

## CK Bootes' in 29 Yıllık Öyküsü

Rahşan Kalcı ve Ethem Derman

Ankara Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Fen Fakültesi 06100, Ankara  
kalcı@science.ankara.edu.tr, ethem.derman@ankara.edu.tr

**Özet:** Bu çalışmada, W Uma türü bir örten çift sistem olan CK Bootes' i inceledik. CK Boo'nun 1975 yılından itibaren 17 ışık eğrisi gözlenmiştir. Işık eğrileri Wilson-Devinney programının son sürümü kullanılarak analiz edilmiştir. Her yıl için fiziksel ve geometrik parametreler elde edilerek onların yıllara göre değişimi incelenmiştir. Sistemin döneminde yukarı doğru artan bir parabolik değişimin üzerine binmiş bir salınım görülmektedir. Dönemdeki bu salınım ile ışık eğrisi ve sistemin rengindeki değişimler arasında sıkı bir ilişki olduğunu bulduk

**Anahtar kelimeler:** yıldızlar: CK Boo: W Uma– yıldızlar: lekeler

**Abstract:** In this study we were work on the W Uma-type eclipsing binary CK Bootes. Seventeen light curves observed since 1975. These light curves are analyzed by means of the latest version of the Wilson-Dewinney code. The orbital and physical parameters are obtain for each year and the variation of them are discussed in the text. The orbital period of the system has a oscillation , superimposed on a upward parabolic variation. We find the correlation between the variations of the light curve, and color with the oscillation of the period.

**Key words:** stars: CK BOO: W Uma – stars:spot

### 1. Giriş

CK Boo, Bond (1975) tarafından keşfedildi ve G tayf türünden, W Uma türü bir örten çift sistem olduğunu gösterdi. Sistemin ilk fotoelektrik gözlemi Aslan (1978) tarafından yapıldı ve Bond'un verdiği ışık elemanlarının II. minimuma ait olduğunu buldu ve sistemin yeni ışık elemanlarını verdi. Sistemin ilk fotoelektrik gözlemleri Aslan ve ark. (1981) ve Aslan ve Derman (1986) yapıldı. Aslan ve Derman (1986), sistemin ışık eğrisinde sezonluk ve geceden geceye değişimlerin olduğunu, 1. minimumun her zaman derin olan minimum olmadığını vurguladılar. Pajdosz ve Zola (1989), sistemin gözlemini yaparak yeni ışık elemanlarını yayınladılar. Sistemin ilk ışık eğrisi analizini, Pajdosz ve Zola (1989)'nın yayınladıkları ışık eğrilerini kullanarak, Krzesinski ve ark. (1991) yaptı. Sistemin, sıcak ve soğuk lekeli olarak analizini yaptılar ve W-türü bir W Uma olduğunu, sistemin kütle oranının ise sırasıyla sıcak ve soğuk lekeli modelde 1.93 ve 1.70 olduğunu buldular. Ayrıca sistemin tayfını alarak, tayf türünün F6V olduğunu gösterdiler. Markworth ve Gunn (1993), sistemin BVR bandlarında gözlemini yapmış ve Aslan ve Derman (1986)'ın yayınladıkları ışık eğrilerini kullanarak, sistemin

leke kronolojisini araştırmışlardır. Sistemin A ve W türü çözümlerini yaparak, fotometrik kütle oranını sırasıyla 0.1 ve 1.66 olarak belirlemişlerdir. A türü çözümün sistemi daha iyi temsil ettiğini öne sürmüşlerdir.

CK Boo'nun ilk tayfsal gözlemi Hrivnak (1993) tarafından yapılmıştır, Markworth'un A türü çözümünde bulunduğu kütle oranına yakın olarak sistemin tayfsal kütle oranını 0.16 bulmuştur. Rucinski ve Lu (1999), sistemin tayfsal gözlemini yaparak, kütle oranını  $0.111 \pm 0.052$  olarak hesaplamış, A-türü bir W UMa olduğunu ve tayf türünün ise F7/F8V olduğu sonucuna varmışlardır.

### 2. Gözlemler

CK Boo'nun gözlemleri 1976 yılından bu yana Ankara Üniversitesi Gözlemevinde yapılmaktadır. Ayrıca 1985 yılında Ege Üniversitesi ve 2004 yılında TUG'da da bizim tarafımızdan gözlemleri yapılmıştır. Markworth ve Bond da gözlemlerini bize göndererek toplam 17 ışık eğrisi elde etmemizi sağlamışlardır. Tüm bu ışık eğrilerinden elde edilen toplam 38 yeni minimum zamanı bu çalışmada mevcut olanlara ek olarak kullanılmıştır.

### 3. Dönem Analizi

CK Boo'nun ilk dönem analizini Qian ve Liu (2000), Kalimeris ve ark. (1994) yöntemini kullanarak dönem analizini yaptılar. Fakat

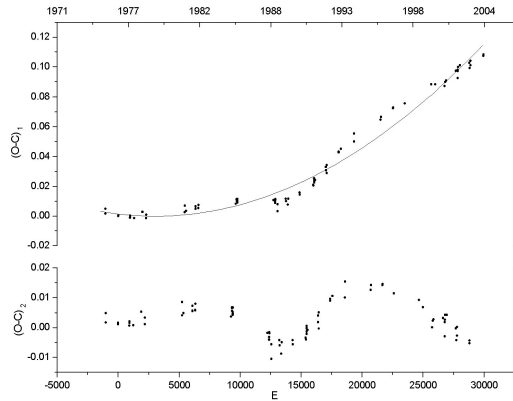
kullandıkları minimum zamanı sayısı kadar yeni minimum zamanı eklendiğinden dönem analizini tekrar yapmayı düşündük. Yeni eklenen minimum zamanlarından bir tanesi Bond (1975)'un, 4 tanesi Markworth (1993)'un ışık eğrisinden Kwee & Van Woerden (1956) yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. (O-C) değerleri Aslan (1978)'in ışık elemanları kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Min I} = \text{HJD } 2442897.3759 + 0.3551501 E.$$

CK Boo'nun O-C değerlerinden geçen en uygun parabol ve bu parabolden kalan artıklar Şekil 1'de gösterilmiştir. Kolayca anlaşılacağı üzere, sistemde yoldaş yıldızdan baş yıldızına doğru bir kütle aktarımının olduğu görülmektedir. Uygulanan parabolden elde edilen ikinci derece ışık elemanları ve hataları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Min I} = \text{HJD } 2442897.37734 (170) + 0.3551491 (3)E + 1.72 (8) \cdot 10^{-10} E^2$$

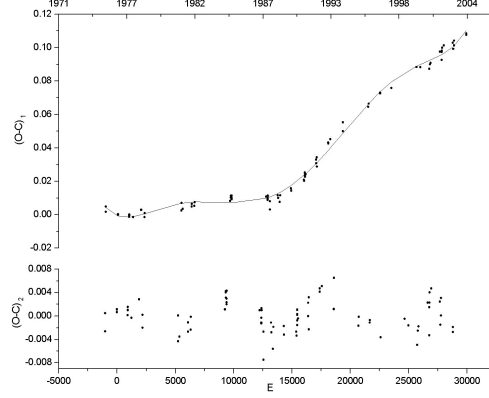
$E^2$ 'li terimin katsayısından hareketle dönem artış miktarı  $dP/dT = 3.54 (\pm 0.17) \cdot 10^{-7}$  gün/yıl olarak bulunmuştur. Qian ve Liu (2000), 33 minimum zamanı kullanarak dönem değişimini  $4.97 \cdot 10^{-7}$  gün/yıl olarak vermişlerdir.



Şekil 1. O-C grafiğine uygulanan 2. dereceden fonksiyon ve kalan artıklar

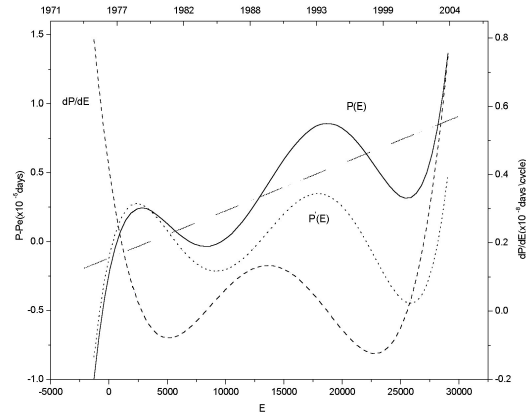
Son yıllarda Kalimeris ve ark. (1994) yörünge döneminin değişimini incelemek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Dönem değişimi sürekli olan sistemler için çok uygun olan bu yöntem, O-C değerlerine yüksek dereceden bir polinom uygulamaktadır. O-C değerlerine 6. dereceden bir polinom uygulayarak Kalimeris ve ark. (1994) verdiği denklemlerle sistemin gerçek dönem değişimi ve değişim oranı hesaplanmıştır. Şekil 2'de 6. dereceden polinom ve kalan artıklar görülmektedir.

Şekil 3'de ise bu yöntem ile hesaplanan dönemin zamana göre değişimi ve değişim oranı gösterilmiştir



Şekil 2. O-C grafiğine uygulanan 6. dereceden polinom ve kalan artıklar

Şekilde düz çizgi ile gösterilen eğri, gerçek dönem (P(E)) ile kullandığımız dönem arasındaki farktır ve uzun kesikli çizgi ile gösterilen eğri ise  $dP/dE$  olup görelî dönem değişim oranını göstermektedir. Sistemin döneminde sürekli bir artış olduğu ve bu artışın üzerine binmiş tam dönemsel olmayan ikinci bir etkide göze çarpmaktadır. Dönemdeki bu artış etkisi (kesikli çizgi) çıkartıldığında salınan bir değişimin olduğu göze çarpmaktadır ( $P^*(E)$ ).



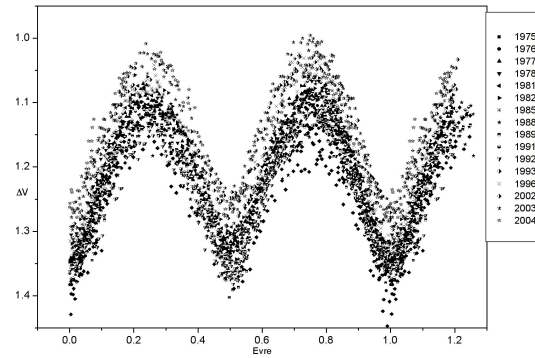
Şekil 3. Kalimeris ve ark. (1994) yöntemiyle elde edilen dönem değişimi

Bu değişimde dört dönüm noktası göze çarpmaktadır. Bu dört noktanın genliği sırasıyla 0.33, 0.37, 0.65, 0.86 saniyedir ve zamanla genliğin arttığı görülmektedir. Bu değişimde iki maksimum ve iki minimum arasındaki zaman farkı sırasıyla 15 ve 16.4 yıldır. Bu sinus benzeri değişimin yaklaşık ortalama dönemi 15.7 yıldır. Bu dönem değişiminin nedeni 3. cismin varlığı nedeniyle ışık-zaman etkisi ya da bu tür yıldızlar

çok hızlı döndükleri için her iki bileşenin manyetik etkinlik çevriminden kaynaklanabilir. (O-C)<sub>2</sub>, tam bir sinüsel değişim vermediği ve CK Boo'nun tayfsal gözleminde 3. cismin varlığı görülmediği için, bu etkinin manyetik etkinlik kökenli olduğu düşünülmektedir.

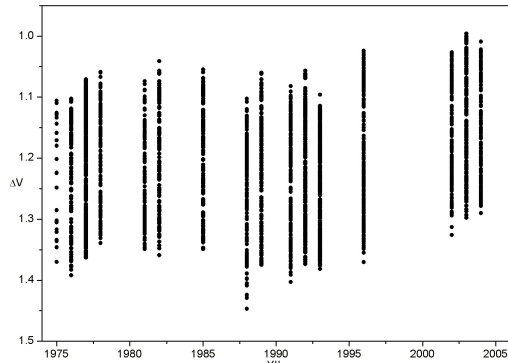
#### 4. Işık Eğrisi Analizi

Sistemin 1975 ile 2004 yılları arasında yeralan 14 tanesi Ankara Üniversitesi Gözleminde, 1 tanesi Ege Üniversitesi gözleminde elde edilen, toplam 17 yıllık ışık eğrisi Wilson-Devinney (2004 haziran sürümü) programı kullanılarak analiz edilmiştir.



Şekil 4. CK Boo' nun toplam 16 tane ışık eğrisinin topluca görünümü

CK Boo' nun aynı mukayese yıldızı kullanılarak elde edilmiş ışık eğrilerinin topluca görüntüsü Şekil 4'de yer almaktadır. Sistemin parlaklığının değişimini daha iyi görebilmek için tüm ışık eğrilerinin yıllara göre değişimi Şekil 5'de ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 5. Yıllara göre parlaklık değişimi

Analize başlandığında, geometrik yörünge parametrelerini belirlemek için lekesiz bir ışık eğrisi aranmış fakat hiç bir ışık eğrisinin lekesiz olmadığı anlaşılmıştır. Bu nedenle her yılın ışık eğrisi, Wilson-Devinney programı ile tek tek çözülmüş elde edilen I, q ve Ω değerleri ve onların

ortalamaları Tablo 1'de verilmiştir. Amacımız bu geometrik parametreleri sabit alarak her yılın ışık eğrisini çözerek fiziksel parametrelerin değişimini incelemektir. Daha sonra Omeagayı sabit almaktan vazgeçtik çünkü sistemin ışık eğrisindeki değişimler yarıçap değişiminden kaynaklanabilirdi.

Tablo 1. Temel geometrik parametrelerin yıllara göre değişimi ve ağırlıklı ortalama değerleri.

	i	q	Ω
1975	65.191 ± 0.442	0.111 ± 0.003	1.944 ± 0.024
1976	65.219 ± 0.213	0.111 ± 0.001	1.944 ± 0.005
1977	65.004 ± 0.115	0.109 ± 0.000	1.939 ± 0.002
1978	65.026 ± 0.206	0.110 ± 0.001	1.943 ± 0.005
1981	65.192 ± 0.206	0.111 ± 0.001	1.953 ± 0.006
1982	65.069 ± 0.218	0.110 ± 0.001	1.940 ± 0.006
1985	65.267 ± 0.245	0.111 ± 0.001	1.928 ± 0.005
1985	65.203 ± 0.210	0.111 ± 0.001	1.922 ± 0.004
1988	65.200 ± 0.232	0.111 ± 0.001	1.946 ± 0.004
1989	65.019 ± 0.225	0.110 ± 0.001	1.938 ± 0.004
1991	65.239 ± 0.198	0.111 ± 0.001	1.944 ± 0.004
1992	64.947 ± 0.156	0.110 ± 0.001	1.939 ± 0.003
1993	65.147 ± 0.139	0.111 ± 0.001	1.951 ± 0.003
2002	65.106 ± 0.159	0.111 ± 0.001	1.942 ± 0.003
2003	65.196 ± 0.143	0.111 ± 0.001	1.938 ± 0.002
2004	64.857 ± 0.154	0.109 ± 0.001	1.940 ± 0.003
ortalama	65.091 ± 0.204	0.110 ± 0.001	1.940 ± 0.005

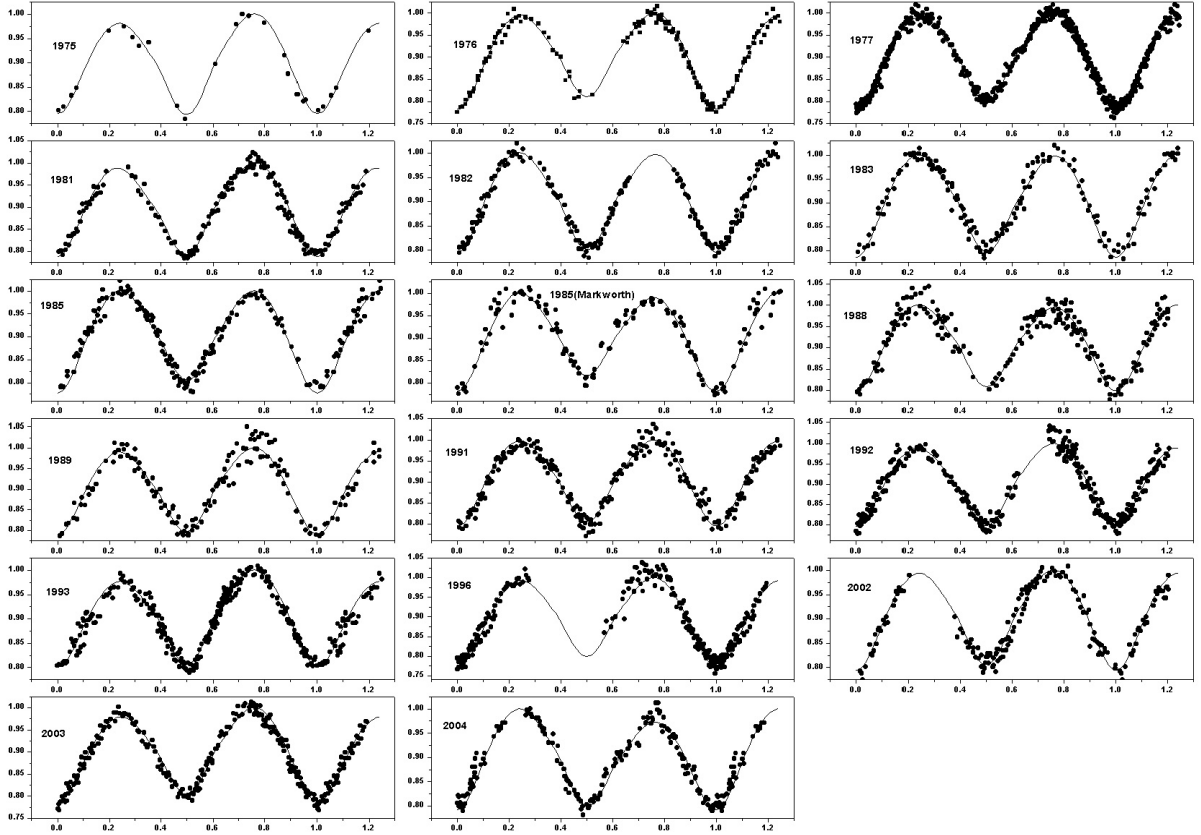
Wilson-Devinney programında değen çift sistemler için olan mode 3 kullanılmış ve baş yıldızın sıcaklığı, Rucinski ve Lu (1999) nun verdiği F8 tayf türüne karşılık gelen sıcaklık değeri (6200 K) Aller'in tablosundan alınmıştır. Çözümler, Wilson ve Bierman (1976) çoklu alt küme yöntemi kullanılarak yapılmış ve bu alt kümeler şu şekilde saptanmıştır: {i, T<sub>2</sub>}, {L<sub>1</sub>, q} ve {Ω<sub>1</sub>}. q'nun başlangıç değeri 0.111 olarak, T<sub>2</sub> değeri başyıldızın sıcaklığı ile aynı kabul edilerek çözüme başlanmıştır ve her iki parametre daha sonra serbest bırakılmıştır. Elde edilen ortalama parametreler Tablo2'de verilmiştir. Daha sonra sadece T<sub>1</sub>, q ve i parametreleri sabit tutularak her yılın ışık eğrisi leke konularak tekrar çözüldü.

Tablo 2. Her yılın ağırlıklı ortalaması alınmış parametre değerleri.

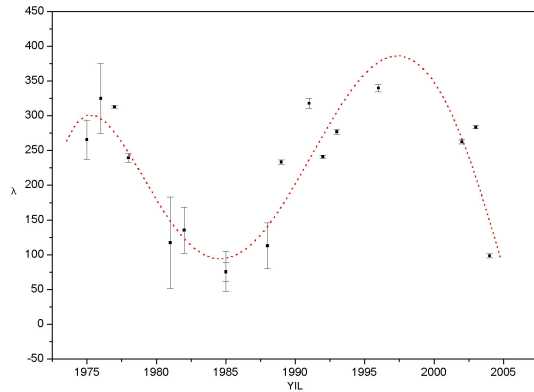
i°	65°.091 ± □ □
q(m <sub>r</sub> /m <sub>c</sub> )	0.11 ± 1
T <sub>1</sub>	6200 K
T <sub>2</sub>	6118 K ± □
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) <sub>U</sub>	0.872 ± □ □
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) <sub>B</sub>	0.877 ± □ □
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) <sub>V</sub>	0.874 ± □ □
L <sub>1</sub> /(L <sub>1</sub> +L <sub>2</sub> ) <sub>R</sub>	0.873 ± □ □
r(h) <sub>ort</sub>	0.594 ± □
r(c) <sub>ort</sub>	0.240 ± □
Ω <sub>h,c</sub>	1.940 ± □
f (Değme Par.)	%70

Her yıl çözülmüş ışık eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Yine her yıl elde edilen lekelerin boylamlarının

yıllara göre değişimi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6 Tüm yıllara ait V bandındaki ışık eğrileri ve onların çözümleri.



Şekil 7 Leke boylamlarının yıllara göre değişimi

değişimlerin, hem genlik hem de dönem açısından daha düzenli olması beklenir. Manyetik etkinlik çevrim dönemlerinin istatistiksel olarak 5-25 yıl aralığına dağıldığı Maceroni ve ark. (1990) ve Bianchini (1990) tarafından belirtilmiştir.

CK Boo' nun  $(O-C)_2$  grafiği incelendiğinde, bu etkinin manyetik kökenli olma olasılığı artmaktadır.

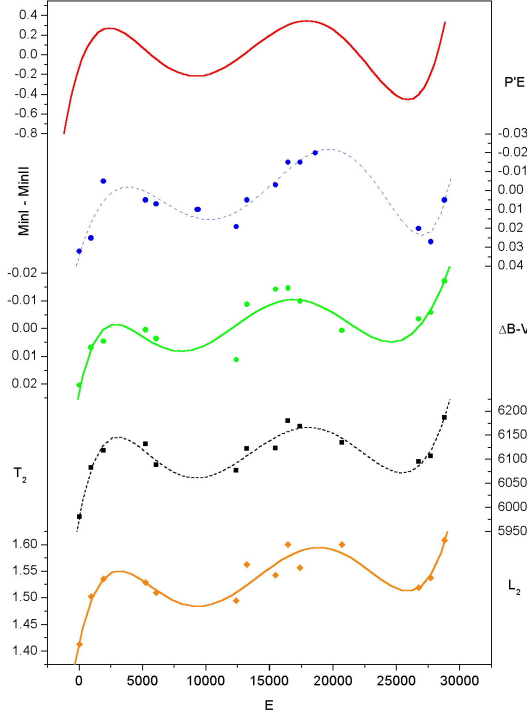
Applegate (1989) göre bir çift yıldız manyetik etkinlik nedeniyle dönem değişimi gösteriyorsa; a) O-C değişiminin, ışınlam gücü değişiminin ve renk değişiminin dönemleri aynı olmalı, b) Değişimlerden birindeki maksimum veya minimum, diğerindeki maksimum veya minimum ile çakışmalı ve c) Sistemin ortalama parlaklığı artarken, sistemin rengi mavileşmelidir.

## 5. Tartışma

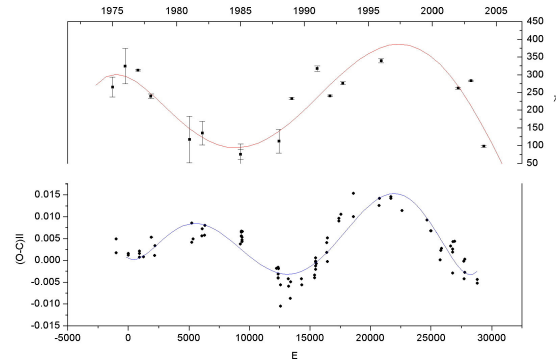
Üçüncü cismin varlığı ve geç tayf türü yıldızlarda manyetik etkinlik, O-C eğrilerinde aynı karaktere sahip dönemli değişimler şeklinde kendini göstermektedir. Bu iki mekanizmanın birbirinden ayrılması çok kesin olmamakla beraber üçüncü cismin varlığı ile ortaya çıkan çevrimsel yapı

Şekil 8'de görüldüğü gibi CK Boo'nun O-C değişiminin, renk değişiminin ve parlaklık değişiminin dönemleri aynıdır. Değişimlerde maksimumlar ve minimumlar birbirleriyle çakışıyor. Renk değişimine bakıldığında, sistemin ortalama parlaklığı artarken (Bkz. Şekil 5) aynı zamanda

system mavileşmektedir. Bu değişimler yaklaşık 16 yıllık bir dönem vermektedir. Şekilde ayrıca Wilson-Devinney çözümünden elde edilen yoldaş yıldızın sıcaklık ve kesirsel ışınım gücü değeri de görülmektedir. Çözümlerde baş yıldızın sıcaklığı sabit tutulduğu için, lekelerin etkisi  $T_2$  sıcaklığına yansımaktadır.



**Şekil 8.** CK Boo' nun dönem, parlaklık ve renk değişimi. Ayrıca çözümlerden elde ettiğimiz  $T_2$ 'nin değişimi de görülmektedir.



**Şekil 9.** Leke boylamlarının dağılımı ile (O-C)<sup>2</sup> değişimi arasındaki sıkı ilişki görülmektedir.

CK Boo'nun (O-C) eğrisine ikinci dereceden bir polinom uyguladığımızda kalan artıklar ile elde ettiğimiz leke boylamlarının karşılaştırılması da Şekil 9'da verilmiştir. Her iki değişimin dönemi yaklaşık 16 yıl yöresindedir.

## 6. Kaynaklar

- Agarar, F., and Hubscher, J.: 1999, IBVS, No. 4711.
- Aller, L.H. 1963 Astrophysics: The Atmospheres of the Sun and Stars, Ronald Press Co
- Applegate, J.H.: 1989, *Astrophys. J.* 337, 865.
- Aslan, Z.: 1978, IBVS, No. 1462.
- Aslan, Z., Gören, M., and Derman, E.: 1981, IBVS, No. 2043.
- Aslan, Z., and Derman, E.: 1986, *Astron. Astrophys. Suppl.* 66, 281.
- Bond, H.E.: 1975, *PASP* 87, 877.
- Bradstreet, D.H.: 1993, *Light curve modeling of eclipsing binary stars*, Springer-Verlag, p. 151.
- Demircan, O.: 1987, *Astrphys. Space Sci.* 135, 169.
- Diethelm, R.: 1991, *BBSAG Bulletin*, 97.
- Hilditch, R.W., King, D. T., and McFarlane, T. M.: 1988, *MNRAS*, 231, 341.
- Hrivnak, B. J.: 1993, in *ASP Conference Ser. 38, New Frontiers in Binary Star Research*, ed. J. C. Leung & I.-S. Nha (San Francisco:ASP), 269
- Jia, G.S., Liu, X.F. and Huang, H.: 1992, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 3727.
- Kalimeris, A., Rovithis-Livaniou, and Rovithis, P.: 1994, *Astron. Astrophys.* 282, 775.
- Krziesinski, J., Mikolajewski, M., Pajdosz, G., and Zola, S.: 1991, *Astrophys. Space Sci.* 184, 37.
- Kwee, K.K., and van Woerden, H.: 1956, *Bull. Astr. Inst. Netherlands*, 12, 327.
- Markworth, N.L. ve Gann: 1993, *Bull. American Astron. Soc.* 25, 1425.
- Müyesseroglu, Z., Gürol, B., and Selam, S.O.: 1996, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 4380.
- Ogloza, W.: 1995, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 4263.
- Pajdosz, G. and Zola, S.: 1989, *Inf. Bull. Variable Stars*, No. 3251.
- Qian, S. and Liu, Q.: 2000, *Astrphys. Space Sci.* 271, 331.
- Rucinski, S.M., and Lu, W.: 1999, *Astron. J.* 118, 2451.
- van Hamme, W.: 1993, *Astron. J.* 106, 2096.
- Wilson, R.E.: 1979, *Astrophys. J.* 234, 1054.
- Wilson, R.E., and Devinney, E.J.: 1971, *Astrophys. J.* 166, 615.