

GÜNEY YARIMKÜRE'DEN BİR AKTİF YILDIZ: CF TUC

Derya DOĞRU, Ahmet ERDEM

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi, Terzioğlu
Kampüsü, 17040 Çanakkale*

E-posta: dsurgit@comu.edu.tr, aerdem@comu.edu.tr

ÖZET

CF Tuc'un, Mt. John Üniversitesi Gözlemevinde, 2007'de elde edilen tayfları çapraz eşleşme ve KOREL yöntemleri birlikte kullanılarak analiz edilmiş, radyal hız eğrisi oluşturularak yörünge elemanları bulunmuş ve yörünge çözümünden sistemin tayfsal kütle oranı 1.123 olarak belirlenmiştir. Fotometrik analizin ilk aşamasında, sistemin yörünge dönemi, O-C diyagramı kullanılarak incelenmiş ve yörünge döneminin parabol+sinüs yapılı bir değişim gösterdiği bulunmuştur. Parabolik değişim, korunumlu kütle aktarımıyla açıklanırken; sinüslü değişimde üçüncü cisim nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisinin ve Applegate mekanizmasının rolü tartışılmıştır. Bu çalışmada elde edilen dikine hız eğrileri ile Innis ve ark. (2008) tarafından verilen *BV* ışık eğrileri, Wilson-Devinney programı kullanılarak, eşzamanlı çözümlenmiş ve sistemin mutlak parametreleri hesaplanmıştır. Sistemin ışık eğrilerinin maksimumları geniş asimetriler göstermektedir. Bu asimetrilerin soğuk bileşen üzerindeki leke veya lekelerden kaynaklanabileceği düşünülerek lekenin enlem, boylam ve yarıçapı belirlenmiştir. Sistemin bileşenlerinin HR diyagramında konumları işaretlenerek evrim durumu da tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: *Yıldızlar: çift yıldızlar – aktivite – yıldız lekeleri — ışıkölçüm – tayf*

ABSTRACT

CF Tuc was observed at the Mt John University Observatory in 2007 by spectroscopically. The spectra were analyzed with using the cross-correlation and KOREL methods. As a result of analysis, radial velocity curves were obtained, and then orbital elements of CF Tuc were found. According to the solution of radial velocity curves, the spectroscopic mass ratio of system was determined as $q=1.123$. We also studied the orbital period of the system by using its O-C diagram and found that its orbital period has a variation with the structure of parabola+sinus. The parabolic variation was explained in term of conservative mass transfer. The sinusoidal variation was discussed under the mechanisms of Applegate and the light-time effect due to a third body in the system. Our radial velocity curves and BV light curves, which are given by Innis et al (2008), were solved simultaneously by using Wilson-Devinney algorithm. Then, the absolute parameters of the system were determined. The maximums of the light curves show large asymmetries. Thinking that these asymmetries could be caused by stellar spot or spots on the cooler component, spot parameters such as latitude, longitude and radius of the spot on the cooler component were obtained. Plotting the positions of the components of system on the HR diagram, the evolution of the system was also discussed.

Keywords: *Stars: binaries – activity – starspots – photometric – spectroscopic*

1. GİRİŞ

CF Tuc ilk olarak Strohmeier, Knigge ve Ott (1965) tarafından Bamberg değişen yıldız (BV 625) olarak listelenmiş ve genliği $A_{pg}=0.3$ mag olarak belirlenmiştir. Daha sonra sistem ilk olarak (Hearnshaw ve Oliver, 1977) tarafından bir RS CVn türü yıldız olarak kaydedilmiştir. Güçlü CaII H ve K salmalarının varlığı ilk olarak (Bidelman ve MacConnell, 1973; Houk ve Cowley, 1975) tarafından

bulunmuş ve tayf türü G2/5V+F0 olarak belirlenmiştir. Sisteme ilişkin ilk tayfsal gözlemler Mt John Gözlemevinde 61 cm Boller ve Chivens teleskobuyla yapılmış ve dikine hız verileri Collier ve ark. (1981) tarafından elde edilmiş ve dikine hız verilerinden sistemin yörünge dönemi 2.798 ± 0.001 gün olarak belirlenmiştir.

Sisteme ilişkin temel parametreler ve leke modellemeleri birçok yazar tarafından kaydedilmiştir (Coates ve ark., 1983, Budding ve McLaughlin, 1987; Budding ve Zeilik, 1995; Cutispoto ve Leto, 1997; Anders ve ark., 1999). CF Tuc' un yörünge dönemi değişimi ilk olarak Thompson ve ark. (1991) tarafından kaydedilmiştir. Daha sonra Anders ve ark. (1999) ve Innis ve ark. (2003, 2007) çalışmalarında yörünge dönemi değişimini tekrar ele almışlardır.

Slee ve ark. (1987), CF Tuc'un aktif radyo kaynaklarına sahip olduğunu bulmuşlardır. Sisteme ilişkin ilk X-ışını gözlemleri Drake ve ark. (1992) tarafından yapılmıştır. Yıldız, ROSAT (EUV) Bright Source Catalogue (Pounds ve ark., 1993)'unda listelenmiş olup; yıldızın ROSAT'ın gözlemlerinde büyük parlamalar (flare)'ın gösterdiği Kürster (1994) tarafından kaydedilmiştir. Ayrıca Dempsey ve ark. (1993) ve Gunn ve ark. (1997) çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

2. GÖZLEMLER ve VERİ ANALİZİ

2.1 Tayfsal Gözlemler ve Veri İndirgemesi

CF Tuc'un tayfsal gözlemleri 2007 yaz döneminde Yeni Zellanda Mt John Üniversitesi Gözlemevinde 1m McLennan teleskobuna bağlı HERCULES (**H**igh **E**fficiency and **R**esolution **C**anterbury **U**niversity **L**arge **E**chelle **S**pectrograph) tayfçekerini ile yapılmıştır. Bu tayfçeker, dalgaboyu aralığı 380nm ile 900nm olup 100 tayf dizisi elde edilecek şekilde tasarlanmış olup $R=41000$ ve $R=70000$ olmak üzere iki farklı yüksek çözümleme gücünde gözlem yapılabilmektedir. Gözlemin yapılacağı çözünürlük gücüne, farklı boyutlardaki üç fiber kablonun seçimine göre karar verilmektedir. $R=41000$ çözünürlük gücü için içinde yarık olmayan 100 μm boyutlu Fiber 1 olarak adlandırılmış fiber kablo kullanılmaktadır. Bu fiber çekirdeğinin gökyüzü üzerine düşürülmüş izdüşümünün açıl

büyüklüğü ($\theta \sim 4.5''$) olup MJUO'de yaklaşık $3.5''$ olarak belirtilen (Hearnshaw ve ark., 2002) görüş açısından küçük olmadığından gözlemlerde, istenilen sinyalin istenilen zamanda alınabilmesi için Fiber-1 kullanılmıştır. $R=70000$ için Fiber 2 ve Fiber 3 seçilmektedir fakat bunun için çok daha iyi hava koşulları ($\theta \sim 2''$) gerekmektedir. Gözlemler sırasında dedektör olarak 4kx4k Spectral Instruments 600 series (SI600s) CCD kamerası kullanılmıştır. Gözlemler, (06.09.2007 - 04.10.2007) tarihleri arasında yapılmış ve 10 gecede 24 adet tayf elde edilmiştir. Gözlemlerde verilen poz süresi yaklaşık (1100-1800) sn arasında hava şartlarına göre değişmektedir. Gözlemler sırasında her bir yıldız görüntüsünün öncesi ve sonrasında toryum-argon lambası, mukayese tayfi olarak alınırken; flat düzeltmesi için, her gece beyaz ışık görüntüsü de alınmıştır. Yapılan gözlemlerle ilgili bilgiler Çizelge 1'de verilmiştir. Gözlemlerin indirgenmesinde Canterbury Üniversitesi Fizik ve Astronomi Bölümü'nde geliştirilen Hercules İndirgeme Yazılım Paketi (HRSP) kullanılmıştır (Skuljan, 2007).

Çizelge 1. CF Tuc'un tayfsal gözlemleri ile ilgili bilgiler.

No	Görüntü	Tarih	HJD	UT	Poz Süresi(s)
1	w4350022	060907	54349.98652	11:25:10.7	1509
2	w4350030	060907	54350.03238	12:33:36.1	1223
3	w4350053	060907	54350.23328	17:33:04.9	1322
4	w4351012	070907	54350.89945	09:22:52.5	1144
5	w4351014	070907	54350.91536	09:46:48.4	1021
6	w4352010	080907	54351.90655	09:30:09.4	1500
7	w4352019	080907	54351.96099	10:48:32.7	1500
8	w4352022	080907	54351.98189	11:21:09.4	1200
9	w4353002	090907	54352.86856	08:35:29.2	1500
10	w4354017	100907	54353.93546	10:13:31.8	1300
11	w4354019	100907	54353.95324	10:39:08.4	1300
12	w4354037	100907	54354.10935	14:23:56.0	1300
13	w4354039	100907	54354.12710	14:49:30.7	1300
14	W4356003	120907	54355.85715	08:18:20.0	1600
15	W4356005	120907	54355.87984	08:50:11.0	1700
16	W4356018	120907	54355.99775	11:41:38.4	1500
17	W4356028	120907	54356.07125	13:27:29.1	1500
18	W4356030	120907	54356.09149	13:56:38.5	1500
19	W4363011	190907	54362.85380	08:13:49.3	1600
20	W4363027	190907	54362.93923	10:14:20.1	1900

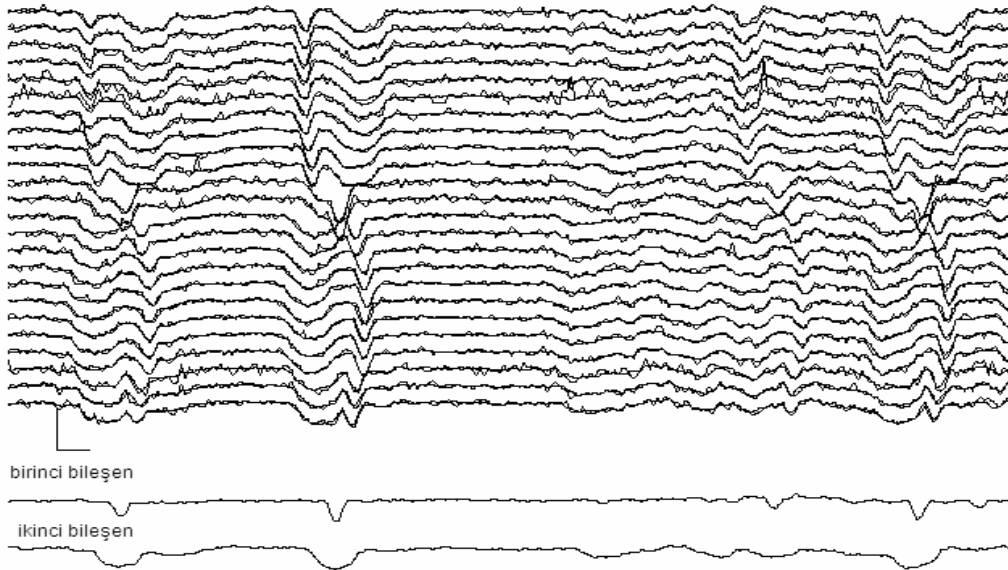
21	W4363029	190907	54362.96309	10:49:56.6	1750
22	W4377014	031007	54376.89666	09:12:02.8	2100
23	W4377022	031007	54376.96563	10:50:31.7	2200
24	W4378016	041007	54377.94931	10:27:55.1	2100

2.2 Tayfsal Veri Analizi ve Yörünge Çözümü

Dikine hızların ölçümü, dalga kalibrasyonu ve normalizasyonu yapılan tayflara çapraz eşleşme (cross-correlation) ve Fourier ayıklama (Fourier disentangling, KOREL, Hadrava, 2004) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır. İki farklı yöntemin kullanılması, yapılan ölçümlerin denetlenmesine ve elde edilen yörünge çözümünün daha duyarlı olmasına olanak verir. Ölçümlerde, her iki bileşenin çizgi kesitlerinin net olarak görüldüğü 85, 88, 97 ve 110 nolu tayf dizileri kullanılmıştır. İlgili tayf dizilerinde sırasıyla 85 nolu tayf dizisinde (Si II 6660.52 A°, Si II 6665.0 A°, Fe I 6677.989 A°, He I 6678.15 A° ve Si II 6717.04), 88 nolu tayf dizisinde (Fe I 6430.844 A°, Ca I 6439.075 A°, Ca I 6449.81 A°, Ca II 6456.87 A°, Ca I 6462.57 A°), 97 nolu tayf dizisinde (Na I (D2) 5892 A° ve Na I (D1) 5898 A°) ve 110 nolu tayf dizisinde (Mg I 5174.13 A°, Fe I 5168.897 A°, Fe II 5169.03 A°, 5171.595 A°, Mg I 5172.6843 ve Mg I 5174.13 A°) soğurma çizgileri kullanılmıştır. Seçilen her bir tayf dizisinden (85, 88, 97 ve 110) IRAF paketi içinde yer alan FXCOR programı kullanılarak Çapraz Eşleme Yöntemi ile dikine hızlar okunmuştur. Bu yöntem yıldızın tayf çizgilerine seçilen mukayese tayfinin eşleştirilmesine dayanmaktadır. Böylece en iyi uyumu veren eşleşme fonksiyonuna (CCF) gauss fiti yapılarak dikine hızlar okunmaktadır. Bu yöntem ile okunan dikine hız verileri kullanılarak yörünge parametrelerinin elde edilmesinde Teodor Pribulla tarafından geliştirilen elemr2.exe (Win/Dos versiyonu) yazılımı kullanılmıştır. Böylece Çapraz Eşleme Yöntemiyle bulunan hızların analizinden belirlenen yörünge parametreleri, KOREL programına girdi parametreleri olarak uygulanmıştır. KOREL, Petr Hadrava (1995, 2004) tarafından Fortran dilinde yazılmış bir çizgi kesitindeki çift ya da maksimum beş yıldız bileşenlerinin akı katkılarının Fourier analiziyle ayrıştırılmasına dayanan bir programdır. Ayrıştırılan her bileşen çizgisinin Doppler kayması, çiftin yörünge parametrelerinden

belirlenen değerlere göre hesaplanmakta ve dikine hız bulunmaktadır. Böylece program aynı anda dikine hızları bulurken yörünge çözümü de yapmaktadır.

CF Tuc'un dikine hız verilerinin elde edilmesinde KOREL yöntemi (Hadrava 1995, 2004) ve cross correlation (çapraz eşleme) yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Sonuç olarak eşzamanlı çözüm için kullanılan dikine hızlar bu iki yöntemden elde edilen değerlerin ortalamasıdır. Seçilen tayf dizilerinden $6640 \text{ \AA} - 6740 \text{ \AA}$ aralığını kapsayan 85 nolu tayf dizisine yapılan KOREL fitleri ve bileşenlere ait ayrıştırılmış tayflar örnek olarak Şekil 1'de gösterilmektedir. Ortak çözümden elde edilen CF Tuc sisteminin tayfsal yörünge parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 1. $6640 \text{ \AA} - 6740 \text{ \AA}$ aralığını kapsayan 85 nolu tayf dizisine yapılan KOREL fitleri ve bileşenlere ait ayrıştırılmış tayflar.

Çizelge 2. CF Tuc'un Yörünge Parametreleri

Parametre	Değer
Period (days)	2.79747743(sbt)
e	0(sbt)
W(deg)	1.57079630(sbt)
T ₀ (HJD)	54327.0668(14)
V _{gamma} (km/sn)	9.61(17)
q	1.123(12)
K ₁ (km/sn)	98.47(31)
K ₂ (km/sn)	87.68(31)
a ₁ sini (AU)	0.0253(1)
a ₂ sini (AU)	0.0225(1)
m ₁ sini (sun)	0.881(7)
m ₂ sini (sun)	0.989(7)

2.3 Yörünge Dönemi Analizi

Innis ve ark. (2008)'ndan özel haberleşmeyle alınan 2007 BV fotometrik gözlemlerden bir minimum zamanı hesaplanmış ve literatürdeki diğer minimum zamanlarıyla birleştirilerek Innis ve ark. (2003)'dan verilen aşağıdaki başlangıç ışık elemanlarıyla O-C diyagramı oluşturulmuştur.

$$HJD_{\min} = 244219.2705 + 2^d \cdot 797715x E$$

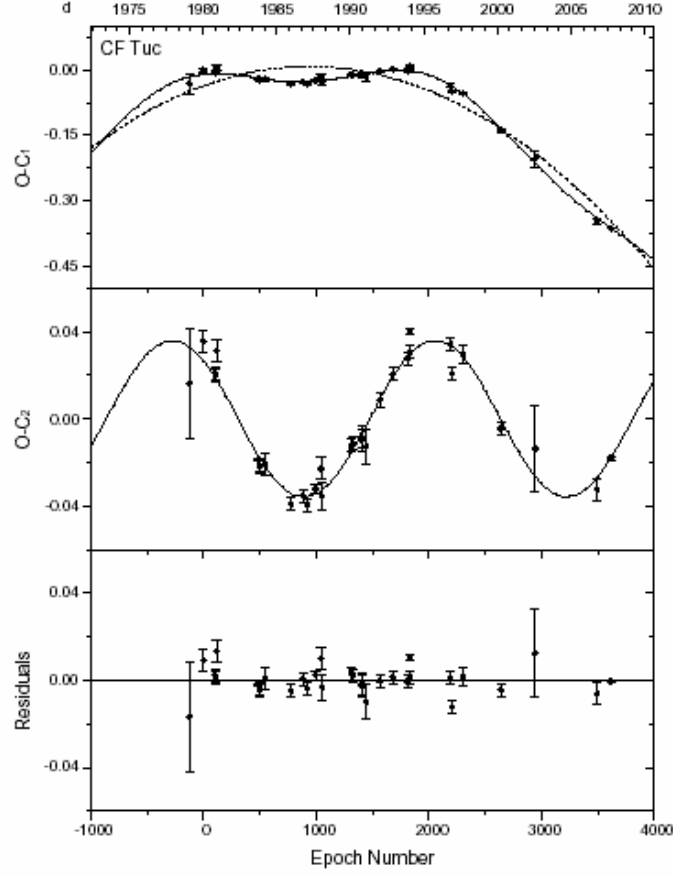
(1)

Sistemin O-C diyagramı, CF Tuc'un yörünge döneminin parabol+sinüs yapısında bir değişime sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, O-C diyagramı;

$$HJD_{\min} = T_0 + P E + Q E^2 + A_s \sin \left[2\pi \frac{E - T_s}{P_s} \right] \quad (2)$$

denklemleri ile modellenmiştir (bkz Şekil 2). Burada ilk üç terim parabolik değişimi, sonraki terimler ise çevrimli yapıyı temsil etmektedir ki; A_s , P_s ve T_s , sinüslü değişimin sırasıyla genliğini,

dönemini ve değişimin minimum zamanını göstermektedir. Modelleme sonuçları Çizelge 3’de gösterilmektedir.



Şekil 2. CF Tuc’un O-C diyagramı ve modellemesi

Çizelge 3. CF Tuc’un O-C modellemesi sonucu bulunan parametreler

Parametre	Değer	Standart hata
T_0 (HJD)	2444219.2346	± 0.0058
P (gün)	2.797808	± 0.000007696
Q (gün)	-4.9E-08	$\pm 2.03E-09$
A_s (gün)	0.0358	± 0.0018
P_s (yıl)	17.87	± 0.58
T_s (gün)	2430385	± 612

Çizelge 3'deki Q karesel terimin katsayısı, CF Tuc'un yörünge döneminin yılda 1.11 s azaldığı belirtmektedir. Bu dönem değişiminden büyük kütleli, büyük yarıçaplı, soğuk bileşenin küçük kütleli, küçük yarıçaplı, sıcak bileşenine, Roche lobunu doldurmadığı için muhtemelen manyetik rüzgarlarla korunumlu kütle aktarımı yaptığı sorumlu tutulursa; bu aktif bileşenin aktardığı kütle, $1.48 \times 10^{-5} m_{\odot}$ /yıl olarak bulunur. Eğer CF Tuc'un O-C diyagramında görülen bu çevrimsel yapının sistemin yörünge dönemindeki bir görünür değişimden kaynaklandığı varsayılırsa; değişime neden olan mekanizma için sistemde görülemeyen bir üçüncü cisim varlığıyla oluşan ışık-zaman etkisi gözönüne alınabilir. Dolayısıyla, ışık-zaman denklemleri kullanılarak olası üçüncü cisim için bulunan minimum kütle; $2.60 m_{\odot}$, sistemden minimum uzaklığı 6.20 AU (yada açısal ayrıklığı 77.5 mas)'dur. Eğer O-C diyagramında görülen bu çevrimsel yapının sistemin yörünge dönemindeki bir gerçek değişimden kaynaklandığı varsayılırsa; değişime neden olan mekanizma için Applegate (1992)'in manyetik aktivite mekanizması ele alınabilir. CF Tuc, aktivitesi iyi bilinen bir RS CVn çift yıldızıdır ve literatürdeki çalışmaların hepsinde, ışık eğrilerinde gözlenen asimetrilere soğuk bileşen sorumlu tutulmuştur. Applegate mekanizmasına göre, soğuk bileşenin manyetik aktivitesi sonucu oluşan dönme dönemindeki değişimler, çiftin dönme-yörünge dönemleri kilitlemesi (eşdönme kilidi) sonucu yörünge dönemine yansır. Dolayısıyla; Applegate'in verdiği denklemlere göre, bu değişime yol açan soğuk bileşenin yüzeyaltı manyetik alanı, 11.8 kGauss gibi yüksek değerde çıkmaktadır. Bu mekanizmanın geçerliğinde görülen tek olumsuzluk, sözkonusu değişimlerin verdiği RMS ışıltma değişiminin $12 L_{\odot}$ gibi anlamsız derecede yüksek çıkmasıdır. Sonuç olarak, CF Tuc'un yörünge dönemindeki çevrimsel değişimden üçüncü cisim nedeniyle oluşan ışık-zaman etkisi sorumlu gözükmektedir.

2.4 Işık ve Dikine Hız Eğrilerinin Eşzamanlı Çözümü

CF Tuc'un bu çalışmada elde edilen dikine hız eğrileri ile John Innis ve ark. (2008, özel haberleşme)'nin 2007 yaz döneminde Brightwater Gözlemevinde 70 mm'lik teleskop ve buna takılı S-BIG

ST7E CCD kamerası ile B ve V filtrelerinde yapmış oldukları fotometrik gözlemler birleştirilerek eş zamanlı çözüm yapılmıştır. Çözümlerde Wilson-Devinney yönteminin (WD: Wilson ve Devinney, 1973) 1992 versiyonu kullanılmıştır. WD yönteminde, çoğu fit programında olduğu gibi, bazı parametreler kuramsal model ve çalışmalardan tahmin edilerek sabit alınır. Dolayısıyla sabit alınan parametreler: Baş bileşenin sıcaklığı, Anders ve ark. (1999)'nın ve Budding ve McLaughlin (1987)'nin fotometrik çözümlerinden 6100 K olarak seçilmiştir ki bu değer, aynı zamanda Collier (1982) ve Cutispoto ve Leto (1997) tarafından sistem için belirlenen renk ölçeklerine uygun düşmektedir. Kenar kararına için lineer olmayan kenar kararına katsayıları, Diaz-Cordoves ve ark. (1995)'nin ve Claret ve ark. (1995)'nin verdiği çizelgelerden alınmıştır. Bolometrik yansıma (albedo) katsayıları, Rucinski (1969)'nin konvektif zarflar için verdiği 0.5 değerine, bolometrik çekim kararına katsayıları ise Lucy (1967)'nin konvektif zarflar için verdiği 0.32 değerine eşitlenmiştir. Sistemin bileşenlerinin eşdönme yaptıkları ve yörüngenin çembersel yörünge olduğu kabul edilmiştir. Çözümde serbest bırakılan parametreler ise; görelî yörüngenin yarı-büyük eksen uzunluğu a , evre kayması *Phaseshift*, çift sistemin kütle merkezine dikine hızı V_{γ} , çiftin yörüngesinin gökyüzü düzlemine olan eğikliği i , ikinci bileşenin akı ağırlıklı ortalama yüzey sıcaklığı T_2 , bileşenlerin boyutsuz normalize yüzey potansiyeli Ω_1 ve Ω_2 , birinci bileşenin kesirsel tek renk ışıması L_{IB} ve L_{IV} alınmıştır. Sistemin kütle oranı için, bu çalışmadaki tayfsal gözlemlerden elde edilen 1.123 değeri programa girdi değeri olarak alınmış ve bu parametre de serbest bırakılmıştır. Sistemin yörünge dönemi analizinde tartışılan üçüncü cisim olasılığı nedeniyle, üçüncü ışık katkısı (I_3), WD programı çalıştırılırken, serbest bırakılmış ancak iterasyonlarda fiziksel olarak anlamsız biçimde negatif değerlere gitmesinden dolayı, çözümün sonraki aşamalarında dikkate alınmamıştır. Dikine hız ve *BV* ışık eğrilerinin eşzamanlı analizinde kullanılan WD programının 1992 versiyonu, her bir iterasyonda değişen sıcaklığa göre kenar kararına katsayılarını hesaplayarak gözönüne alacak şekilde modifiye edilmiştir (Zola, 2006, özel haberleşme). Program, ayrıca, maksimum 15 iterasyon yapacak şekilde düzenlenmiştir ki burada serbest bırakılan parametrelere hesaplanan düzeltmeler otomatik olarak

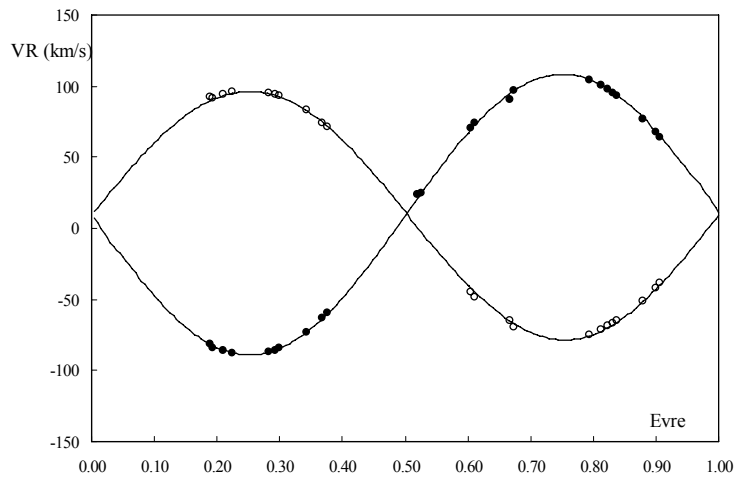
eklenip/çıkartılıp girdi parametreleri tekrar oluşturulur. Program, iterasyonları yaparken, serbest bırakılan parametreler için hesaplanan standart hatalar, gerekli düzeltme miktarlarından büyük olduğunda iterasyonu otomatik olarak bitirir ve sonuç bulunur. Bu çalışma düzeninde WD programı uygulanmış ve eşzamanlı çözümden elde edilen sonuçlar, Çizelge 4'te, verilmekte ve gözlemlerle teorik eğrilerin karşılaştırılması Şekil 3'te gösterilmektedir.

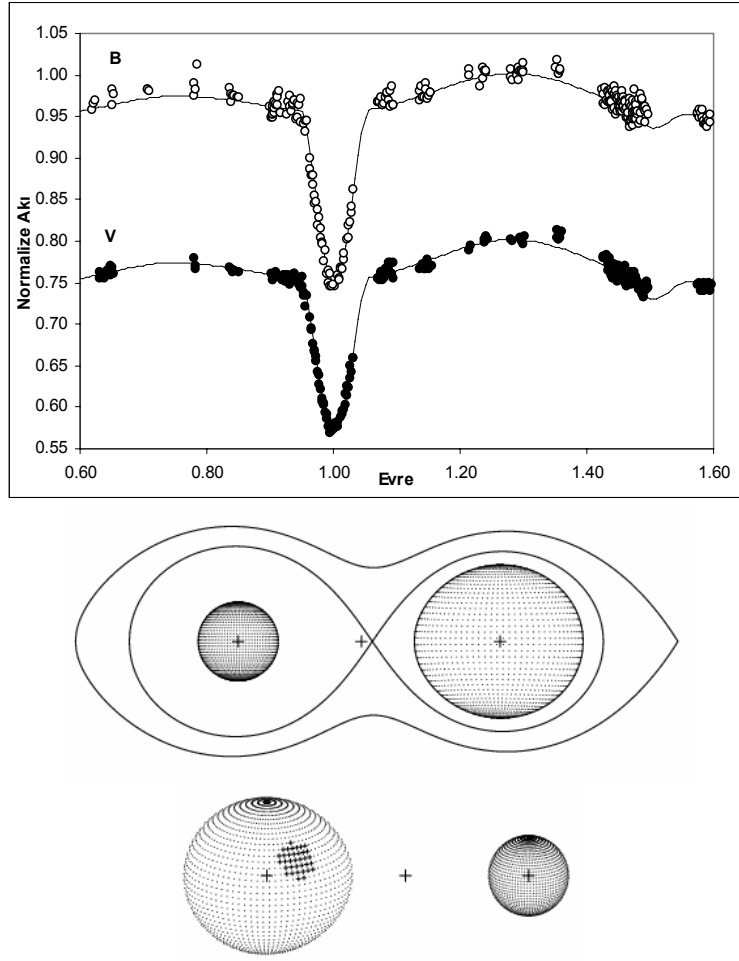
3. SONUÇ ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Güney Yarımküre'den bir aktif çift yıldız CF Tuc, modern tekniklerle tayfsal olarak yeniden gözlenmiş; elde edilen tayflar Çapraz Eşleme Yöntemi ve KOREL Programı kullanılarak çalışılmış ve böylece bileşenlerin dikine hız eğrileri çıkarılmıştır. İlk olarak dikine hız eğrilerinden sistemin tayfsal yörünge parametreleri bulunmuştur. Sistemin yörünge dönemi analizi için literatürden minimum zamanları toplanarak $O-C$ değişimine bakılmış ve sistemin yörünge döneminin parabol+sinüslü yapıda değiştiği belirlenmiştir. Parabolik yapının sistemin yörünge döneminde 1.11 yıl/s oranında azalmaya yol açtığı hesaplanırken bu değişimden soğuk ve aktif bileşendeki manyetik rüzgarların sorumlu olabileceği önerilmiştir. Sinüslü yapı, ışık-zaman etkisi ve Applegate mekanizması altında tartışılmış ve ışık-zaman etkisinin daha olası olduğu vurgulanmıştır.

Çizelge 4. CF Tuc'un dikine hız ve BV ışık eğrilerinin eşzamanlı çözümü sonuçları.

Parametre	Değeri
$a (R_{\odot})$	10.94(5)
$V\gamma (km/s)$	9.65(30)
Phaseshift	0.0015(1)
$q (m_2/m_1)$	1.126(4)
$i (derece)$	70.25(8)
$T_1 (K)$	6100(200)
$T_2 (K)$	4295(219)
Ω_1	8.350(58)
Ω_2	4.473(8)
$l_1/l_{12} B$	0.585(8)
$l_1/l_{12} V$	0.523(7)
$r_1 (mean)$	0.139(1)
$r_2 (mean)$	0.325(1)
Leke Parametreleri	
Enlem(derece)	61.20(10)
Boylam(derece)	296.50(3)
Yarıçap	14.10(2)
Sıcaklık Faktörü	0.75
$\Sigma W(O-C)^2 -RV1$	0.00013
$\Sigma W(O-C)^2 -RV2$	0.00016
$\Sigma W(O-C)^2 -B$	0.00555
$\Sigma W(O-C)^2 -V$	0.00319





Şekil 3. CF Tuc'un WD yöntemi eşzamanlı çözümü. Üst panelde gözlemsel dikine hız noktalarının orta panelde gözlemsel BV ışık eğrilerinin kuramsal eğrilerle karşılaştırılması verilmektedir. Üst panelde içi dolu daireler, baş bileşeni; içi boş daireler, yoldaş bileşeni göstermektedir. Alt panelde sistemin Roche geometrisi ve soğuk (geniş) bileşen üzerinde leke modelini gösteren üç boyutlu konfigürasyon yer almaktadır.

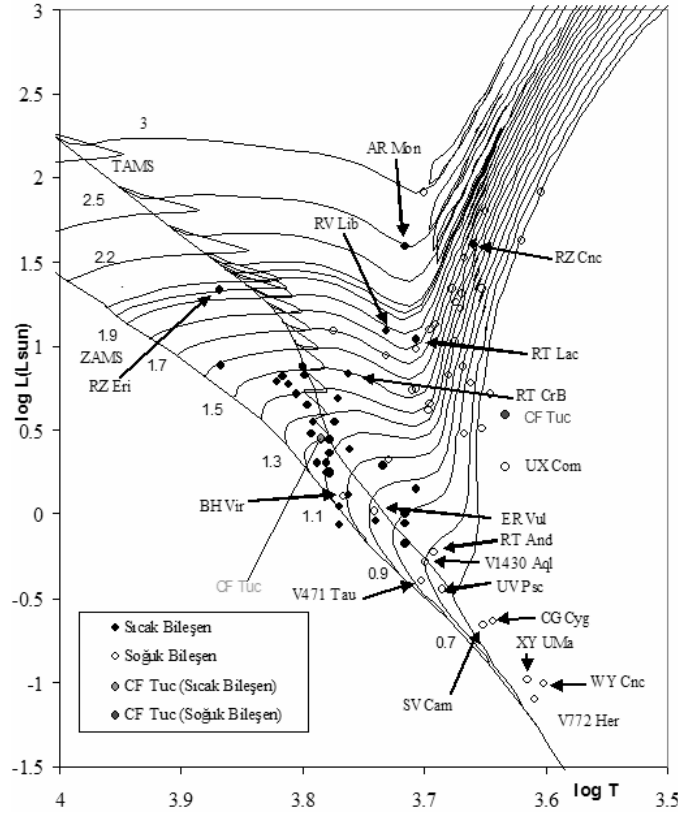
Bu çalışmada elde edilen dikine hız ve Innis ve ark. (2008, özel haberleşme)'nin 2007 BV ışık eğrileri, WD 1992 programı kullanılarak eşzamanlı çözülmüştür. Innis ve ark.'nin BV ışık eğrileri, sistemin literatürde yayınlanan ışık eğrilerine benzer olarak, özellikle maksimum ışık düzeylerinde geniş asimetri göstermektedir. Bu asimetri, ışık eğrisi çözümünde, RS CVnlerin genel özelliğine dayanılarak, büyük kütleli, evrim durumunda ileri olan ancak diğer bileşeninden daha soğuk olan (belki de konvektif genişleme sırasında soğuyan) bileşenin yüzeyi üzerine büyük ve soğuk leke modeliyle açıklanmıştır. Sonuçlar, Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu diyagramda,

sistemin Roche geometrisi de sunulmuştur. Roche eşpotansiyel yüzey modeline göre, sistemin büyük kütleli ve soğuk olan ikinci bileşenin kendi Roche lobunu ~%90 oranında doldurduğu göze çarpmaktadır.

Eşzamanlı çözüm, sistemin mutlak parametrelerini hesaplamaya olanak tanımaktadır. Böylece, hesaplanan mutlak parametreler, hatalarıyla birlikte, Çizelge 5'te verilmektedir. Bu parametrelerin hesabı için güneş değerleri $T_{\text{eff}} = 5780 \text{ K}$, $M_{\text{bol}} = 4^{\text{m}}.75$ ve $BC = -0^{\text{m}}.14$ olarak alınmıştır. Sistemin bileşenleri için bolometrik düzeltmeler, Zombeck (1990) tarafından verilen çizelgeler kullanılmıştır. Schlegel ve ark. (1998) tarafından verilen yöntemle göre renk artığı $E(B-V) = 0.037$ olarak bulunmuştur. Böylece, yıldızın uzaklık hesabında, $A_V = 3.1E(B-V)$ biçiminde yıldızlararası galaktik soğurma kullanılırsa; uzaklık modülü, bu çalışmada elde edilen çözüm sonuçlarına göre sistemin uzaklığını, $80 \pm 5 \text{ pc}$ olarak verir. Öte yandan, Hipparcos Katalogunda uzaklık değeri 86 pc olarak gözükmektedir.

Çizelge 5. CF Tuc'un bileşenlerinin salt parametreleri

Parametre	Baş Yıldız	Yoldaş Yıldız
$M(m_{\odot})$	1.06(1)	1.19(1)
$R(R_{\odot})$	1.52(1)	3.56(1)
$\log g(\text{cgs})$	4.10(1)	3.41(1)
$T(\text{K})$	6100(200)	4295(219)
M_{bol}	3.61(16)	3.28(23)
M_V	3.66(16)	4.06(22)
$L(L_{\odot})$	2.85(41)	3.87(77)
$d(\text{pc})$		80(5)
$M_V(\text{sistem})$		3.09(24)



Şekil 4. CF Tuc ve literatürden güvenilir biçimde parametreleri hesaplanan diğer RS CVn çiftlerinin bileşenlerinin HR diyagramındaki konumları. Evrim çizgileri (sürekli çizgiler), Güneş'in kimyasal kompozisyonuna göre, Girardi ve ark. (2000)'dan alınmıştır. ZAMS'daki sayılar, evrim çizgileri için başlangıç kütlelerini göstermektedir.

Sistemin evrim durumunu görmek için bileşenlerin HR diyagramındaki konumları, Şekil 4'te işaretlenmiştir. Bu diyagramda diğer RS CVn türü çift sistemlerle bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla bileşenlerin salt parametreleri dikine hız ve ışık eğrilerinin eşzamanlı çözümlerinden güvenilir biçimde bulunan tüm RS CVn'ler de işaretlenmiştir. Görüldüğü gibi, CF Tuc aktif çift yıldızı, diğer RS CVn çift yıldızlarına benzer biçimde, evrimde daha ileri safhada bulunan büyük kütleli ancak soğuk bileşene ve evrimde ancak anakol evrimini tamamlamak üzere (yani TAMSA yakın) bir sıcak bileşene sahiptir.

Kaynaklar

- Anders, G.J., Coates, D.W., Thompson, K., Innis, J.L. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1999, 310, 377-386
- Bidelman, W. P., Mac Connell, D. J., *Astronomical Journal*, 1973, 78, 687
- Budding, E., McLaughlin, E., *Astrophysics and Space Science*, 1987, 133, 45
- Budding, E., Zeilik, M., *Astrophysics and Space Science*, 1995, 232, 355
- Claret, A., Diaz-Cordoves, J., Gimenez, A., 1995, “Linear and non-linear limb-darkening coefficients for the photometric bands R I J H K”, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 114, 247
- Coates, D. W., Halprin, L., Sartori, P., Thompson, K., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1983, 202, 427
- Collier, A. C., Hearnshaw, J. B., Austin, R. R. D., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1981, 197, 769
- Cutispoto, G., Leto, G., *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 1997, 121, 369
- Dempsey, Robert C., Linsky, Jeffrey L., Schmitt, J. H. M. M., Fleming, T. A., *Astrophysical Journal*, 1993, 413, 333-338
- Diaz-Cordoves, J., Claret, A., Gimenez, A., 1995, “Linear and non-linear limb-darkening coefficients for LTE model atmospheres”, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 110, 329
- Drake, Stephen A.; Simon, Theodore; Linsky, Jeffrey L. *Astrophysical Journal Supplement Series*, 1992, 311, 321
- Girardi, L., Bressan, A., Bertelli, G., Chiosi, C. (2000), “Evolutionary tracks and isochrones for low- and intermediate-mass stars: From 0.15 to 7 M_{sun} , and from $Z=0.0004$ to 0.03”, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 141, 371-383
- Gunn, A. G., Migenes, V., Doyle, J. G., Spencer, R. E., Mathioudakis, M., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1997, 287, 199-210
- Hadrava, P., 1995, “Orbital elements of multiple spectroscopic stars”, *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 114, 393-396
- Hadrava, P., 2004, “FOTEL 4 - User's guide”, *Publications of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic*, 92, 1-14
- Hearnshaw, J.B., Oliver, J. P., *Information Bulletin on Variable Stars*, 1977, 1342, 1
- Hearnshaw, J. B., Barnes, S. I., Kershaw, G. M., Frost, N., Graham, G., Ritchie, R., Nankivell, G. R., 2002, “The Hercules Échelle Spectrograph at Mt. John”, *Experimental Astronomy*, 13, 59-76

- Houk, N., Cowley, A. P., *Michigan Spectral Catalogue, vol. I, University of Michigan*, 1975
- Innis, J. L., Coates, D. W., Thompson, K., Thompson, R., *Information Bulletin on Variable Stars*, 2003, 5444, 1
- Innis, J. L., Coates, D. W., Kaye, T. G., *Open European Journal on Variable Stars*, 2007, 65, 1
- Kürster, M., *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun, 8-th Cambridge Workshop; ASP Conf. Series*, 1994, 64, 104
- Lucy, L. B. (1967), “Gravity-Darkening for Stars with Convective Envelopes”, *Zeitschrift für Astrophysik*, 65, 89
- Pounds, K. ve ark., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1993, 260, 77
- Rucinski, S. M. (1969), “The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes”, *Acta Astronomica*, 19, 245
- Schlegel, David J., Finkbeiner, Douglas P., Davis, Marc, 1998, “Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds”, *Astrophysical Journal*, 500, 525
- Skuljan, J., 2007, “HRSP Hercules Reduction Software Package”
- Slee, O. B., Nelson, G. J., Stewart, R. T., Wright, A. E., Innis, J. L., Ryan, S. G., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 1987, 229, 659-677
- Strohmeier, W., Knigge, R., Ott, H., *Information Bulletin on Variable Stars*, 1965, 100, 1
- Pribulla, T. “elemdr2.exe”, <http://www.astro.sk/~pribulla/>
- Thompson, K., Coates, D. W., Anders, G. *PASAu*, 1991, 9, 283
- Wilson, R. E., Devinney, E. J. (1971), “Realization of Accurate Close-Binary Light Curves: Application to MR Cygni”, *Astrophysical Journal*, 166, 605
- Zombeck, M. V. (1990), “*Handbook of Astronomy and Astrophysics*”, Second Edition, Cambridge, UK: Cambridge University Press.