

EI CV_n YILDIZ SİSTEMİNİN İLK FOTOMETRİK ANALİZİ

Yahya DEMİRCAN*, Zahide TERZİOĞLU, Gökhan GÖKAY, Birol GÜROL
ve Ethem DERMAN

Ankara Ü., Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri, Beşevler, 06100 Ankara

Özet : Kısa dönemli W UMa-türü bir sistem olan EI CV_n'nin ilk Johnson VRI bandlarındaki fotometrik gözlemleri Ankara Üniversitesi Gözlemevi'nde (AUG) 40 cm 'lik teleskop kullanılarak elde edildi. Sistemin ışık eğrisi analizi Wilson Devinney 2003 kodu kullanılarak gerçekleştirildi. Bu analizler sonucunda sisteme ilişkin ilk geometrik parametreler hesaplandı. Sisteme ilişkin yeni ışık elemanları belirlendi.

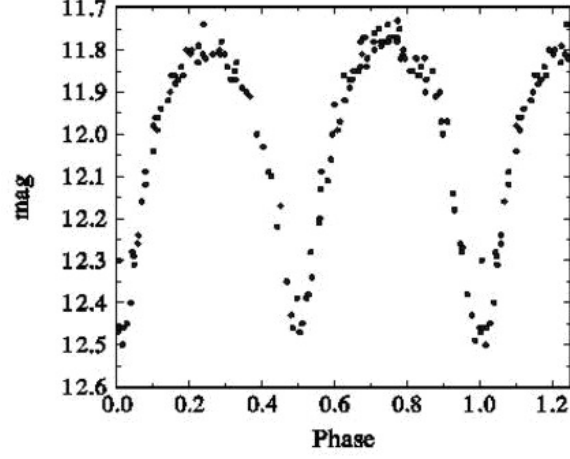
Anahtar Kelimeler: örten değişen, EI C_{vn}, geometrik ve fiziksel parametreler.

1 Giriş

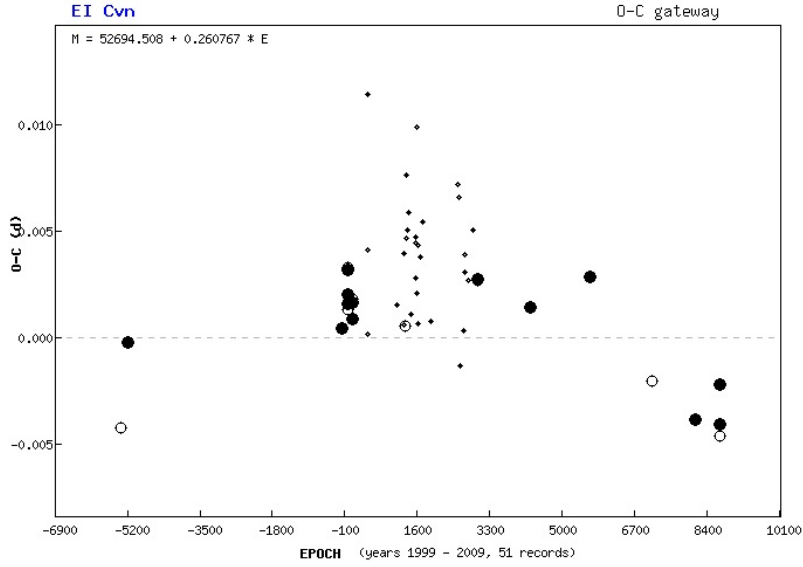
EI CV_n sistemi (GSC02548-00936, $\alpha=14^s a02^{dk}05.6^s$, $\delta=+34^\circ 02'39''.9$), ROTSE-I (The Robotic Optical Transient Search Experiment I) tarafından örten değişen bir sistem olarak belirlenmiş olan bir sistemdir. ROTSE-I katalogunda ROTSE1 J140205.83+340239.1 olarak isimlendirilmiş ve sistemin yörünge dönemi 0.260775 gün olarak belirlenmiştir (Akerlof et al. 2000). Kısa dönemli W UMa türü bir sistem olan EI CV_n'nin isimlendirilmesi gerçekleştirilmiştir (Kazarovets et al. 2006). Sistemin tayf türü, Large Spectroscopic Survey (Stephenson et al. 1986)'de K5 olarak verilmiştir. Sistemin tayf türü, salma çizgileri kullanılarak tekrar incelenmiş ve tayf türünde bir değişiklik görülmemiştir (Beers et al. 1994). Sistem için Simbad veritabanında verilen BVJHK bandlarındaki parlaklık değerleri sırasıyla, $13^m.00$, $11^m.854$, $10^m.568$, $10^m.001$, $9^m.877$ şeklindedir. Sistemin ilk ışık eğrisi, 2002-2003 yılları arasında ROTSE-I veritabanında bulunan filtresiz gözlemlerden oluşmaktadır (Blattler and Diethelm 2003). Literatürde sisteme ait minimum zamanlarından elde edilmiş O-C grafiği Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 1'de verilen değişimden sistemin degen veya değmeye yakın bir sistem olduğu anlaşılmaktadır. Minimum seviyeleri arasındaki farktan, bileşen yıldızların ışınım güçlerinin birbirine çok yakın olduğu ve bu nedenle bileşen yıldızların sıcaklıklarının da birbirine yakın olması gerektiği sonucu çıkarılabilir. W UMa türü sistemlerde bileşen yıldızların ortak bir zarf içerisinde hareket etmeleri bu durumu açıklayabilir.

* demircan@ankara.edu.tr



Şekil 1. EI CVn sisteminin ROTSE-I veritabanında bulunan filtresiz gözlemlerinden elde edilmiş ışık eğrisi. Işık eğrisinden sistemin W UMa türü bir sistem olduğu anlaşılmaktadır. Gözlemsel verilerde fazla saçılma olduğu ve birinci minimum ile ikinci minimum derinliklerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca 0.75 evresinden sonra bir çöküntü yapısının bulunduğu dikkati çekmektedir.



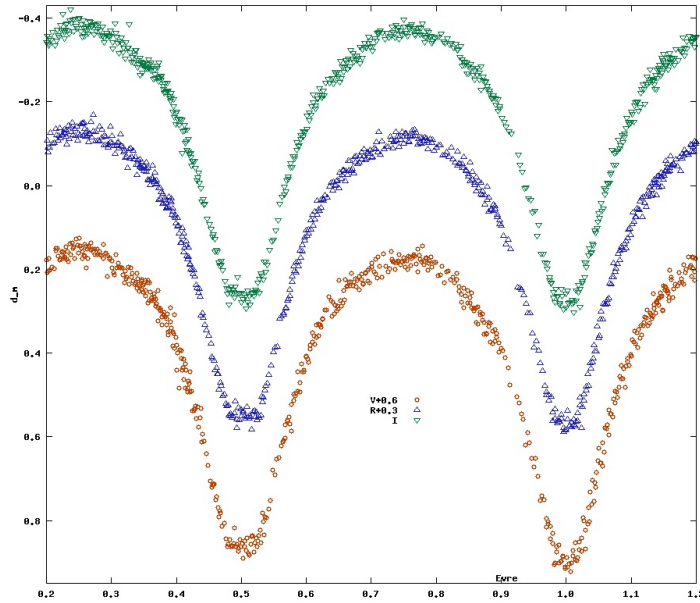
Şekil 2. EI CVn sistemi için O-C Gateway'de (web page) verilmiş O-C değişimi. O-C değişiminden sistemde bir dönem değişiminin bulunduğu, kısa zaman aralığında gerçekleşen bu değişimin parabol ile temsil edilebileceği gibi sinüsel bir değişimle de temsil edilebileceği görülmektedir.

2 Gözlemler

EI CVn sistemi, Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde bulunan 40 cm çaplı Schmidt-Cassegrain tipi teleskoba bağlı Apogee ALTA U47+ CCD kamerası kullanılarak 29 Nisan ve 16 Mayıs 2010 tarihlerinde Johnson VRI bandlarında gözlenmiştir. Gözlemsel verilerin indirgenmesinde IRAF programı kullanılmıştır. Standart indirgeme adımları (bias, dark ve flat düzeltmesi) uygulanmış ve sistemin aletsel parlaklık değerleri apphot taskı kullanılarak elde edilmiştir. Mukayese yıldızı olarak GSC 02548-00010 ($\alpha=14^{\text{sa}}01^{\text{dk}}57.7^{\text{s}}$, $\delta=+34^{\circ}00'16''.7$) kullanılmış ve değişen yıldız ile renk, parlaklık ve konum olarak birbirine yakın olması nedeniyle atmosferik sönümleme düzeltmesine ihtiyaç duyulmamıştır. Diferansiyel parlaklık değerleri, Δm (değişen-mukayese) olarak hesaplanmıştır.

Şekil 3'de EI CVn sisteminin VRI bandlarındaki diferansiyel parlaklık değerlerinin evreye göre değişimi verilmiştir. Gözlemlerimizde daha derin olan birinci minimumun, ROSAT-I tarafından verilen ışık eğrisinde ikinci minimuma karşılık geldiği görülmüştür. ROSAT-I gözlemlerinden elde edilen ışık eğrisinde belirlenen ışık elemanlarının hatalı olduğu kabul edilerek, yeni ışık elemanları O-C değişiminde doğrusal değişim gösteren bölge dikkate alınarak elde edilmiştir.

$$\text{Min I (HJD)} = 2455316.51505 \pm 0.2607659 \times E \dots \dots \dots 1$$



Şekil 3. EI CVn sisteminin Johnson VRI bandlarında elde edilmiş diferansiyel parlaklık değişimi. Işık değişiminden maksimum seviyeler arasında parlaklık farkının bulunduğu ve ikinci minimumda tam tutulma olabileceği görülmektedir.

3 Yeni Işık Elemanları

Fotometrik gözlemlerimizden V, R ve I bandlarında olmak üzere iki adet birinci ve iki adet ikinci minimum zamanı, Kwee van Woerden (2000) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 1'de hesaplanan minimum zamanları, hataları ve minimum türleri verilmiştir.

Çizelge 1. Bu çalışmada elde edilen minimum zamanları

HJD	Hatası	Min Türü	Gözlem Aleti
55316.3849	0.0001	II	ccd
55316.5148	0.0001	I	ccd
55333.3349	0.0001	II	ccd
55333.4639	0.0001	I	ccd

Literatürden toplanan minimum zamanları ile birlikte toplam 55 adet minimum zamanı kullanılarak, O-C Gateway'de verilen ışık elemanları kullanılarak çizilen O-C değişimi Şekil 4'de verilmiştir. Çok sayıda ccd gözlemi olmasına rağmen verilerin bir kısmının görsel gözlemlerden oluşması nedeniyle, O-C değişimi elde edilirken görsel minimum zamanlarının ağırlığı 1 alınmış ve ccd verileri ise 10 olarak alınmıştır. O-C değişiminin parabolik değişim gösterdiği kabul edilerek gerçekleştirilen parabol fit'i ve denklemi sırasıyla Şekil 4'de ve denklem 2'de verilmiştir.

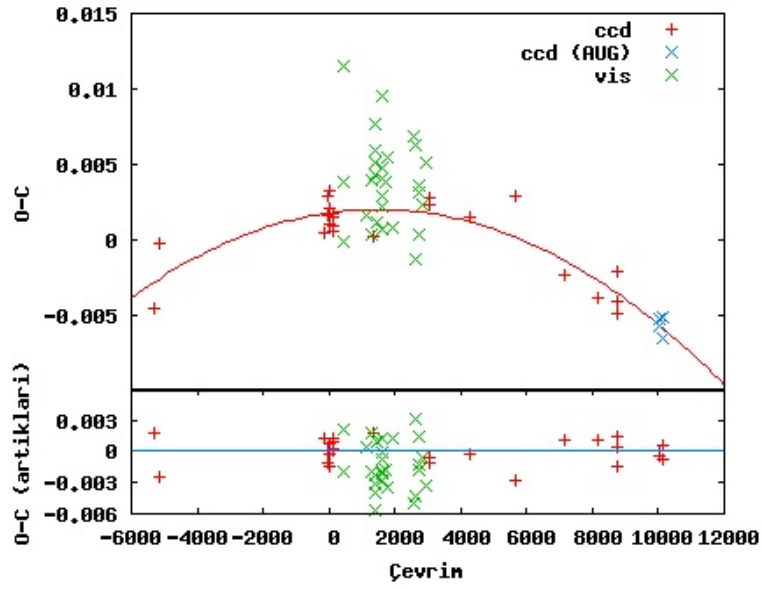
O-C değişimine ilişkin parabolik fit kullanılarak hesaplanan ışık elemanı aşağıdaki gibidir.

$$\text{Min I (HJD)} = 2452694.3798 + 0.260767xE - 1.05 \times 10^{-10}xE^2 \dots\dots\dots 2$$

EI CVn sistemi için elde edilen O-C değişiminin parabolik yapıda olduğu kabul edildiğinde, elde edilen parabol fit'ine ilişkin katsayılarından, sistem için $(dP/dE)/2 = -1.05 \times 10^{-10}$ gün/çevrim olduğu ve bu değere karşılık sistemin $dP/dt = -3.89 \times 10^{-7}$ gün/yıl ölçüsünde dönem değişimi gösterdiği hesaplanmıştır. Bu büyüklükte dönem değişimleri W UMa türü sistemlerde görülen dönem değişim miktarlarına çok yakındır. Bu değişimin temel nedeninin büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene kütle aktarımından kaynaklandığı düşünülmektedir.

4 Işık Eğrisi Analizi

Sistemin ışık eğrisi analizi, Wilson-Devinney (1971) (WD) kodlarını kullanan Phoebe 0.29d (Prsa 2005) arayüzü ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'de sistemin



Şekil 4. EI CVn sistemi için elde edilen O-C değişimi ve parabol fit'i görülmektedir. O-C fit'inden hesaplanan artıklarda sistematik bir değişimin bulunmadığı ve özellikle ccd türü minimum zamanlarındaki değişimi çok iyi temsil edilebildiği görülmektedir.

ışık eğrisinde maksimum seviyeler (0.25 ile 0.75 evrelerinde) arasında parlaklık farkının olduğu ve bu durumun bileşen yıldızlardan biri üzerinde bulunabilecek manyetik alan kökenli leke etkisinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir (O'Connell etkisi). İkinci maksimum seviyesinin birinci maksimum seviyesinden yaklaşık olarak $0^m.03$ (V bandı) daha sönük olduğu belirlenmiştir.

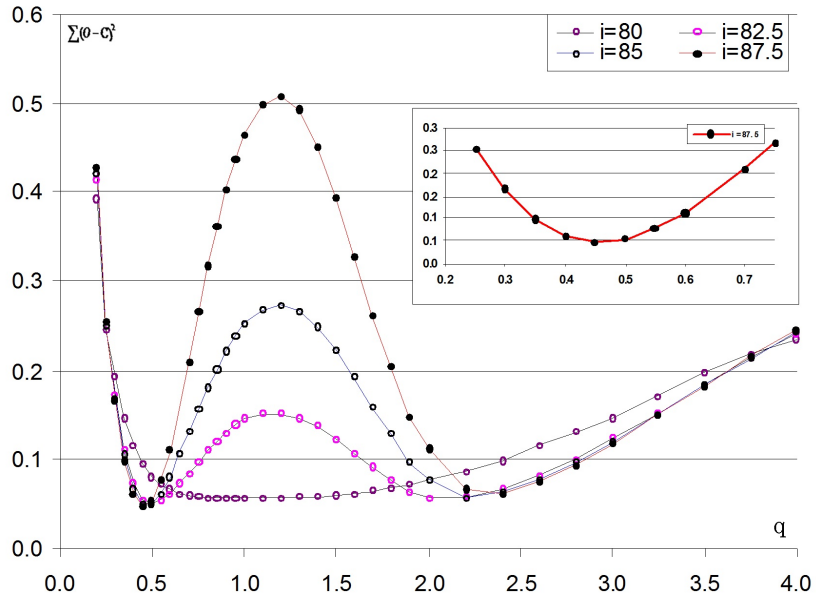
Sistem için daha önce yapılan çalışmalarda verilen K4 tayf türü, ayrıca J-K=0.691 renk indisi değerine karşılık Allen (Cox 2000) tarafından verilen bağıntılardan bulunan tayf türü ile aynıdır. Uzun dalgaboylarındaki parlaklık ve renk değerlerinin, kısa dalgaboylarındaki renk ve parlaklık değerlerinden daha az kızarmaya veya soğrulmaya uğraması nedeniyle tayf türünden elde edilecek sıcaklık değeri güvenilir olacaktır. Allen tarafından K4V tayf türünden yıldızlar için verilen sıcaklık değeri 4560 °K olarak elde edilmiştir. Bu sıcaklık değeri sistemi oluşturan ortak zarfa ilişkin bir sıcaklık değeridir ve genel olarak W UMa türü sistemlerde evreye bağlı renk değişimi çok küçük veya çok az olduğundan baş bileşenin sıcaklığı olarak dikkate alınabilir. Bu sıcaklık değeri ışık eğrisi analizinde sabit olarak alınmıştır.

Sistemin ışık eğrisi analizinde kenar kararım katsayıları Van Hamme (1993) tablolarından alınmıştır. Çekim kararım sabitleri ise konvektif atmosferler kabulü altında Lucy (1967)'den $g_{1,2}=0.32$ olarak alınmıştır. Yansıma katsayıları ise yine konvektif atmosfer kabulü altında Rucinski (1969)'den $A_{1,2}=0.5$ olarak alınmıştır. Sistemin dairesel yörüngede dolandığı ($e=0$) ve senkronize dönmede bulunduğu ($F_{1,2}=1$) kabul edilmiştir.

EI CVn sisteminin literatürde henüz dikine hız eğrisi gözlemi bulunmamaktadır. Dolayısıyla sistemin tayfsal kütle oranı bilinmemektedir. Işık eğrilerinin çözümü için ihtiyaç duyulan başlangıç parametrelerinden i (yörünge eğim açısı) ve q ($=m_2/m_1$) kütle oranı değerleri; i - q taraması yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Bu amaçla yukarıda belirlenen başlangıç değerleri ile birlikte WD programının aşırı değen çift yıldız sistemleri için kullanılan Mod-3 kullanılarak farklı i yörünge eğim açıları için, farklı q değerlerine karşılık hesaplanan fark kare toplam değerleri elde edilmiştir. Sistemde maksimum seviyeler arasındaki farkın bileşen yıldızlardan biri üzerinde bulunan soğuk lekeden kaynaklandığı kabul edilmiştir. Bu nedenle i - q taraması gerçekleştirilirken 0.75 evresinde leke kaynaklı düşme dikkate alınmamıştır.

Farklı yörünge eğim açıları için VRI bantlarındaki gözlemler için eşzamanlı olarak q değeri $0.1 < q < 9.0$ aralığında ve i yörünge eğim açısı $80^\circ - 87^\circ.5$ aralığında farklı değerler alınarak; T_1 , Ω_1 ve L_1 parametreleri serbest bırakılarak elde edilmiştir. i - q taramasının sonuçları Şekil 5'de verilmiştir. Yapılan inceleme sonucunda en küçük fark kareleri toplamı değerinin $q=0.45$ ve $i=87^\circ.5$ değerlerine karşılık geldiği görülmüştür.

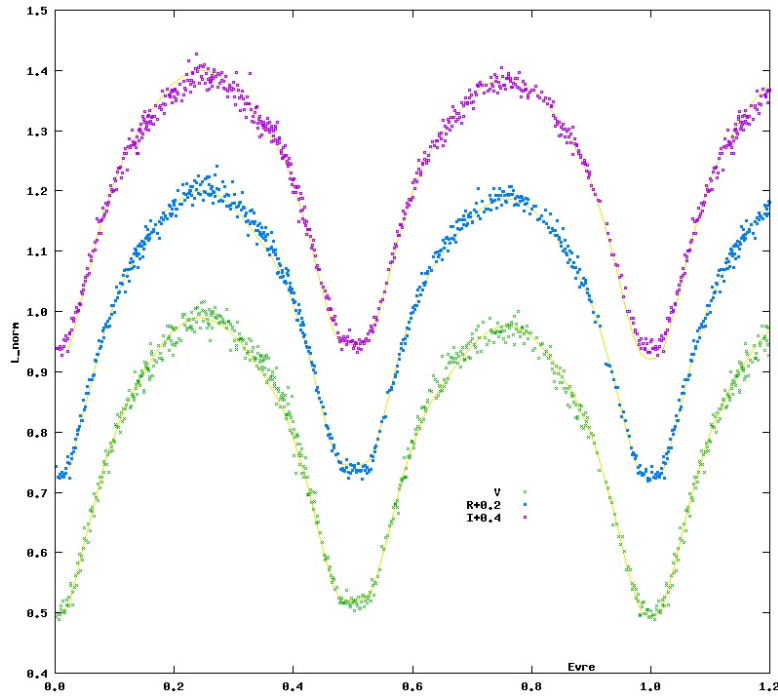
EI CVn sistemi için i - q taraması sonucunda elde edilen parametreler; q , i , T_2 , Ω_1 ve L_1 değerleri WD programı için başlangıç parametreleri olarak dikkate alınmış ve diferansiyel düzeltme yöntemi ile sistemin ışık eğrisini temsil eden en iyi parametreler aranmıştır. Yapılan analizler sonucunda sistemin kütle oranı için 0.453 değerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Ardından sistem için belirlenen yeni parametreler dikkate alınarak leke etkisinin bulunduğu ışık



Şekil 5. Sisteme ait i-q taraması sonucu elde edilen $\sum(O-C)^2$ değerlerinin q değerine göre değişimi.

eğrilerinin tamamı için çözülmüş ve leke'ye ilişkin parametreler elde edilmiştir. WD programı ile elde edilen gözlemsel ve teorik ışık eğrileri Şekil 6'de, ışık eğrisi çözümünden elde edilen parametreler Çizelge 2'de verilmiştir. Şekil 7'da ise sistem için elde edilen geometrik model gösterilmiştir.

EI CVn sisteminin ışık eğrisinde görülen O'Connell etkisinin modellenbilmesi için yoldaş bileşen üzerinde soğuk bir lekenin bulunduğu kabul edilmiştir. WD programı kullanılarak modellenen lekeye ilişkin parametreler Çizelge 2'de ayrıca verilmiştir.



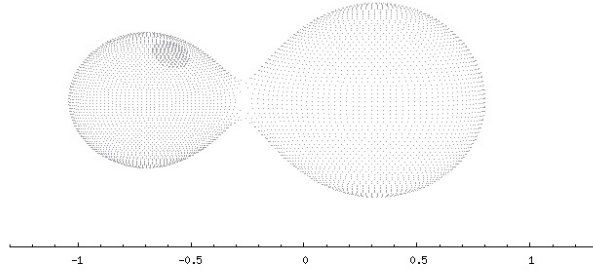
Şekil 6. EI CVn sistemi için elde edilen gözlemsel ve çözümden elde edilen kuramsal ışık eğrileri verilmiştir.

5 Sonuçlar

EI CVn sisteminin 2010 yılında Ankara Üniversitesi Rasathanesi'nde VRI bantlarıyla yapılan gözlemlerinden elde edilen ışık eğrileri kullanılarak ilk kez fotometrik çözümü gerçekleştirilmiştir. Sistemin kütle oranının, $q=0.453$ ve yörünge eğim açısının $i=87^{\circ}.82$ olduğu bulunmuştur. Özellikle tam tutulma gösteren örten değişen sistemlerde, fotometrik kütle oranı ile tayfsal kütle

Çizelge 2. EI CVn sistemi için elde edilen ışık eğrisi analizi sonuçları.

Sabit Tutulan Parametreler	VRI
T_1 °K	4560
$A_1=A_2$	0.5
$F_1=F_2$	1.0
$g_1=g_2$	0.32
Serbest Bırakılan Parametreler	
q (m_2/m_1)	0.453 ± 0.004
i (°)	87.82 ± 1.13
T_1 °K	4598 ± 6
$\Omega_1=\Omega_2$	2.7408 ± 0.0081
$L_{1V}/(L_1+L_2)$	0.6579
$L_{2V}/(L_1+L_2)$	0.3421
$L_{1R}/(L_1+L_2)$	0.6613
$L_{2R}/(L_1+L_2)$	0.3387
$L_{1I}/(L_1+L_2)$	0.6634
$L_{2I}/(L_1+L_2)$	0.3366
r_1 (pole)	0.430
r_1 (side)	0.460
r_1 (back)	0.450
r_2 (pole)	0.300
r_2 (side)	0.314
r_2 (back)	0.353
$\sum(O-C)^2$	0.33
f (doldurma oranı)	% 16
Leke Parametreleri	
Enlem (rad)	0.78
Boylam (rad)	5.20
Yarıçap (rad)	0.29
Sıcaklık Faktörü	0.76



Şekil 7. EI CVn sistemin 0.75 evresi için geometrik yapısı. Soğuk leke yoldaş bileşen üzerine yerleştirilmiştir.

oranın birbirlerine çok yakın olarak tespit edilebildiği bilinmektedir. Yoldaş bileşenin baş bileşenden $\Delta T=38$ °K daha sıcak olduğu görülmektedir. Sıcaklık değerlerinin birbirine çok yakın olması, ışık eğrisindeki değişimin temel nedeninin bileşen yıldızların yarıçapları ve yörünge eğim açısına bağlı olduğunu göstermektedir. Sistemin fiziksel parametrelerinin belirlenebilmesi için mutlak şekilde dikine hız eğrisi gözlemine ihtiyaç duyulmaktadır.

EI CVn sisteminde görülen dönem değişiminin büyük kütleli bileşenden küçük kütleli bileşene kütle aktarımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Hesaplanan dönem değişim miktarı, benzer sistemler için elde edilen değerlere çok yakındır. Dönem değişiminin sinüsel bir değişimin parçası olup olmadığı henüz açık değildir. Gelecekte yapılacak gözlemler ile bu durumun açıklığa kavuşturulması mümkündür.

EI CVn sisteminin, W UMa türü sistemlerde görülen A- veya W- alt türlerinden hangisine ait olduğu belirlenememiştir. Fakat tipik kütle oranı değerleri dikkate alındığında A-türü W UMa sistemi olma olasılığı yüksektir.

Kaynaklar

- Akerlof, C.; Amrose, S.; Balsano, R.; Bloch, J.; Casperson, D.; Fletcher, S.; Gisler, G.; Hills, J.; Kehoe, R.; Lee, B.; Marshall, S.; McKay, T.; Pawl, A.; Schaefer, J.; Szymanski, J.; Wren, J. , ROTSE All-Sky Surveys for Variable Stars. I. Test Fields, **2000**, The Astronomical Journal, Volume 119, Issue 4, pp. 1901-1913
- Beers, Timothy C.; Bestman, William; Wilhelm, Ronald., Emission-line candidates from the northern HK survey, **1994**, The Astronomical Journal, vol. 108, no. 1, p. 268-270

- Blattler, E.; Diethelm, R., CCD Light Curves of ROTSE1 Variables, XVIII: GSC 3022:996, CVn, GSC 2534:216 CVn, GSC 2536:122, CVn, GSC 2548:936 CVn and VV CVn, **2003**, IBVS5403
- Cox, A. N. **2000**, Allen's Astrophysical Quantities (New York: Springer)
- W. van Hamme, **1993** 'New Limb-Darkening Coefficients for Modeling Binary Star Light Curves', The Astronomical Journal, 106 (1993) pp. 2096-2117
- Kazarovets, E. V.; Samus, N. N.; Durlevich, O. V.; Kireeva, N. N.; Pastukhova, E. N., The 78th Name-List of Variable Stars, **2006**, IBVS5721
- Kwee, K.K., van Woerden, H., **1956**, 'A method for computing accurately the epoch of minimum of an eclipsing variable', BAN, V12, 327.
- Lucy L. B., **1967**, 'Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes' Zeitschr. F. Astrophys., 65, 89
- O-C Gateway, <http://astro.sci.muni.cz/variables/ocgate/>
- Rucinski S. M., **1969**, 'The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes', Acta Astr., 19, 245
- Prsa., Zwitter T., **2005**, 'A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives', The Astrophysical Journal, 628, 426
- Stephenson, C. B., Dwarf K and M stars of small proper motion found in a large spectroscopic survey, 1986, Astronomical Journal, vol. 91, **Jan. 1986**, p. 144-158
- Wilson, R.E., Devinney, E.J., **1971**, 'Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni', The Astrophysical Journal, 166, 605