanlı ve uydu fotometrik ışık eğrileri ile birlikte analiz edilmiş (Bölüm 2 ve 3) ve sistemin mutlak yörünge öğeleri ile birlikte bileşenlerin fiziksel parametreleri belirlenmiştir (Bölüm 5.1). Sistemin eksen dönmesi Bölüm 4'de ele alınmıştır. LT CMa'nın CMa OB1 oynağına üyeliği kinematik yöntemlerle ve evrimsel açıdan Bölüm 5.2'de tartışılmıştır. Son olarak Bölüm 5.3'de bileşen yıldızların içyapı sabitleri elde edilerek teorik modeller ile karşılaştırılmıştır.

## 2 Tayfsal Gözlemler ve Veri İndirgeme

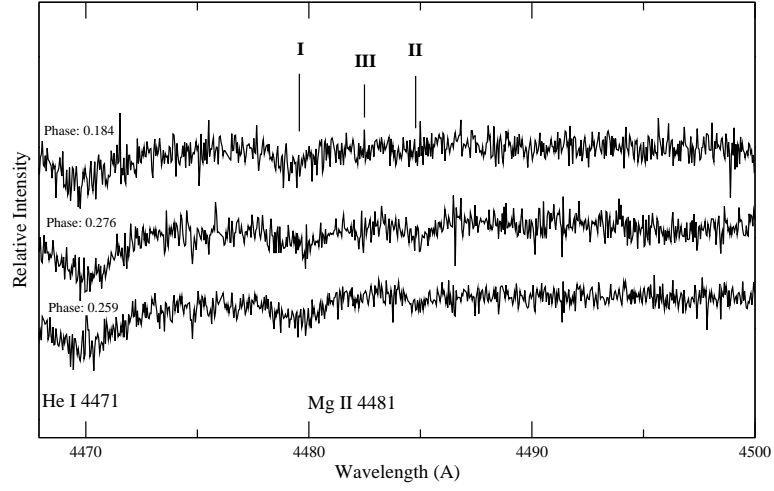
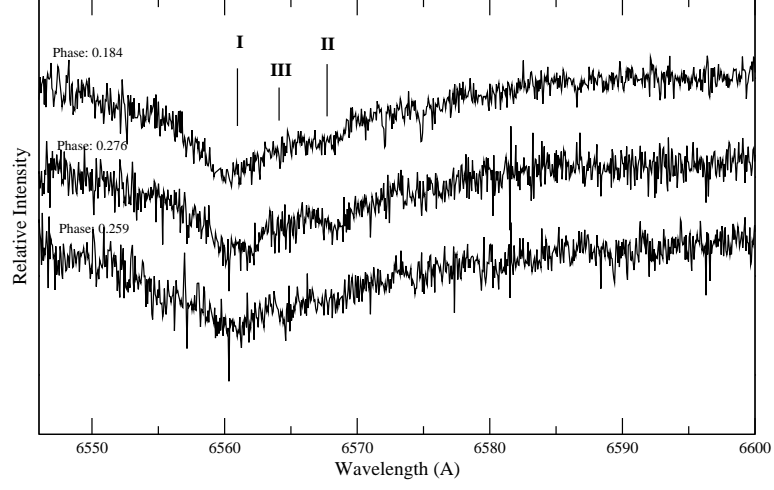
LT CMa'nın tayfsal gözlemleri TÜBİTAK Ulusal gözlemevinde 1.5-m çaplı RTT150 teleskobuna bağlı Coude Echelle Tayfçekeri (CET) ile yapılmıştır. CET tek bir CCD görüntüsünde  $3956-8772 \text{ \AA}$  dalgaboyu aralığında 68 tayf dizisi vermektedir. Dedektör olarak azot soğutmalı SAO RAS 1kx1k CCD kamera kullanılmıştır.

Beş gözlem gecesinde toplam 14 tayf elde edilmiştir. Dalgaboyu kalibrasyonu için Thorium-Argon lamba tayfı her bir nesne tayfindan hemen önce ve sonra alınmıştır. Tayf görüntüleri Image Reduction and Analysis Facility (IRAF) yazılımı ile indirgenmiştir.  $H_{\alpha}$  veya He I ( $4471 \text{ \AA}$ ) gibi geniş tayf çizgilerinin olduğu tayf dizilerinin süreklilik düzeltilmesi yıldız soğurma çizgilerinin bulunmadığı bir önceki veya sonraki tayf dizilerinin süreklilik fonksiyonlarına bölerek yapılmıştır.

## 3 Dikine Hızlar ve Tayfsal Yörünge

LT CMa'nın tayf dizileri incelendiğinde bileşke tayfta bileşenlerin soğurma çizgilerinin geniş bir yapıda olduğu görülmektedir. Buna ek olarak, bileşke tayfta farklı evrelerde zayıf ve bileşenlerle birlikte Doppler hareketi yapmayan durağan soğurma çizgilerinin bulunduğu görülmektedir. Bu durağan çizgiler  $H_{\alpha}$ ,  $H_{\beta}$  ve Mg II ( $4481 \text{ \AA}$ ) çizgilerinde görülmektedir. Ancak B-türü yıldızlarda en şiddetli çizgiler olan He I çizgilerinde görünmemesi dikkate değerdir. Bu durum bileşke tayfta üçüncü bir cismin varlığına işaret etmektedir. Durağan tayf çizgileri gerçekten üçüncü bileşenden kaynaklanıyorsa bu bileşenin durağan çizgilerinin merkez dalgaboyundan ölçtüğümüz dikine hızı  $70 (8) \text{ kms}^{-1}$ 'dir. Farklı evrelerde alınmış bileşke tayflar Şekil 1'de gösterilmektedir.

Bileşke tayftaki geniş Balmer çizgileri duyarlı dikine hız belirlemeyi sınırlandırmaktadır. Bu nedenle dikine hız belirlemek için 53 numaralı tayf dizisinde bulunan He I Mg II ( $4471 \text{ \AA}$ ) ve Mg II ( $4481 \text{ \AA}$ ) çizgileri Gaussian fonksiyonu ile modellenmiştir. Bazı tayflarda ya üçüncü cisim tayfının bileşenlerin tayfı ile iç içe girmesinden yada düşük S/G oranından dikine hız belirlemesi mümkün olmamıştır. Elde edilen dikine hızlar Bakış ve ark. (2010)'da verilmiştir.



**Şekil 1.** Üç farklı evrede bileşenlerin H $\alpha$  (top) ve Mg II (4481 Å) (altta) çizgileri. Her iki panelde de I, II ve III sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü bileşenlerin çizgilerini temsil eder.

Elde edilen dikine hızlara Keppler yörünge fiti yapılarak sistemin tayfsal yörünge elemanları belirlenmiştir. Sistemin ışık ögeleri Otero (2005)'den alınmıştır. Modelleme sırasında ışık eğrisi analizinden elde edilen yörünge basıklığı  $e=0.059$  sabit tutulmuştur, diğer yörünge parametreleri ise en iyi modeli verecek şekilde serbest bırakılmışlardır. Elde edilen en iyi fiti veren yörünge parametreleri Tablo 1'de, yörünge modeli ise Şekil 2'de sunulmaktadır.

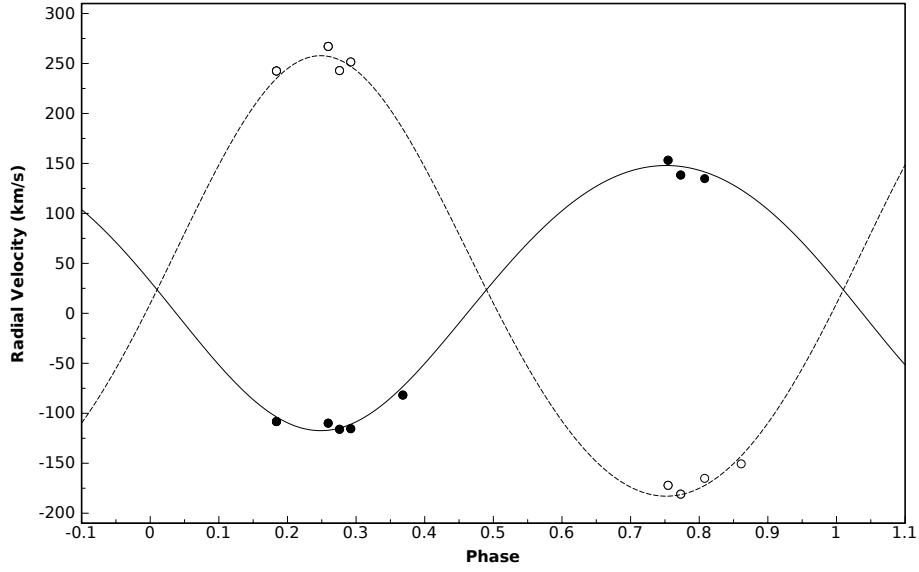
**Çizelge 1.** LT CMa'nın tayfsal yörünge modellemesinden elde edilen parametreler.

Parametre	Değer
$P$ (gün)	1.759535 (sabit)
$T_0$ (HJD-2454000)	$786.1848 \pm 0.0124$
$e$	0.059 (sabit)
$\omega_{sp}$ (rad)	$3.05 \pm 0.36$
$K_1$ (kms <sup>-1</sup> )	$132.6 \pm 2.9$
$K_2$ (kms <sup>-1</sup> )	$220.4 \pm 3.1$
$q$	$0.602 \pm 0.020$
$RV_\gamma$ (kms <sup>-1</sup> )	$23.6 \pm 2.0$
$m_1 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	$4.977 \pm 0.070$
$m_2 \sin^3 i$ ( $M_\odot$ )	$2.995 \pm 0.065$
$a \sin i$ ( $R_\odot$ )	$12.26 \pm 0.20$
RMS (kms <sup>-1</sup> )	7.44

## 4 Işık Eğrilerinin Analizi

Sistemin ışık eğrisi analizi üç farklı fotometrik veri seti (Hipparcos uydusu Hp-bandı, ASAS V-bandı ve INTEGRAL uydusu V-bandı) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Hipparcos uydusu tarafından elde edilen ışık eğrisinde ikinci minimumda yetersiz veri olmasından ve INTEGRAL uydusu verisinin de duyarlılığının düşük olması nedeniyle bu veriler sadece enberinin boylamını belirlemek için kullanılmıştır. Işık eğrisi parametrelerini belirlemek için ise ASAS verisi kullanılmıştır.

Otero (2005)'nin belirttiği gibi sistemde bir eksen dönmesi varsa farklı yıllarda elde edilen ışık eğrileri eksen dönme dönemine kıyasla daha kısa zaman aralıklarına ayrılıp ayrı ayrı incelenmelidir. Aksi durumda eksen dönmesinden dolayı ikinci minimumdaki kayma ışık eğrisi parametrelerinin yanlış belirlenmesine yol açar. Bu nedenle 2001-2009 yılları arasında alınmış ASAS fotometrik verisi birer yıllık aralıklara bölünmüş ve her bir ışık eğrisi ayrı ayrı çözülmüştür. 8 yıllık bu veri setinden 2003 ve 2004 yıllarına ait veriler tüm ışık eğrisi parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmışken, diğer yıllara ait veriler de enberi boylamının belirlenmesinde kullanılmıştır. Işık eğrilerinin çözümlerinde Wildon-Devinney programı (Wilson&Devinney 1971; Wilson 1994) kullanılmıştır.



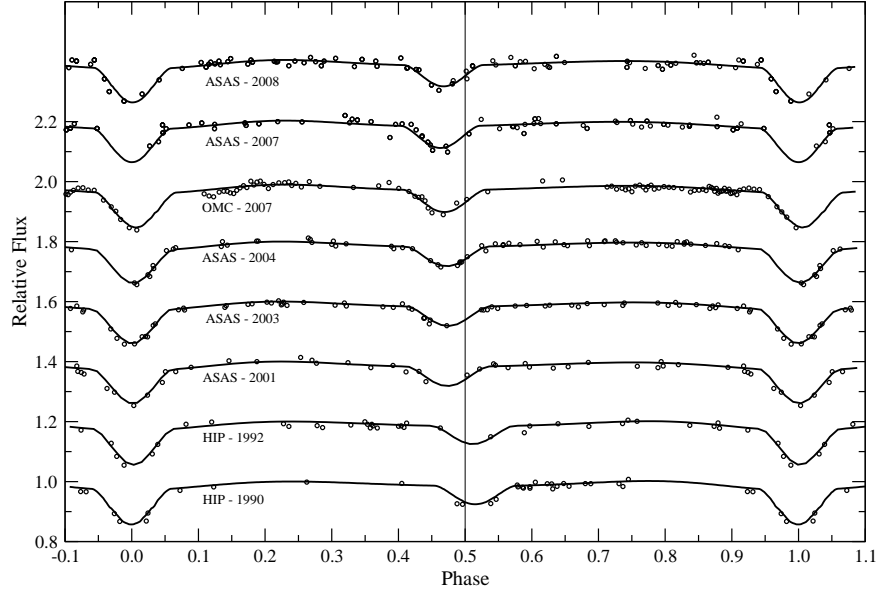
Şekil 2. Dikine hızların teorik yörünge modeli. Baş ve yoldaş bileşenlerin dikine hızları sırasıyla dolu ve boş dairelerle gösterilmiştir.

Işık eğrisinin modellenmesinde ilk olarak birinci bileşenin sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için Claria(1974) tarafından verilen fotometrik renk indisleri Johnson&Morgan (1953)'ün Q-yönteminde kullanılarak sistemin kızıllaşmadan arındırılmış renkleri  $((B-V)_0 = -0.17(0.03)$ ,  $(U-B)_0 = -0.61(0.03)$ ) elde edilmiştir. Kızıllaşmadan arındırılmış renk indislerinden de renk artığı  $E(B-V) = 0.06(0.03)$  kadar ve görsel soğurma  $A_V = 0.19(0.03)$  kadar elde edilmiştir. Kızıllaşmadan arındırılmış bu renkler B4.5V tayf türüne karşılık gelmektedir (Fitzgerald, 1970). Ancak unutulmamalıdır ki bu renkler sistemin toplam ışığından elde edilmiştir ve birinci bileşenin rengini temsil etmez. Bununla birlikte sistemin bileşke tayfındaki tayf çizgilerine bakıldığında baskın olan bileşenin baş bileşen olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle Bölüm 6.1'de de görüleceği üzere baş bileşenin sıcaklığını 17000 K almak önemli bir hata getirmez.

Baş bileşenin sıcaklığı ve dikine hızlardan elde edilen kütle oranı ( $q=0.602$ ) ışık eğrisi çözümlerinde sabit tutulmuştur. Diğer ışık eğrisi parametreleri ise en iyi fiti verecek şekilde serbest bırakılmıştır. Işık eğrisi çözümlerinde muhtemel üçüncü cismin katkısı da dikkate alındı ve V-bandında üçüncü cismin katkısı  $(I_3/(I_1+I_2+I_3))=0.01$  olacak şekilde girilmiştir. Işık eğrisi çözümlerinden üçüncü cismin ışık katkısının başlangıç değerinden farklı bir değere saptadığı görülmüştür. Bu da tayf çizgilerinde görülen durağan çizgilerin üçüncü bileşene ait olduğu ihtimalini arttırmaktadır. Işık eğrisi çözümlerinden elde edilen ışık eğrisi öğeleri hatalarıyla birlikte Tablo 2'de verilmiştir. Farklı fotometrik bandlara yapılan teorik modeller de Şekil 3'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.** LT CMA'nın ışık eğrilerinin model parametreleri. Modelleme sırasında serbest bırakılan parametreler hataları ile verilmiştir. Hatasız verilen parametreler ise 2003 ve 2004 yıllarına ait ışık eğrilerinin çözümlerinden adapte edilmiştir. Modellemenin kalitesi tablonun altında verilen  $\chi^2$  ve ilgili veri setindeki veri sayısı (NOBS) ile verilmiştir.

Parametre	HP1989	HP1991	V2001	V2007	V2008	V2003	V2004
$T_{\text{bas}}$ (K)	17000	17000	17000	17000	17000	17000	17000
$T_{\text{yoldas}}$ (K)	13140	13140	13140	13140	13140	13140±210	13135±315
$q$ ( $M_2/M_1$ )	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602	0.602
$e$	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.058±0.003	0.059±0.006
$w$ (rad)	1.23±0.09	1.39±0.09	2.40±0.11	2.80±0.11	2.60±0.16	2.39±0.08	2.55±0.16
$l_1$	0.757±0.011	0.744±0.011	0.737	0.737	0.737	0.732±0.008	0.743±0.008
$l_2$	0.163±0.015	0.161±0.015	0.162	0.162	0.162	0.164±0.012	0.159±0.012
$l_3$	0.080±0.020	0.095±0.020	0.102	0.102	0.102	0.104±0.021	0.098±0.020
$\Omega_1$	4.25	4.25	4.25	4.25	4.25	4.204±0.041	4.300±0.055
$\Omega_2$	5.06	5.06	5.06	5.06	5.06	5.012±0.062	5.133±0.081
$r_1$ (kutup)	0.274	0.274	0.274	0.274	0.274	0.277±0.003	0.272±0.004
$r_1$ (uç)	0.289	0.289	0.289	0.289	0.289	0.292±0.003	0.286±0.004
$r_1$ (kenar)	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.282±0.003	0.277±0.004
$r_1$ (arka)	0.286	0.286	0.286	0.286	0.286	0.289±0.003	0.283±0.004
$r_1$ (hacim)	0.280	0.280	0.280	0.280	0.280	0.283±0.003	0.277±0.004
$r_2$ (kutup)	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.159±0.002	0.155±0.003
$r_2$ (uç)	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.162±0.002	0.157±0.003
$r_2$ (kenar)	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.160±0.002	0.155±0.003
$r_2$ (arka)	0.159	0.159	0.159	0.159	0.159	0.162±0.002	0.157±0.003
$r_2$ (hacim)	0.158	0.158	0.158	0.158	0.158	0.160±0.002	0.156±0.003
$i$ ( $^\circ$ )	74.2	74.2	74.2	74.2	74.2	73.9±0.3	74.5±0.4
NOBS	32	36	39	480, 64	78	66	68
$\chi^2$	0.001527	0.002589	0.003311	0.147187, 0.011011	0.011290	0.001600	0.002633

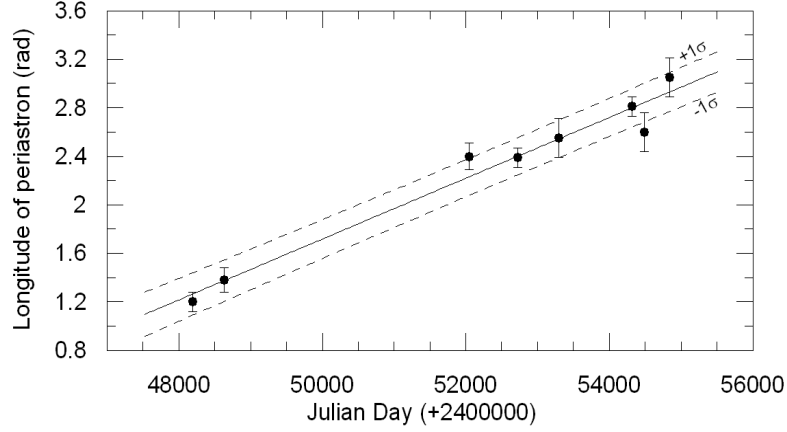


**Şekil 3.** V ve  $H_p$ -bantlarındaki ışık eğrilerinin çözümleri.

Farklı fotometrik veri setlerinin analizi yıllara göre değişen enberi boylamı değerleri vermiştir. Bu değerlerin zamanla değişimi Bölüm 5’de ayrıntılı incelenmiştir.

## 5 Eksen Dönmesi

LT CMa’nın ışık eğrisi çözümlerinden elde edilen enberinin boylamının zamanla değişimi eksen dönmesinin açık bir delilidir. Eksen dönme dönemi ışık eğrisi çözümlerinden bulunan enberinin boylamı değerlerine (bkz. Tablo 2) doğrusal fit yapılarak bulunmuştur. En iyi doğrusal fit ( $w = w_0 + \dot{w}T$ ) eksen dönme oranını  $\dot{w}=0.0252\pm0.0020$  deg cycle<sup>-1</sup> vermiştir ve zaman göre değişimi Şekil 4’de gösterilmektedir. Eksen değişim oranından eksen dönme dönemin  $U = 69\pm5$  yıl olarak belirlenmiştir ve bu değer Bulut&Demircan tarafından verilen eksen dönmesi gösteren örten çift yıldızlar kataloğundaki sistemlere göre kısa eksen dönmesi göstermektedir.



**Şekil 4.** Sekiz ışık eğrisi ve bir de tayfsal veri setinden elde edilmiş enberinin boylamı ( $\omega$ ) değerlerinin zamanla değişiminin doğrusal fit ile modellenmesi. Enberinin boylamına hatalarıyla birlikte yapılan en küçük kareler yöntemi eğrinin eğimini  $0.00025\pm0.00002$  rad d<sup>-1</sup> vermiştir.  $\pm 1-\sigma$  sınırları da kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

## 6 Tartışma

### 6.1 Mutlak parametreler ve evrim

LT CMa’nın mutlak parametreleri tayfsal yörünge elemanları (Tablo 1) ile ışık eğrisi çözüm parametrelerinin (Tablo 2) birleştirilmesi ile elde edilmiştir ve Tablo

3'de özetlenmiştir. Baş bileşen için bulduğumuz sıcaklık  $T_{1eff}=17000$  K, kütle  $M_1=5.59 M_{\odot}$  ve yarıçap  $R_1=3.56 R_{\odot}$ , B4V tayf türü ile uyumludur. Yoldaş yıldız için ise  $T_{2eff}=13140$  K, kütle  $M_2=3.36 M_{\odot}$  ve yarıçap  $R_2=2.04 R_{\odot}$ , B6-7 tayfı ve ZAMS ışıma sınıfı ile uyumludur (bkz. Straizys & Kuriliene, 1981). Clarie (1974) tarafından verilen kıvılcıktan arındırılmış toplam V-parlaklığı ışık eğrisi çözümünden elde edilen bileşenlerin ışık katkıları ile birleştirildiğinde bileşenlerin parlaklıkları sırasıyla  $m_{V1}=7^m.55$ ,  $m_{V2}=9^m.19$  ve  $m_{V3}=9^m.72$  bulunmuştur. Güneş'in mutlak parlaklığını  $M_V=4^m.75$  ve baş ve yoldaş bileşenlerin bolometrik düzeltmelerini sırasıyla  $BC_1=-1.58$  ve  $BC_2=-0.93$  (bkz. Straizys & Kuriliene, 1981) alırsak bileşenlerin bolometrik ve mutlak parlaklıklarını elde ettik (bkz. Tablo 3). Bileşenlerin görsel parlaklıkları ile uzaklık modülünden LT CMA'nın fotometrik uzaklığı  $d=535\pm 45$  pc bulunur. LT CMA'nın fotometrik uzaklığı Hipparcos astrometrik verilerini tekrar analiz eden van Leeuwen (2007) tarafından verilen uzaklık ( $826\pm 326$  pc) ile uyumlu olmasa da Hipparcos uzaklığının büyük hata sınırları içinde kalmaktadır. Buna ek olarak orjinal Hipparcos katalogunda LT CMA'nın uzaklığı  $591\pm 386$  pc olarak verilmektedir ve bu çalışmada elde edilen fotometrik uzaklığa çok daha yakındır. Bütün bu ölçümler arasında fotometrik uzaklık en duyarlı ve güvenilir görünmektedir.

CMA OB1 oymağının uzaklığı (1150pc)(Claria, 1974) LT CMA'nın uzaklığından çok daha büyüktür ve bu LT CMA'nın üyelik ihtimalini zayıflatmaktadır.

LT CMA'nın bileşenlerinin dönme hızları tayf çizgilerinin Kurucz (1993) model atmosferleri ile modellenmesi ve sistemin yörünge eğikliğinin dikkate alınması ile  $V_{rot1}=109(10)$   $\text{kms}^{-1}$  ve  $V_{rot2}=67(10)$   $\text{kms}^{-1}$  bulunmuştur. Bileşenlerin mutlak boyutları ve yörünge dönme dönemi dikkate alınarak hesaplanan eş dönme hızları ile gözlemlerden bulunan dönme hızları karşılaştırıldığında LT CMA'nın bileşenlerinin yörünge ile eş dönme yaptığı görülmektedir.

Işık eğrisi çözümleri sistemde üçüncü cismin ışığını desteklese de, bu çalışmada kullanılan tayfsal verinin düşük S/G oranından dolayı üçüncü bileşenin tayftaki etkisi tüm tayf bölgesinde belirlenememiştir. Bu nedenle LT CMA sistemindeki üçüncü bileşenin daha detaylı tayfsal çalışması için farklı tayf aralıklarında yapılmış yüksek S/G oranına sahip tayfsal gözlemlere ihtiyaç vardır.

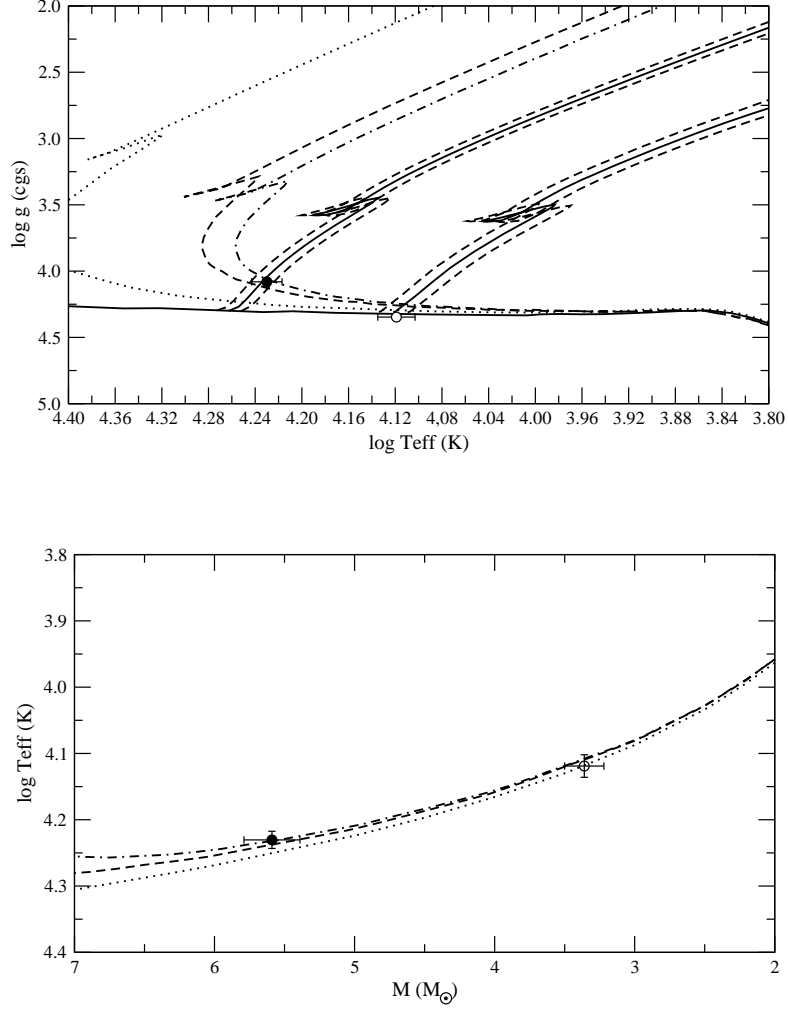
LT CMA'nın evrimini güncel evrim modelleri ve izokronları kullanarak (Girardi ve ark., 2000)  $\log T_{eff} - \log g$  ile Kütle -  $\log T_{eff}$  düzlemlerinde (Şekil 5) inceledik. Güneş bolluğunu kabul ederek  $Y=0.28$  ve  $Z=0.02$  helyum ve metal içeriğinde izokronlar oluşturuldu. Şekil 5a'dan her iki bileşenin de kütleleri için hesaplanan evrim çizgileri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca baş bileşenin evrimleşerek ZAMS'dan uzaklaştığı yoldaş bileşenin de hala ZAMS'da olduğu görülmektedir. Şekil 5'deki 30 M ve 40 M yaş izokronları sistemin yaşı için 35 M yıl önermektedir. LT CMA'nın yaşı Claria (1975)'nin CMA OB1 için önerdiği 3 M yıl yaştan çok daha büyüktür, bu da LT CMA'nın üyelik ihtimalini uzaklıktaki uyumsuzluk ile birleştirildiğinde tamamen ortadan kaldırır.



**Çizelge 3.** LT CMa astrofiziksel parametreleri. Parametrelerin hataları parantez içinde verilmiştir.

Parametre	Sembol	Baş	Yoldaş
Tayf türü	Sp	B4 V	B6.5 V
Kütle ( $M_{\odot}$ )	$M$	5.59(0.20)	3.36(0.14)
Yarıçap ( $R_{\odot}$ )	$R$	3.56(0.07)	2.04(0.05)
Ayrıklık ( $R_{\odot}$ )	$a$		12.7(0.2)
Yörünge dönemi (gün)	$P$		1.759535
Yörünge eğimi ( $^{\circ}$ )	$i$		74.2(0.3)
Kütle oranı	$q$		0.602(0.020)
Basıklık	$e$		0.059(0.006)
Yüzey çekimi (cgs)	$\log g$	4.081(0.014)	4.347(0.019)
Toplam görsel parlaklık (kadir)	$V$	7.42(0.01)	
Toplam renk indisi (kadir)	$B - V$	-0.11(0.009)	
Renk artışı (kadir)	$E(B - V)$		0.06(0.03)
Görsel soğurma (kadir)	$A_V$		0.19(0.03)
Bileşen renk indisi (kadir)	$(B - V)_0$		-0.17(0.03)
Sıcaklık (K)	$T_{\text{eff}}$	17000(500)	13140(800)
Işıtma ( $L_{\odot}$ )	$\log L$	2.98(0.03)	2.05(0.07)
Tüm ışınım parlaklığı (kadir)	$M_{\text{bol}}$	-2.70(0.05)	-0.36(0.08)
Mutlak görsel parlaklık (kadir)	$M_V$	-1.12(0.05)	0.57(0.07)
Bolometrik düzeltme (kadir)	$BC$	-1.58	-0.93
Hız yarı-genlikleri ( $\text{km s}^{-1}$ )	$K_{1,2}$	132.6(2.9)	220.4(3.1)
Kütle merkezi hızı ( $\text{km s}^{-1}$ )	$RV_{\gamma}$		23.6(2.0)
Teorik eş dönme hızı ( $\text{km s}^{-1}$ )	$V_{\text{synch}}$	102	59
Gözlenen eş dönme hızı ( $\text{km s}^{-1}$ )	$V_{\text{rot}}$	109(10)	67(10)
Uzaklık (pc)	$d$		535(45)
Öz hareket ( $\text{mas yr}^{-1}$ )	$\mu_{\alpha} \cos \delta, \mu_{\delta}$		-6.82(0.83), 3.53(0.71)*
Uzay hızları ( $\text{km s}^{-1}$ )	$u, v, w$		-27.46(2.12), -5.21(2.15), -12.45(2.24)

\* *Hipparcos* katalogundan (van Leeuwen 2007).



**Şekil 5.**  $\log T_{\text{eff}}$  -  $\log g$  (üst panel) ve Kütle -  $\log T_{\text{eff}}$  düzlemlerinde LT CMA'nın bileşenlerinin konumu (alt panel). Baş ve yoldaş bileşenler hata barları ile sırasıyla dolu ve boş daireler ile gösterilmiştir. İzokronlar 10 Myıl (noktalı çizgi), 30 Myıl (kesikli çizgi) ve 40 Myıl (noktalı kesikli çizgi) içindir. Baş ve yoldaş bileşenleri için evrim çizgileri sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Evrim çizgilerinin altındaki ve üstündeki kesikli çizgiler kütlelerdeki hata aralığını göstermektedir. Yatay sürekli çizgi ZAMS'ı göstermektedir.

## 6.2 Kinematik analiz ve CMa OB1 üyeliği

LT CMa'nın kinematiğine çalışmak için sistemin Tablo 3'da verilen kütle merkezi hızı, uzaklık ve öz hareket değerleri kullanılmıştır. Öz hareket değerleri van Leeuwen (2000)'den alınmıştır, diğer parametreler ise bu çalışmada elde edilmiştir. Sistemin uzay hızı Johnson&Soderblom (1987) tarafından verilen algoritma ile hesaplanmıştır. Uzay hız bileşenleri  $u$ ,  $v$  ve  $w$  hataları ile birlikte Tablo 3'de listelenmiştir. LSR düzeltmesini (9, 12, 7)  $\text{kms}^{-1}$  kullanarak LT CMa'nın uzay hızı  $S=12.45(3.76)\text{kms}^{-1}$  elde edilmiştir. LT CMa'nın popülasyon sınıfını belirlemek için sistemin galaktik yörüngesini inceledik. Dinnescu, Girardi & van Altena (1999) verdiği N-cisim kodunu kullanarak sistemin apogalaktik ve perigalaktik uzaklıkları sırasıyla  $R_{maks}=9.61$  kpc ve  $R_{min}=8.35$  kpc bulunmuştur. Ayrıca sistemin galaktik düzlemden olan maksimum ve minimum uzaklıkları sırasıyla  $|z_{maks}|=|z_{min}|=30$  pc, galaktik yatay ve dikey hareketinin basıklıkları sırasıyla  $e_p=0.07$  ve  $e_v=0$  bulunmuştur. Bu değerler LT CMa'nın galakside dairesel bir yörüngede dolandığını ve genç ince disk popülasyonuna ait olduğunu göstermektedir.

## 6.3 İç Yapı Satibi

İç yapı sabiti ( $\bar{k}_2$ ) basık yörüngeli örten çift yıldızların bileşenlerinin yoğunluk dağılımının bir ölçüsüdür ve yıldız evrim modelleri için önemli bir parametredir. Yörünge basıklığı, yörünge ve eksen dönme dönemleri, bileşenlerin kütleleri ve yarıçapları biliniyorsa bileşenlerin iç yapı sabitleri belirlenebilir. İç yapı sabitinin hesaplanmasında kullanılan bağıntılar Bakış ve ark. (2010)'da verilmiştir.

LT CMa'nın gözlenen eksen dönme dönemi  $U=69\pm 5$  yıl Bölüm 5'de elde edilmişti. Bu dönme dönemine genel görelilikten elde edilen relativistik katkı 0.00162 derece/çevrim veya gözlemin %6'sı kadardır. Eksen dönme döneminin relativistik etkiden arındırılmasıyla LT CMa'nın gözlemsel iç yapı sabiti  $\log \bar{k}_{gozlem2}=-2.53$  bulunmuştur.

LT CMa'nın teorik iç yapı sabiti ( $\log \bar{k}_{teorik2}$ ) standart Güneş bolluğunu varsayarak Claret (2004)'den alınmıştır. Tablolanmış değerler arasında bileşen yıldızların kütleleri ve çekim ivmelerinin aradeğer hesaplamalarıyla birinci ve ikinci bileşen için teorik iç yapı sabitleri sırasıyla -2.23 ve -2.18 bulunmuştur. Ortalama teorik iç yapı sabiti ise  $\log \bar{k}_{teorik2}=-2.22$  hesaplanmıştır. Teorik iç yapı sabiti gözlemsel iç yapı sabitinden bileşen yıldızların kütlece daha fazla yoğunlaştığı yönünde bariz bir şekilde farklıdır. Bu durumun farklı nedenleri olabilir. Diğerleri arasında belki de en önemlisi eksen dönme dönemine göre analiz edilen gözlemsel veri aralığının küçük olması gösterilebilir.

## Kaynaklar

- Bakış, V., Bulut, İ., Bilir, S., Bakış, H., Demircan, O. & Hensberge, H. 2010, PASJ, 62, 129.  
Bulut, İ. & Demircan, O. 2007, MNRAS, 378, 179.  
Claret, A. 2004, A&A, 424, 919.

- Claria, J. J. 1974, *A&A*, 37, 229.  
ESA 1997, *The Hipparcos Catalogue*, ESA SP-1200.  
Fitzgerald, M. P. 1970, *A&A*, 4, 23.  
Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., & Chiosi, C. 2000, *A&AS* 141, 371.  
Johnson, H. L. & Morgan, W.W. 1953, *ApJ*, 117, 313.  
Johnson, D. R. H. & Soderblom, D. R. 1987, *AJ*, 93, 864.  
Kurucz, R. L. 1993, CD-ROM 13, 18, <http://kurucz.harward.edu>.  
Otero, S. A. 2005, *IBVS*, 5631, 1.  
Pojmanski, G. 2002, *AcA*, 52, 397.  
Straizys, V. & Kuriliene, G. 1981, *Ap&SS*, 80, 353.  
van Leeuwen, F. 2007, *A&A*, 474, 653.  
Wilson, R. E. & Devinney, E. J. 1971, *ApJ*, 166, 605.  
Wilson, R. E. 1994, *PASP*, 106, 921.