

# DEĞEN ÇİFT FU DRACONİS'İN IŞIK EĞRİSİ ÇÖZÜMLEMESİ

**Naci ERKAN, Ahmet ERDEM, Caner ÇİÇEK**

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Astrofizik Gözlemevi, Terzioğlu Yeni  
Yerleşkesi, 17040, Çanakkale*

## **Özet**

FU Dra, HIPPARCOS (ESA, 1997) uydusu tarafından değişim gösterdiği keşfedilen, kısa dönemli ( $P=0,3067$  gün), W-alt türü bir W UMa değen çiftidir. Bu çalışmada, sistemin yeni gözlemleri, Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde 40 cm'lik Cassegrain-Schmidt teleskoba bağlı SBIG STL-1001E CCD kamerasıyla 2008 gözlem sezonunda yapılmıştır. Sistemin B, V, R ve I süzgeçlerinde ışık eğrileri elde edilmiş ve Rucinski ve ark. (2000)'in dikine hız eğrileri ile birlikte Wilson-Devinney (WD) modeli (Wilson and Devinney 1971, Wilson 1992) ile eşzamanlı olarak çözümlenmiştir. Dizgenin mutlak parametreleri hesaplanmış ve bileşenlerin HR çizgesindeki konumları tartışılmıştır. Yörünge dönemi değişimi incelenmiş ve güncel ışık öğeleri bulunmuştur.

*Anahtar Kelimeler: Yıldızlar: çiftler: yakın: örten: FU Dra*

## **Abstract**

FU Dra is a short period ( $P=0,3067$  days) W-type subgroup of W UMa-type contact binary first discovered by HIPPARCOS (ESA, 1997). In this study, the new CCD BVRI observations of the system were made using SBIG STL-1001E CCD camera attached to the 40 cm Cassegrain-Schmidt telescope at the Çanakkale Onsekiz Mart University Ulupınar Observatory (UPO) during the 2008 observing season. BVRI light curves of the system were obtained and radial velocity curves from Rucinski et al. (2000) analysed simultaneously using the Wilson-Devinney (WD) model (Wilson and Devinney 1971, Wilson 1992). The absolute parameters of the system was calculated and the position in the HR diagram of the components of FU Dra was discussed. Orbital period variation was studied and new set of light elements were found.

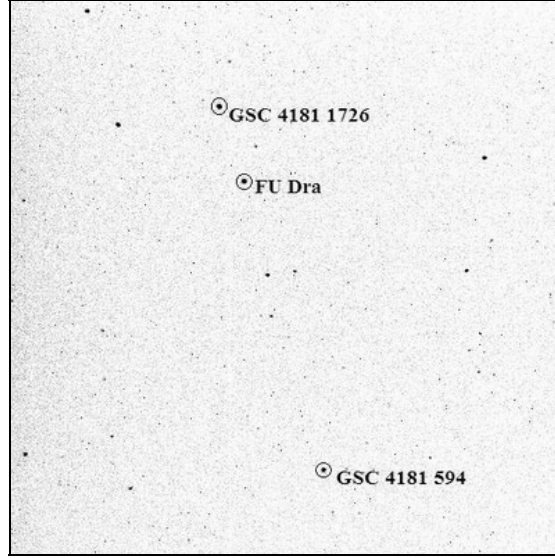
*Key words: Stars: binaries: close: eclipsing: FU Dra*

## 1.Giriş

FU Dra (HIP 076272, GSC 04181-00673,  $V=10^m.48$ ), HIPPARCOS (ESA, 1997) uydusu tarafından değişim gösterdiği keşfedilen, kısa dönemli ( $P=0,3067$  gün), W-alt türü bir W UMa değen çiftidir. Dizgenin büyük öz hareketi Lee (1984a, 1984) tarafından duyurulmuş ve Hipparcos projesinde sağ açılık ve dik açıklık bileşenleri  $\mu_\alpha=-255.85\pm 1.17$  mys.y<sup>-1</sup> ve  $\mu_\delta=15.62\pm 1.12$  mys.y<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Rucinski ve ark. (2000) dizgenin F8V tayf türünde ve W-alt türünden çift çizgili tayfsal değen çift olduğunu bulmuşlar ve tayfsal elemanlarını ölçmüşlerdir. ( $\gamma=-11.4$  km.s<sup>-1</sup>,  $K_1=70.4$  km.s<sup>-1</sup>,  $K_2=280.8$  km.s<sup>-1</sup>,  $q=3.989$ ,  $(M_1+M_2)\sin^3 i=1.38 M_{Güneş}$ ) Dizgeye ait ilk fotoelektrik çalışma (B ve V süzgeçlerinde) Vanko ve ark. (2001) tarafından yapılmış ve dizgenin mutlak parametreleri belirlenmiştir. Daha sonra Zola ve ark. (2005) ve Kaithchuck ve ark. (2006) tarafından CCD gözlemleri yapılmış ve çözümleri verilmiştir.

## 2.Gözlemler ve İndirgeme

Dizgeye ait fotoelektrik CCD gözlemleri; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Ulupınar Gözlemevi'nde (ÇUG) sırasıyla 2005 ve 2008 gözlem sezonlarında, 30 ve 40 cm'lik Cassegrain-Schmidt teleskoplara bağlı, SBIG ST 10X-M ve SBIG STL-1001E CCD kameralarıyla, BVR ve BVRI süzgeçlerinde yapılmıştır. Çözümleme için kullanılan 2008 gözlemleri 17 ve 18 Temmuz gecelerinde, BVRI süzgeçlerinde sırasıyla 20s, 10s, 7s, 7s poz süreleriyle yapılmıştır. Örnek CCD görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Görüntü  $\approx 22 \times 22$  yay dakikası boyutlarında olup, piksel başına görüntü ölçeği  $\approx 1.29$  yay saniyesi mertebesindedir.

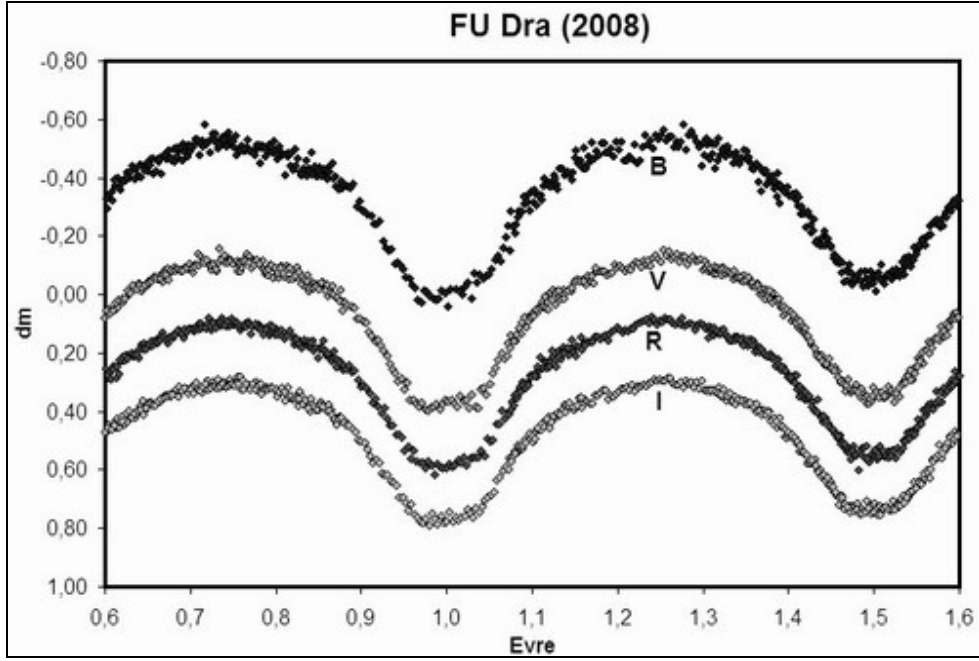


*Şekil 2 FU Dra örten çiftinin V süzgecinde 18/07/2008 gözlem gecesinde alınan örnek CCD görüntüsü.*

Gözlemlerin indirgenmesinde karşılaştırma yıldızı olarak GSC 4181 1726 ve denet yıldızı olarak da GSC 4181 594 kullanılmıştır. Gözlenen yıldızlara ait özellikler Çizelge 1’de özetlenmiştir.

<b>Çizelge 1</b> Değişen, karşılaştırma ve denet yıldızlarına ait bilgiler.				
<b>Yıldızın Adı</b>	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	<b>V(kadir)</b>	<b>B-V (kadir)</b>
FU Dra	15 <sup>sa</sup> 34 <sup>dk</sup> 45 <sup>s</sup> .210	+62° 16’ 44’’.28	10.48	0.6
GSC 4181 1726	15 <sup>sa</sup> 34 <sup>dk</sup> 38 <sup>s</sup> .210	+62° 13’ 50’’.10	10.60	1.3
GSC 4181 594	15 <sup>sa</sup> 35 <sup>dk</sup> 05 <sup>s</sup> .449	+62° 27’ 56’’.84	10.80	0.7

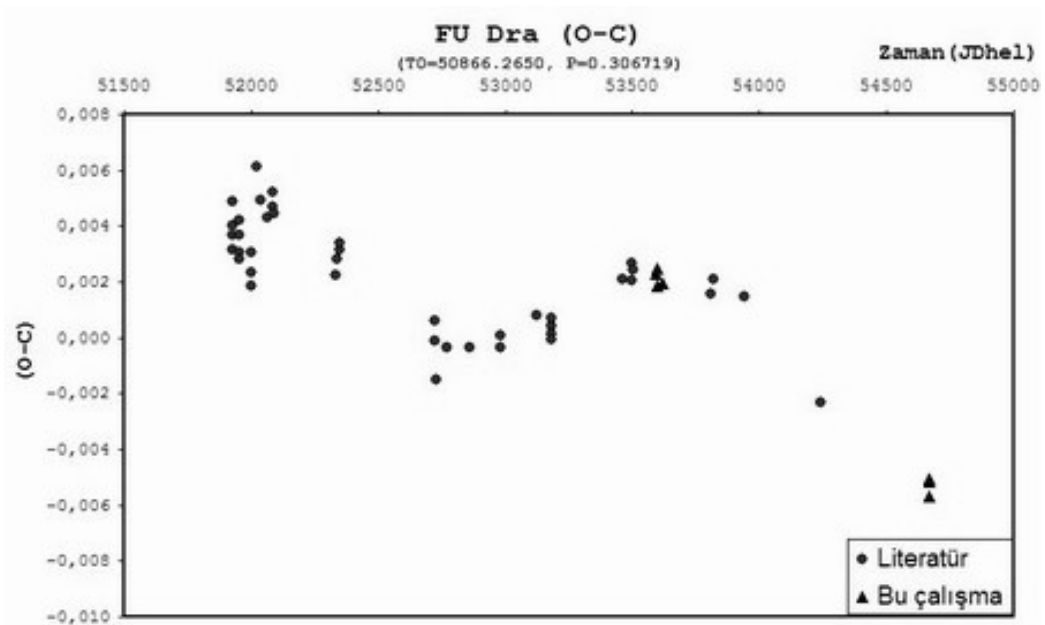
İki farklı gözlem döneminde yapılan gözlemlerde dört süzgeçte toplam 3636 gözlem noktası ölçülmüş ve bunlardan 2008 sezonunda gözlenen 2048 tanesi (B’de 508, V’de 517, R’de 514, I’da 509 tane olmak üzere) çözümlene için kullanılmıştır. Gecelik indirgemelerde C-MUNIPACK yazılımı kullanılmış (David Motl, 2003), değişen ve karşılaştırma yıldızı arasında fark fotometrisi yapılmıştır. Aynı zamanda, karşılaştırma yıldızının ışık değişmezliği denet olarak seçilen yıldızla da kontrol edilmiştir. İndirgeme sonucunda BVRI süzgeçlerinde elde edilen ve çözümlenmede kullanılan 2008 yılı ışık değişim eğrileri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 3 FU Draconis'in BVRİ süzgeçlerinde elde edilen 2008 yılı ışık eğrileri.

### 3. Dönem Analizi

Dizgenin 2005 ve 2008 yıllarında yapılan gözlemlerinde ikisi Min I ve beşi Min II olmak üzere toplan yedi adet Min zaman elde edilmiştir. Bu gözlemlerle literatürde verilen diğer Min zamanları birleştirilerek dizgenin O-C değişim grafiği çizilmiştir. (Şekil 3)



Şekil 4 FU Draconis'in O-C değişimi. ( $T_0$  ve  $P$  değerleri Kaitchuck ve ark.(2006)'dan alınmıştır.)

İlk bakışta, her ne kadar dizgeye ait dönemli bir değişim olabileceği söylenebilse de, yedi yıllık gözlem zamanı, dönem değişimine neden olabilecek süreçlerin anlaşılıp belirlenmesi için yeterli bir süre değildir. Bu nedenle dizgeye ait dönem değişim çözümlemesi, sadece son üç yılı içine alacak şekilde ve doğrusal yaklaşımla yapılmış, son zamanlar için geçerli olan doğrusal ışık ögeleri:

$$\text{HJD Min I} = 2454666.5085(\pm 4) + 0^{\text{e}}.3067170(\pm 1)$$

olarak bulunmuştur.

#### 4. Fotometrik Analiz

FU Draconis'in ışık eğrilerinin çözümü için Wilson-Devinney programının (Wilson & Devinney , 1971) 1992 versiyonu kullanılmıştır. Girdi verileri olarak alınan, bu çalışmada elde edilen 2008 yılı BVRI ışık eğrileri (toplam 2048 nokta), Rucinski ve ark. (2000) tarafından elde edilen dikine hız eğrileri üzerine eş zamanlı olarak uygulanmıştır.

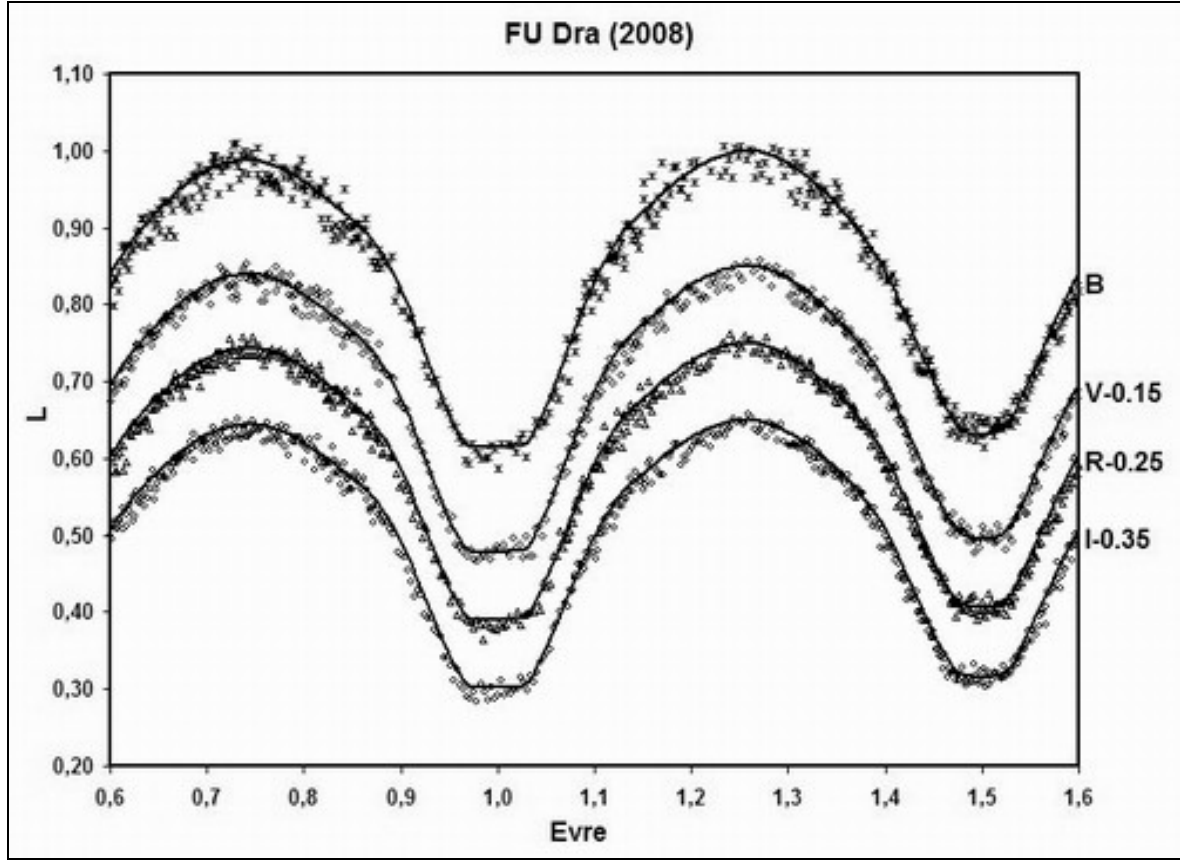
Dizgeye ait fiziksel ve geometrik özelliklerin belirlenmesi için kullanılan sentetik çözüm modelinin genel özelliği olarak, bazı fiziksel ögeler çözüm boyunca sabit tutulurlar. Buna göre, baş bileşenin (baş bileşen, Min I evresinde tutulan bileşen olarak tanımlanır ve FU Draconis için bu bileşen küçük kütleli bileşendir) sıcaklığı,  $T_1=6100$  K (Zola ve ark., 2005); bileşenlerin ışığı yansıtma özelliklerini tanımlayan bolometrik albedolar, konvektif atmosferler için  $A_1= A_2=0.5$  (Rucinski, 1969); bileşenlerin çekim kararma katsayıları, konvektif atmosferler için  $g_1=g_2=0.32$  (Lucy, 1967) olarak sabit alınmıştır. Bileşenlere ait kenar kararma katsayıları Diaz-Cordoves ve ark. (1995) tablolarından alınmış ve çözümleme boyunca her iterasyon adımından sonra yeni değerlere güncellenmiştir. Dizgenin W-alt türünden bir degen çift olması, yani baş minimumun sıcak fakat küçük kütleli bileşenin, soğuk ve büyük kütleli bileşen tarafından örtülmesi, örten çift bileşenlerin genel özelliklerine ters düşse de, bu sorun kütle oranının Wilson-Devinney programına ters girilmesiyle giderilir. Dizgeye ait kütle oranı Rucinski ve ark. (2000) tarafından  $q=3.989(\pm 30)$ , Zola ve ark. (2005) tarafından da  $q=3.756$  olarak verilmiştir.

Dizgenin çözümü için Wilson-Devinney programının DC (Differential Corrections) alt programı MODE 3 kullanılarak

çözülmüştür. Bu MOD'da çift, değen olabilir ama farklı yüzey parlaklıklarına sahiptirler, yani ısısız değme olmaksızın geometrik olarak değen çifttirler. İkinci bileşenin yüzey sıcaklığı ( $T_2$ ), bileşenlerin yüzey potansiyelleri ( $\Omega_1 = \Omega_2$ ), birinci bileşenin yüzey ışıması ( $L_1$ ), kütle oranı ( $q=m_2/m_1$ ), dizgenin görelî yörüngesinin eğikliği ( $i$ ), görelî yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu ( $a$ ), evre kayması (Pshift) ve dizgenin ortak kütle merkezinin dikine hızı ( $V_\gamma$ ) değerleri programda değişken öğeler olarak kabul edilmiştir. Işık eğrisinde görülen asimetri, özellikle de 0.25 evre civarına karşılık gelen Max I seviyesinin, Max II'den  $\approx 0.02$  kadar daha parlak oluşu (O'Connell etkisi), konvektif atmosferden kaynaklanan soğuk leke modeli ile açıklanabilir. Böylesi durumlarda, ışıtmaya katkısı daha büyük olan bileşen (ikinci) üzerindeki soğuk leke modeli ile ışık eğrisinin daha iyi modellendiği bilinmektedir. Tüm bu yaklaşımlarla, uygun başlangıç değerleri ile DC programı çalıştırılmış ve çözüme gidilmiştir. Bulunan sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

<b>Çizelge 2</b> FU Draconis'in ışık eğrileri ve dikine hız eğrilerinin eş zamanlı Wilson&Devinney çözüm sonuçları.	
<b>Öge</b>	<b>Değer</b>
$i$ ( $^\circ$ )	80.768( $\pm 241$ )
$q$	3.75395( $\pm 388$ )
$T_1$ (K)	6100
$T_2$ (K)	5830( $\pm 7$ )
$\Omega_1 = \Omega_2$	7.5203( $\pm 74$ )
$a$ ( $R_\odot$ )	2.2114( $\pm 63$ )
$V_\gamma$ (km/s)	-10.80( $\pm 51$ )
Pshift (Evre)	-0.0008( $\pm 2$ )
$L_1/(L_1+L_2)$ (B)	0.2753( $\pm 13$ )
$L_1/(L_1+L_2)$ (V)	0.2693( $\pm 11$ )
$L_1/(L_1+L_2)$ (R)	0.2643( $\pm 10$ )
$L_1/(L_1+L_2)$ (I)	0.2574( $\pm 8$ )
$r_{1(\text{mean})}$	0.2763( $\pm 4$ )
$r_{2(\text{mean})}$	0.5031( $\pm 4$ )
Leke Enlemi ( $^\circ$ )	42.93
Leke Boylamı ( $^\circ$ )	262.60
Leke Yarıçapı ( $^\circ$ )	12.50
Leke Sıcaklık Faktörü ( $T_{\text{Leke}}/T_{\text{Yıldız}}$ )	0.883

Bulunan bu değerlere göre dizgenin kuramsal eğrileri, gözlem noktaları ile birlikte Şekil 4'te gösterilmiştir.



*Şekil 5 FU Draconis'in normalize edilmiş ışıma değerindeki gözlem noktalarına karşılık kuramsal eğrileri.*

Bu çözümleme sonuçlarına göre, dizgenin 0.75 evredeki görünümü Şekil 5'te verilmiştir.

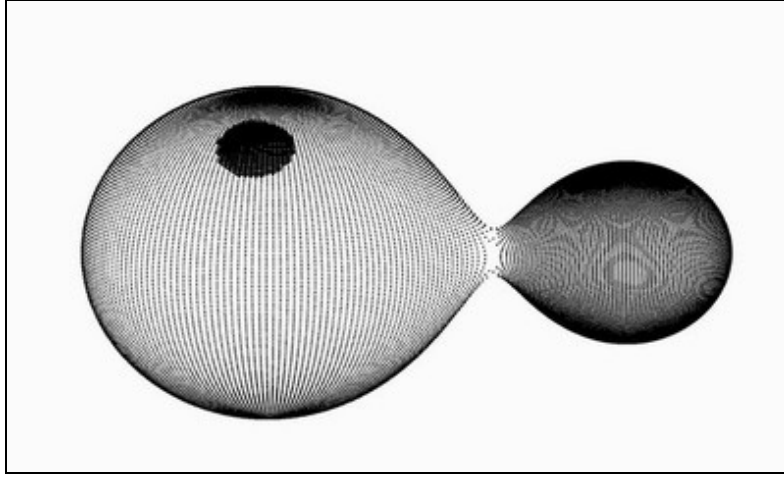
### **5. Sonuçlar ve Tartışma**

Bu çalışmada FU Draconis örten çiftinin dönem değişimi incelenmiş ve ışık eğrisi çözümlemesi yapılmıştır.

Dizgenin dönem değişimini görmek için, literatürdeki Min zamanlar ile gözlemlerden elde edilen Min zamanları birleştirilerek dönem düzeltmesi yapılmış ve güncel öğeler bulunmuştur.

Işık eğrisi çözümlemesi için; 2008 yılında BVRI süzgeçlerinde elde edilen ışık eğrileri, literatürden alınan çift çizgili tayfsal dikine hız eğrileri ile eş zamanlı çözüme sokulmuş ve dizgeye ait fiziksel

öğeler bulunmuştur. Işık eğrilerindeki asimetri, konvektif atmosferden kaynaklanan soğuk leke modeli ile açıklanmıştır.



**Şekil 6** FU Draconis'in 0.75 evredeki genel görünümü.

Dizge yüzey potansiyelinin birinci Roche şişiminden taşma miktarı etkisi (fill-out factor);

$$f = \frac{\Omega - \Omega_{iç}}{\Omega_{dis} - \Omega_{iç}}$$
 eşitliği ile tanımlıdır ve çözümleme sonucunda

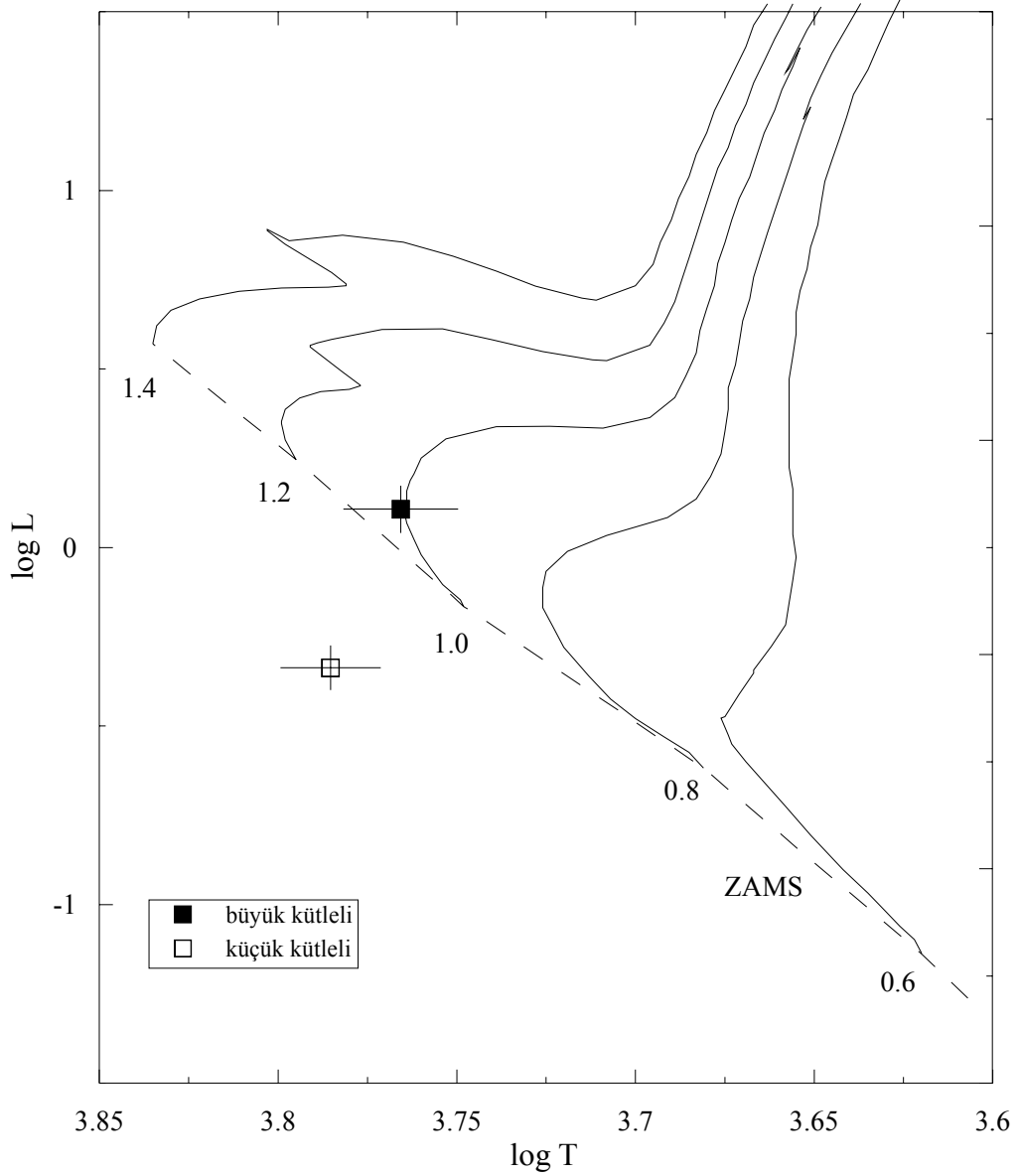
bulunan değerlere göre;  $f=0.1231$  yani taşma etkisi %12'dir.

Dizgeye ait salt öğeleri, WD çözümüyle bulunan öğeler ve temel formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Güneş'e ait  $T_{eff}=5780$  K,  $M_{bol}=4^m.75$  ve  $BC=-0.14$  değerleri Popper (1980)'den, bileşenlere ait bolometrik düzeltmeler  $BC_1=-0^m.05357$  ve  $BC_2=-0^m.06643$  değerleri de Zombeck (2006) tablolarından alınmıştır. Gökada sönümlemesi  $E(B-V)=0^m$  olarak kabul edilmiştir.

<b>Çizelge 3</b> FU Draconis'in salt öğeleri.		
<b>Öge</b>	<b>Birinci Bileşen</b>	<b>İkinci Bileşen</b>
m ( $M_{\odot}$ )	0.325( $\pm 3$ )	1.222( $\pm 12$ )
R ( $R_{\odot}$ )	0.611( $\pm 3$ )	1.112( $\pm 4$ )
L ( $L_{\odot}$ )	0.463( $\pm 65$ )	1.281( $\pm 194$ )
$M_{bol}$	5.59( $\pm 15$ )	4.48( $\pm 16$ )
$M_v$	5.64( $\pm 15$ )	4.55( $\pm 16$ )
$\log g$ ( $cm/s^2$ )	4.38	4.43
d (pc)	180 ( $\pm 14$ )	



Dizgenin, hesaplanan salt ögelerine göre HR çizgesindeki konumları Şekil 6'da gösterilmiştir.



**Şekil 6** *FU Draconis* değişen dizgesinin bileşenlerinin HR çizgesindeki konumları.

Çizgede kesik çizgiyle gösterilen ZAMS (Sıfır Yaş Anakolu) ve evrim yolları, Girardi ve ark. (2000)'nin düşük ve orta kütleli yıldızların evrim yolları çalışmasından alınmış ve dizgenin Güneş kimyasal bolluğunda olduğu kabul edilmiştir. Çizgeden de görüleceği gibi, büyük kütleli bileşenin ısıtması, kendi kütesine göre ( $m_2=1.22 M_{\odot}$ ) kuramsal modelden beklenene göre daha az çıkmaktadır. Buna

karşılık, küçük kütleli bileşenin ısıtması, beklenenden çok daha büyük çıkmaktadır. Bu her ne kadar standart tek yıldız evrimi modellerine ters düşse de, değen çiftlerde bu durum büyük kütleli bileşenden küçük kütleliye enerji transferi ile açıklanabilir. Özellikle küçük kütleli bileşenin sıcaklığındaki bu yüksek değer, tek bir yıldız olma durumundaki sıcaklık değil, fakat dizgenin sahip olduğu ortak zarfın sıcaklığı olduğu şeklinde açıklanabilir. (Hilditch, 2001)

## 6. Kaynaklar

Bakis, V.; Bakis, H.; Erdem, A.; Cicek, C.; Demircan, O.; Budding, E., 2003, IBVS 5464

Diethelm, R., 2006, IBVS 5713

Drozd, M.; Ogloza, W., 2005, IBVS 5623

Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C. 2000, A&AS, 141, 371

Hilditch, R.W. 2001, An Introduction to Close Binary Stars, Cambridge University Press

Hubscher, Joachim, 2007, IBVS 5802

Kaitchuck, R. H.; Hill, R. L.; Corn, A. P.; Gevirtz, J.; Levell, K. L.; Valenti, T. L., 2006, JAVSO, 34, 165

Lee, S.-G., 1984, AJ, 89, 702

Lee, S.-G., 1984, AJ, 89, 720

Luboš Brát, Miloslav Zejda , Petr Svoboda, October 2007, Open European Journal On Variable Stars, ISSN 1801-5964

Lucy, L.B. 1976, ApJ, 205, 208

Nelson, R. H., 2007, IBVS 5760

Parimucha, S.; Vanko, M.; Pribulla, T.; Hambalek, L.; Dubovsky, P.; Baludansky, D.; Petrik, K.; Chrastina, M.; Urbancok, L., 2007, IBVS 5777

Pribulla, T.; Baludansky, D.; Chochol, D.; Chrastina, M.; Parimucha, S.; Petrik, K.; Szasz, G.; Vanko, M.; Zboril, M, 2005, IBVS 5668

Popper, D.M. 1980, ARA&A, 18, 115

Rucinski, Slavek M.; Lu, Wenxian; Mochnacki, Stefan W., 2000, AJ, 120, 1133

Vanko, M.; Pribulla, T.; Chochol, D.; Parimucha, S.; Kim, C. H.; Lee, J. W.; Han, J. Y., 2001, CoSka, 31, 129

Wilson, R.E., Devinney, E.J. 1971, ApJ, 166, 605

Wilson, R.E. 1992, Documentation of Eclipsing Binary Computer Model, Revision of 1992: May, University of Florida

Zejda, Miloslav, 2004, IBVS 5583

Zola, S.; Kreiner, J. M.; Zakrzewski, B.; Kjurkchieva, D. P.; Marchev, D. V.; Baran, A.; Rucinski, S. M.; Ogloza, W.; Siwak, M.; Koziel, D.; Drozd, M.; Pokrzywka, B., 2005, AcA, 55, 389

Zombeck, M. V., 2006, Handbook of Astronomy and Astrophysics 3rd Edition, Cambridge, UK: Cambridge University Press