

RS CV_n TÜRÜ ÇİFT YILDIZLAR V2075 CYG VE FG UMa’NIN ÇOK RENK IŞIKÖLÇÜMÜ

**Caner ÇİÇEK, Ahmet ERDEM, Hicran BAKIŞ, Esin
SOYDUGAN, Derya DOĞRU, Mehmet TÜYSÜZ, Yasemin
KAÇAR, Ali DÖNMEZ, Faruk SOYDUGAN ve S. Serkan
DOĞRU**

*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevi,
17040 Terzioğlu Kampüsü, Çanakkale
E-Mail: ccicek@comu.edu.tr, aerdem@comu.edu.tr*

Özet

Manyetik etkinlik gösteren çift yıldızlar V2075 Cyg ve FG UMa’nın CCD *BVRI* ışıkölçümleri sunulmaktadır. Fotometrik gözlemler, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Gözlemevinde, 2006 ve 2007 yıllarında, yapılmıştır. Gözlenen yıldızların ışık eğrileri analiz edilerek; fotometrik değişimlerin genlikleri ve dönemleri belirlenmiştir. Üç yada daha fazla ardışık yörünge çevrimi üzerinde gözlenen ışık değişimleri, SPOT yazılımı kullanılarak, leke modeliyle incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Çift yıldızlar: fotometrik aktivite

Abstract

We present a photometric study of two chromospherically active stars with long periods (V2075 Cyg and FG UMa). The CCD Bessell *BVRI* observations were made at the ÇOMU Observatory in 2006 and 2007. Photometric rotation periods of these stars were obtained by analyzing their light variations. The light variations, observed over three or more consecutive orbital cycles, were investigated by using spot models with the program SPOT.

Key words: Stars: binaries – photometric activity

1. Giriş

RS CVn türü çift yıldızların en önemli özelliği manyetik aktivite göstermeleridir. Gerçekte manyetik alan, her yıldızda oluşumundan ölümüne kadar tüm evrim sürecinde kendini gösterir. Ancak RS CVnlerde, Güneş'ten bildiğimiz manyetik aktif olaylarla ama yüzlerce hatta binlerce yeğin haliyle karşılaşırız. Bu da onları çekici kılar. Bu yüzden çalışmada RS CVnlerin (yeni tanımıyla CABlar = renkküre kökenli aktif çift yıldızlar) incelenmesi amaç edinilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, iki manyetik aktif yıldızın (V2075 Cyg ve FG UMa) fotometrik gözlemleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi (ÇOMÜ) Gözlemevi'nde 2006 ve 2007 gözlem sezonlarında yapılmıştır. Gözlemlerden elde edilen Bessell BVRI ışık eğrileri kullanılarak gözlenen aktif yıldızların fotometrik dönme dönemleri bulunmuş ve tutulma göstermeyen bu yıldızların ışık değişimleri incelenerek ışık kürelerindeki manyetik etkinlik için soğuk leke modelleri ortaya konmuştur. Böylece, V2075 Cyg için ilk fotometrik leke modeli yapılmıştır.

2. CCD Gözlemleri ve İndirgemeler

V2075 Cyg ve FG UMa, ÇOMÜ Gözlemevinde 2006/2007 sezonunda 30 cm Schmidt-Cassegrain türü teleskop ve buna bağlı STL-1001E CCD kamerası kullanılarak yapılmıştır. STL-1001E CCD kamerası, 30 cm Schmidt-Cassegrain türü teleskopta piksel başına sırasıyla 1.63 açısaniyesi boyutunda görüntü vermektedir. Tüm gözlemler, Bessell *BVRI* filtrelerinde ardışık olarak yapılmış ve gece başına tüm hedef yıldızlar için her bir filtrede ortalama 8'er görüntü elde edilmiştir. Gözlenen yıldızların parlaklığına, kullanılan filtreye ve gökyüzü koşullarına bağlı olarak, poz süreleri, birkaç saniye ile 10 saniye arasında değişmektedir. CCD cipi üzerinde pikselden piksele olan değişimleri düzeltmek için, gözlemler süresince, bias ve flat görüntüleri de alınmıştır. Gözlemlerde V2075 Cyg ve FG UMa için kullanılan mukayese ve denet yıldızları, sırasıyla, GSC 3197 0766, GSC 4144 0960 ve GSC 3197 1094, GSC 4144 1223'tür.

CCD görüntülerinde indirgeme işlemleri (bias ve dark çıkarılması ve flat-alan düzeltilmesi vb.) ve seçilen yıldızların parlaklıklarının okunması, C-Munipack programı

(<http://integral.sci.muni.cz/cmuni-pack>) kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra, aktif yıldızların ışık eğrilerini elde etmek için ilgili mukayese yıldızlarına göre diferansiyel ışıkölçümü yapılmıştır. Tüm gözlemlerde seçilen mukayese yıldızlarının parlaklıklarının değişmediğini denetlemek amacıyla her bir gözlemlerde tüm filtrelerde okunan aletsel parlaklıklardan mukayese-denet diferansiyel parlaklıkları zamana karşı çizdirilerek kontrol edilmiş ve önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Aktif yıldızların *BVRI* ışık eğrileri de Şekil 1 ve 3'te sunulmaktadır. Bu ışık eğrilerinde, her bir gözlem gecesinde her bir filtrede elde edilen veri setlerinden alınan ortalamalar, standart hata çubuklarıyla birlikte gösterilmektedir. Ortalama gözlem noktalarının standart hatalarını hesaplamak için ortalama gözlem noktasının hesaplandığı aynı veri setinden elde edilen mukayese-denet diferansiyel aletsel parlaklıkların standart sapmaları kullanılmıştır.

3. Fotometrik Analiz

3.1 Işık Değişimleri ve Dönem Analizi

Gözlenen aktif yıldızların ışık değişimlerinden fotometrik dönme dönemini elde etmek amacıyla diferansiyel düzeltme yöntemi (DC = Differential Correction method) dönme dönemi kullanıldı. DC yönteminde aşağıdaki denklem kullanıldı:

$$\Delta m(t) = \Delta m_0 + A_S \times \sin \left\{ \frac{2\pi}{P_S} (T_{obs} - T_S) \right\} \quad . (1)$$

Burada $\Delta m(t)$ tahmin edilen diferansiyel parlaklığı, Δm_0 diferansiyel parlaklığın fit aralığındaki ortalamasını, A_S ışık değişimin genliğini, P_S ışık değişiminin dönemini ve T_S değişimin minimum zamanını göstermektedir. Bu çalışmada gözlenen aktif yıldızların *BVRI* filtrelerinde elde edilen veri setleri ayrı ayrı fit edildi. Bulunan sonuçlar, Bölüm 4'te tartışılmakta; gözlem noktaları ve bunlara en iyi fit edilen çevrimsel kuramsal eğriler, yine Bölüm 4'te gösterilmektedir.

DC yöntemiyle bulunan sonuçları kontrol etmek yada desteklemek için Period04 programı (Lenz ve Breger, 2005) aracılığıyla Fourier dönüşüm tekniği kullanıldı. Fourier Dönüşüm Tekniği, Fourier analizine dayanan bir yöntemdir. Period04 bilgisayar programı, geniş bir zamana yayılan veriye istatistik analiz yapar.

Genellikle zonklayan yıldızların zonklama frekanslarının belirlenmesi için yazılmış bir program olmasına rağmen, geniş zamana yayılmış veriye sahip, her türlü çevrimsel değişimin frekanslarını (yada dönemlerini) belirlemek için kullanılabilir. Analize, geniş zamana yayılmış olan verinin; parlaklığa karşı dağılımı alınarak başlanır. Sonuçta incelenecek olan yıldızın; frekans (tersi dönem), genlik ve bunlara ait hata değerleri belirlenebilir. Programın bir özelliği; her bir yıldız için çok sayıda anlamlı ve anlamsız frekans ve bunlara ait genlik değerlerini hesaplayabilir olmasıdır. Hangi frekansların anlamlı ve anlamsız olduğuna Breger ve ark. (1993)'nin koyduğu kritere göre, karar verilir. Bulunan her bir frekans değerinin ardından bu irdelemenin yapılması gereklidir. Period04 birden fazla dönemli değişim gösteren yıldızların dönemlerinin de kolaylıkla bulabilmesi açısından tercih edilen bir programdır. Bulunan her bir anlamlı frekans ve buna ait genlik değeri için, genlik (amplitude) ve güç tayfi (power spectrum) çizilebilir. Period04 programı, gözlenen aktif yıldızların BVRI verisine uygulanmış ve elde edilen sonuçların DC yöntemiyle bulunan sonuçlar ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Bir örnek olarak V filtre verisine uygulanan çözümler, Bölüm 4'te gösterilmektedir.

3.2 Yıldız Leke Modeli

Gözlenen aktif/soğuk yıldızların ışık değişimlerinin manyetik kökenli soğuk/koyu lekelerden kaynaklandığı düşünülerek ILOT program dizisinden SPOT programı kullanılmıştır. Programda kullanılan analitik model, Budding (1977) tarafından verilmiş; yenilerde Budding ve Demircan (2007) tarafından gözden geçirilmiştir. Işık değişimleri, aktif soğuk yıldızlarda lekelerin birleşik olarak geniş/büyük boyutlarda ele alınışını destekler. Öte yandan renk değişimlerini çalışmak, lekeler ile çevresindeki ışık küre arasındaki sıcaklık farkının tahmin edilmesini sağlar.

Tek bir lekenin belirlenmesi için gerekli minimum parametre seti, aşağıdaki 8 parametreyi içermektedir:

- 1) λ Leke merkezinin boylamı (Yörünge yada dönme evresi başlangıcında yıldız diski üzerinde bakış doğrultusunda 0° den saat yönünde 360° ye kadar değer alır).

- 2) β Leke merkezinin enlemi (Yıldızın eşlek/ekvatorundan kuzey yönünde 0° ile $+90^\circ$ arası, güney yönünde 0° ile -90° arası değerler alır).
- 3) i Dönme ekseninin bakış doğrultusuna eğikliği.
- 4) γ Lekenin açısal boyutu. Lekenin görünür yarı eksen uzunluğu k , ile lekenin açısal genişliği γ arasındaki ilişki $k=\sin\gamma$ biçimindedir.
- 5) U Lekesiz durum için referans ışık düzeyi. U , başlangıçta en azından 1'e eşit alınır (1'e normalize edilen ışık eğrileri için).
- 6) L_1 Lekeli yıldızın kesirsel ışıması (referans düzeyi U 'nun bir oranı olarak).
- 7) κ_λ Yıldız leke akısının çevresindeki ışık küre akısına oranı. Görsel dalgaboyu bölgesinde leke akısının yıldızın toplam ışınımına katkısının çok küçük olmasından dolayı; $\kappa_\lambda < 0.1$ 'dir.
- 8) u_λ Lekeli yıldızın ışık küresi için doğrusal kenar kararım katsayısı.

Öte yandan, SPOT programı çözümlerinin verildiği çizelgelerdeki ΔI ve v parametreleri, sırasıyla, gözlem verisinin duyarlılığını ve bilinmeyen serbest değişken sayısını göstermektedir.

4. Sonuç ve Tartışma

4.1 V2075 Cyg

V2075 Cyg (BD +43 4087 = HD 208472 = GSC 3197 1790 = HIP 108198, $V = 7.491$), SIMBAD veri tabanında değişen yıldız olarak tanımlanırken, Eker ve ark. (2008) tarafından, CABs (Renkküre Kökenli Aktif Çift Yıldızlar) Kataloguna alınmıştır. Katalogda, 0.075 kadir genlikli 22.32 gün dönemli, 0.12 kadir genlikli 22.42 gün dönemli, 0.36 kadir genlikli 22.54 gün dönemli (genliği oldukça büyük oranda değişen) fotometrik V bandı değişimler gösterdiği; K0III yada G8III tayf türünden tek tayf çizgili (SB1) bir RS CVn yıldızı olduğu; soğuk bileşenin $8.8 R_\odot$ yada $9.4 R_\odot$ yarıçapına ve 4720 K yüzey sıcaklığına sahip olduğu ve dönme hızının çeşitli kaynaklar tarafından $v_{\sin i} = 17.5, 19.7$ ve 21 km/s olarak verildiği; tayfında güçlü CaII H ve K salma ve H α salma çizgileri gösterdiği; X-ışını salmasının ölçüldüğü; soğuk/aktif bileşenin dikine hız ölçümlerinden sistemin yörünge döneminin 22.62293 gün olarak bulunduğu belirtilmektedir. Weber ve ark. (2005), üç tane K tayf türünden dev yıldızın (ki bunlardan biri V2075 Cyg) 70 gecelik tayf verisine Doppler görüntülemenin iki farklı tekniğini kullanarak

yıldızların ışık kürelerinde leke gelişim modellerini çıkarmışlar ve aktif bileşenlerin güneşin diferansiyel dönmesine zıt biçimde döndüklerini (yani kutupların ekvatorundan daha hızlı döndüklerini) ileri sürmüşlerdir.

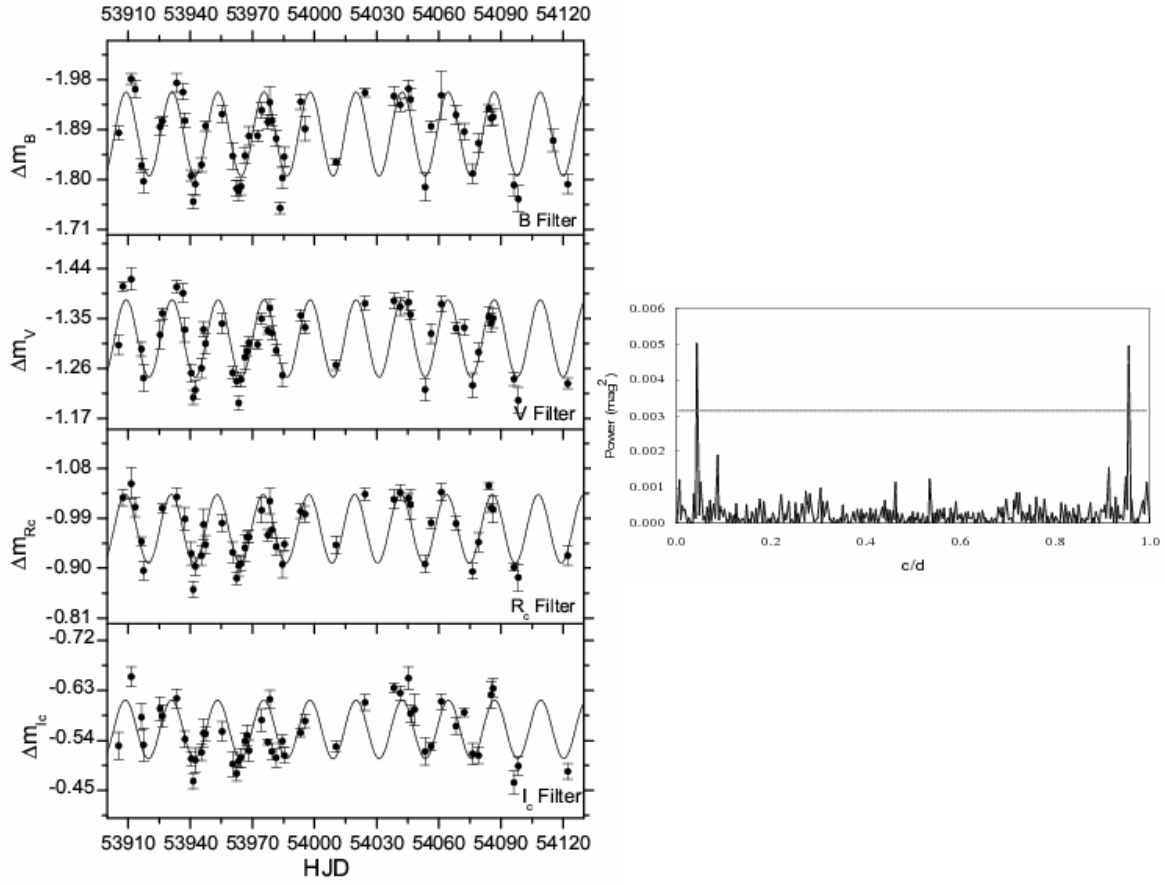
V2075 Cyg, ÇOMÜ Gözlemevinde 2006/2007 sezonunda fotometrik olarak gözlemlendi. Gözlemler sonucu elde edilen Bessell *BVRI* aletsel diferansiyel ışık eğrileri Şekil 1’de gösterilmektedir. Tüm mukayese-denet diferansiyel aletsel parlaklıkları veri seti kullanılarak hesaplanan gözlemsel yanılıklar (yada standart sapma), tüm filtreler için 0.019 kadir’dir.

V2075 Cyg aktif çift yıldızının diferansiyel ışık değişimleri için DC yöntemi ve Period04 programıyla bulunan çevrimsel yapının sonuçları, Çizelge 1’de verilmekte ve Şekil 1’de gösterilmektedir. V2075 Cyg’nin bu çalışmada bulunan ortalama fotometrik dönme dönemi, 22.22 ± 0.14 gündür. Bulunan değer Eker ve ark. (2008)’nin CABs katalogunda verilen fotometrik dönemlere oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada elde edilen diferansiyel ışık ve renk eğrilerini evrelendirmek için ışık öğeleri ($T_s = 2453969.92$ HJD ve ortalama dönem $P_{\text{photo}} = 22.22$ gün) kullanılmıştır. Sonuçlar, Şekil 2’de verilmektedir. Çevrimsel yapıyı fotometrik değişimlerin oldukça simetrik bir leke dalgası gösterdiği; öte yandan renk eğrilerinin, özellikle kırmızı-ötesi renk (V-R ve V-I) eğrilerinin, V-bandı ışık değişimiyle benzer çevrimsel yapıya uyması soğuk leke etkisine dikkat çekmektedir.

Çizelge 1. V2075 Cyg aktif yıldızının bu çalışmada elde edilen fotometrik verilerinin DC yöntemi kullanılarak hesaplanan analiz sonuçları

Gözlem Aralığı (HJD) 2400000+	Fotometrik Band	Gözlem gecesi sayısı	Δm_0 (kadir)	A_s (kadir)	P_s (gün)	T_s (HJD) 2400000+
53905 – 54122	B	54	-1.882(5)	0.076(7)	22.22 (12)	53970.08(35)
53905 – 54122	V	52	-1.314(5)	0.070(6)	22.22 (13)	53970.09(35)
53907 – 54122	R	49	-0.971(4)	0.062(5)	22.15 (12)	53969.58(32)
53905 – 54122	I	50	-0.560(5)	0.053(7)	22.29 (19)	53969.92(49)

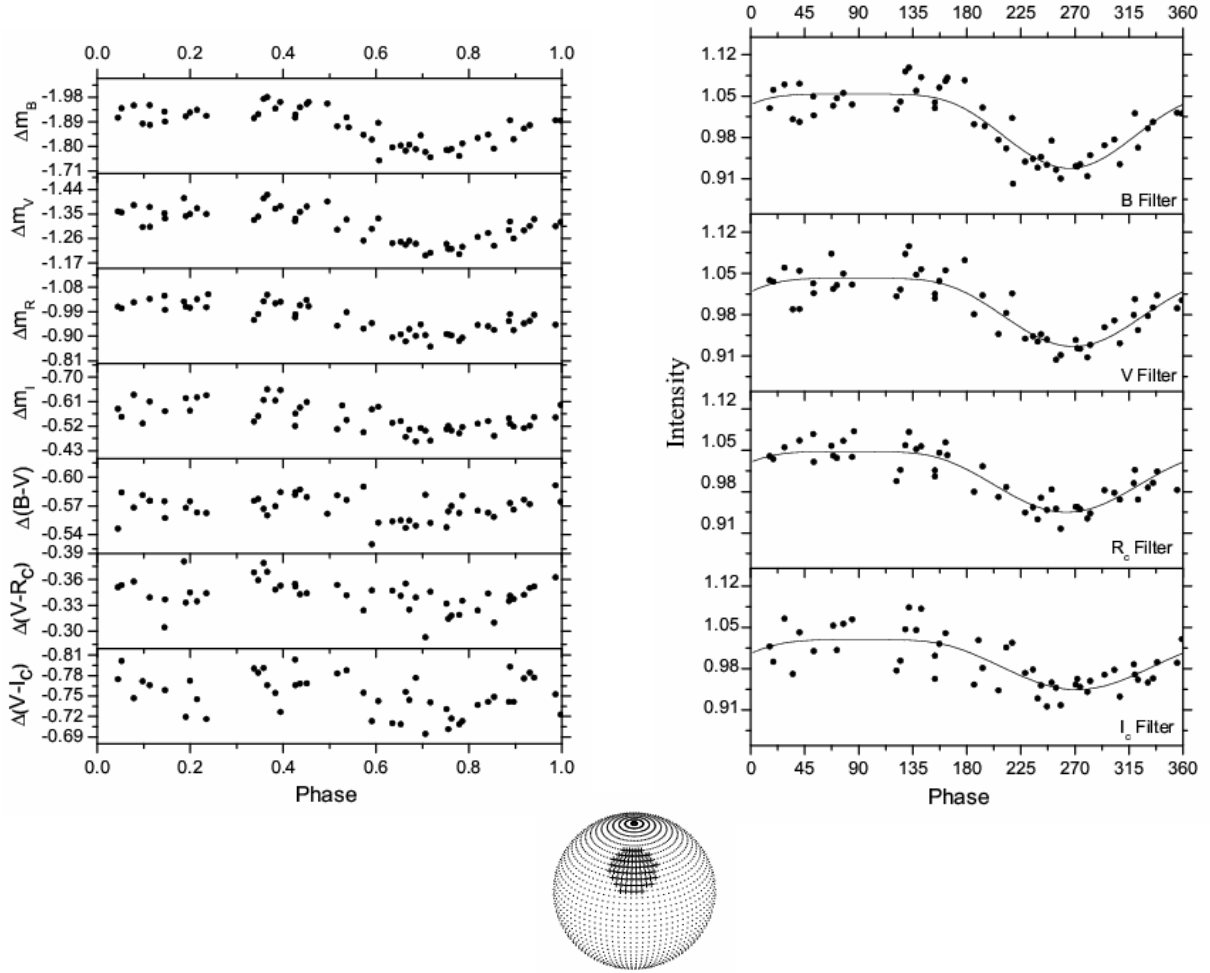


Şekil 1 Aktif yıldız V275 Cyg'nin bu çalışmada 2006/2007 gözlem sezonunda elde edilen Bessell *BVRI* aletsel diferansiyel ışık değişimleri ve bu değişimlere DC yöntemiyle fit edilen kuramsal eğriler (solda). V filtresi veri seti için Fourier dönüşüm tekniğinin verdiği güç-frekans tayfı (sağda).

SPOT programını kullanırken sabit alınan parametreler: i dönme ekseninin eğikliği = 60° (dönme eğikliği, yörünge eğikliğine eşit alınırsa; V275 Cyg tek tayf çizgili RS CVn çift yıldızdır ancak Şekil 1 ve Şekil 2'den görüleceği üzere ışık eğrilerinde tutulma göstermemektedir), $L_1/L_{\text{toplam}} = 1$ (Diğer bileşenin tayfta görülemeyişi yüzünden; aktif bileşenin kesirsel ışıması, 1'e eşitlenmiştir.), aktif bileşenin lineer kenar-kararma katsayısı van Hamme (1993)'dan, Eker ve ark. (2008)'nin Katalogda verdikleri K0III tayf türü için 4750 K etkin sıcaklığa uygun olacak şekilde seçilmiştir.

Bu üç parametre sabit alınarak, SPOT programı çalıştırılmış ve Çizelge 2'de verilen sonuçlar bulunmuştur. Programın verdiği kuramsal eğriler ve gözlem noktalarına uyum ve leke modelini gösteren üç boyutlu konfigürasyon Şekil 2'de verilmektedir. İterasyonlarda, SPOT programı leke enlemi için büyük yanılğı

değerleri verdiği için dolaylı olarak bu parametre 45° kuzey enleminde sabit tutulmuştur. Öte yandan lekenin diğer RS CVn'lerde olduğu gibi 270° boylamda yer aldığı görülmektedir.



Şekil 2 V2075 Cyg'nin 2006/2007 gözlem sezonunda elde edilen Bessell *BVRI* aletsel diferansiyel ışık ve renk eğrilerinin evreye göre çizimi (solda). SPOT programının çözümü (sağda) ve 0.75 evrede, yıldızın ışık küresinde manyetik aktivitesi sonucu oluşan soğuk lekeyi gösteren üç boyutlu konfigürasyon (Binary Maker 3.0 programı (Bradstreet ve Steelman, 2002) kullanılarak elde edilmiştir).

Çizelge 2 V2075 Cyg'nin fotometrik değişimi için SPOT programıyla bulunan yıldız leke modeli parametre seti. Standart yanılıklar, parantez içinde belirtilmektedir.

	B	V	R	I
λ (derece)	266(3)	269(3)	263(4)	272(4)
β (derece)	45	45	45	45
γ (derece)	18(1)	18(1)	18(1)	17(1)
κ_λ	0.04(3)	0.08(3)	0.11(4)	0.16(4)
U	1.054(3)	1.042(2)	1.048(3)	1.029(3)
u_λ	0.912	0.760	0.654	0.547
ΔI	0.019	0.018	0.018	0.018
χ^2/ν	1.84	2	1.48	2.8

4.2 FG UMa

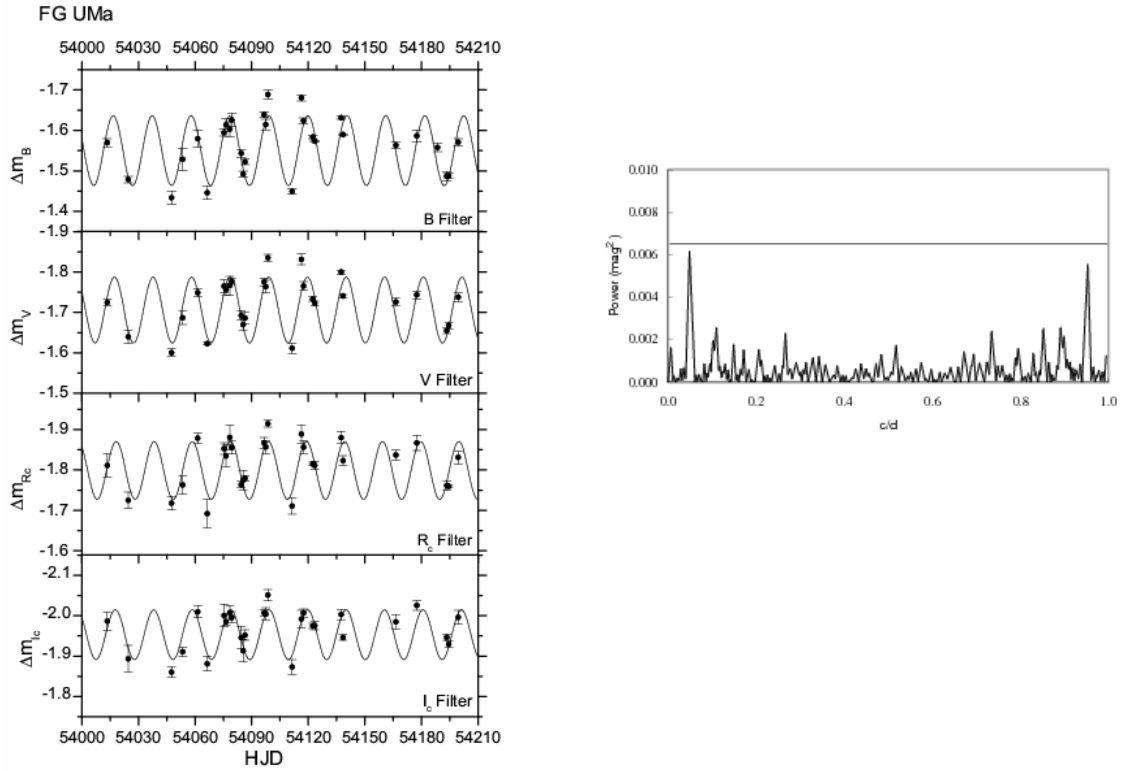
FG UMa (BD +61 1183 = HD 89546 = GSC 4144 1153 = HIP 50752, $V = 7.411$), SIMBAD veri tabanında değişen yıldız olarak tanımlanırken, Strassmeier ve ark. (1993) tarafından CABs (Renkküre Kökenli Aktif Çift Yıldızlar) Kataloguna alınmıştır. CABs Katalogunun Eker ve ark. (2008) tarafından hazırlanan yeni versiyonunda, yıldızın, 0.21 kadir genlikli 21.3 gün dönemli ve 0.1 kadir genlikli 21.5 gün dönemli (genliği oldukça büyük oranda değişen) fotometrik V bandı değişimleri gösterdiği; G9III tayf türünden tek tayf çizgili (SB1) bir RS CVn yıldızı olduğu; soğuk bileşenin $9.1 R_\odot$ ve 4850 K yüzey sıcaklığına sahip olduğu ve dönme hızının ($v \sin i$) 18 km/s ve 15 km/s olarak ölçüldüğü; tayfında güçlü CaII H ve K salma ve değişen H α salma çizgileri gösterdiği; X-ışını ve UV salmasının ölçüldüğü; soğuk/aktif bileşenin dikine hız ölçümlerinden sistemin yörünge döneminin 21.35957 gün olarak bulunduğu belirtilmektedir.

FG UMa, ÇOMÜ Gözlemevinde 2006/2007 sezonunda fotometrik olarak gözlemlendi. Gözlemler sonucu elde edilen Bessell $BVRI$ aletsel diferansiyel ışık eğrileri, Şekil 3'te gösterilmektedir. Tüm mukayese-denet diferansiyel aletsel parlaklıkları veri seti kullanılarak hesaplanan gözlemsel yanılıklar (ya da standart sapma), $BVRI$ filtreleri için sırasıyla 0.018, 0.014, 0.020 ve 0.019 kadirdir. FG UMa aktif çift yıldızının diferansiyel ışık değişimleri için DC yöntemiyle bulunan ve Period04 programıyla desteklenen çevrimsel yapının sonuçları, Çizelge 3'te verilmekte ve Şekil 3'ta gösterilmektedir. FG UMa'nın

bu çalışmada bulunan ortalama fotometrik dönme dönemi, 20.41 ± 0.14 gündür. Bulunan değerin Fekel ve ark. (2002) ve Henry ve ark. (1995)'nin buldukları, sırasıyla 21.3 gün ve 21.5 gün fotometrik dönemlerden oldukça farklı olduğu gözükmemektedir. Aslında Fekel ve ark. (2002) 7., 8. ve 10. gözlem sezonlarında bulduğumuz değere yakın dönemler vermektedir. Fotometrik dönem, çevrimsel yapılı fotometrik değişimlerden hesaplanır. RS CVn'lerde (ve/veya CAB'larda) fotometrik değişimlere manyetik kökenli soğuk lekeler yol açar. Lekelerin aktif yıldızın ışık küresindeki farklı dağılımları ve yüzeysel diferansiyel dönme fotometrik gözlemlere yansır ve dönme modülasyonlarını oluşturur. Bundan dolayı küçük zaman ölçeklerinde dönme modülasyonları gözlenebilir ve her bir gözlem sezonunda farklı bir fotometrik dönme bulunabilir.

Çizelge 3 FG UMa aktif yıldızının bu çalışmada elde edilen fotometrik verilerinin DC yöntemi kullanılarak hesaplanan analiz sonuçları.

Gözlem Aralığı (HJD) 2400000+	Fotometri k Band	Gözlem gecesi sayısı	Δm_0 (kadir)	A_s (kadir)	P_s (gün)	T_s (HJD) 2400000+
54013 – 54199	B	29	- 1.550(6)	0.087(10)	20.64(13)	54073.38(44)
54013 – 54199	V	28	- 1.706(6)	0.082(9)	20.46(13)	54073.52(40)
54013 – 54233	R	49	- 1.809(8)	0.072(11)	20.17(15)	54073.64(52)
54013 – 54199	I	50	- 1.953(6)	0.062(9)	20.38(16)	54073.76(48)



Şekil 3 Aktif yıldız FG UMa'nın bu çalışmada 2006/2007 gözlem sezonunda elde edilen Bessell *BVRI* aletsel diferansiyel ışık değişimleri ve bu değişimlere DC yöntemiyle fit edilen kuramsal eğriler (solda). V filtresi veri seti için Fourier dönüşüm tekniğinin verdiği güç-frekans tayfı (sağda).

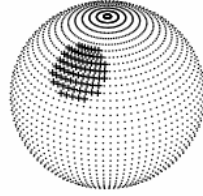
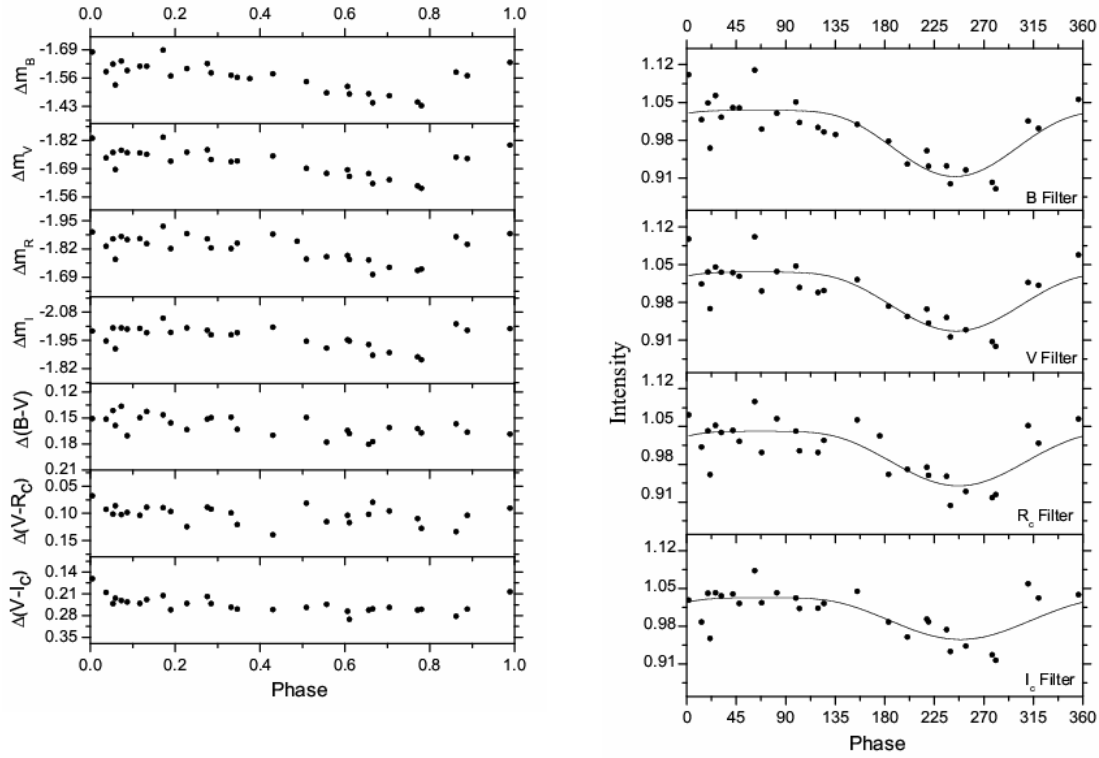
Bu çalışmada elde edilen diferansiyel ışık ve renk eğrilerini evrelendirmek için ışık öğeleri (bu çalışmada bulunan $T_s = 2454073.58$ HJD ve Fekel ve ark. (2002) tarafından bulunan yörünge dönemi $P_{orb}=21.3596$ gün) kullanılmıştır. Sonuçlar, Şekil 4'te verilmektedir. Soğuk leke kurgusundan beklenildiği biçimde fotometrik değişim genliğinin kısa dalgalılarından uzun dalgalılarına gittikçe azalması (bkz. Şekil 3 ve 4 ve Çizelge 3), bizi soğuk leke yaklaşımına götürmektedir. Ancak, renk eğrileri bekleneni pek açık biçimde göstermemekte özellikle fotometrik değişimin minimuma girdiği evrelerde saçılan noktalar, soğuk leke kurgusundan beklenen ilişkiyi (yani özellikle kırmızı-ötesi renklerin V-bandı değişimine uyan bir değişim göstermesi) kapatmaktadır.

SPOT programını kullanırken sabit alınan parametreler: i dönme ekseninin eğikliği = 57° (Fekel ve ark. 2002'den), $L_1/L_{toplam} = 1$ (Diğer bileşenin tayfta görülemeyişi yüzünden; aktif bileşenin

kesirsel ışıması, l 'e eşitlenmiştir.), aktif bileşenin lineer kenar-kararma katsayısı van Hamme (1993)'dan, Fekel ve ark. (2002)'nin G9III tayf türü için 4900 K etkin sıcaklığa uygun olacak şekilde seçilmiştir. Bu üç parametre sabit alınarak, SPOT programı çalıştırılmış ve Çizelge 4'te verilen sonuçlar bulunmuştur. Modelin belirlediği kuramsal eğriler ve gözlem noktalarına uyum ve leke modelini gösteren üç boyutlu konfigürasyon, Şekil 4'te gösterilmektedir. İterasyonlarda, SPOT programı leke enlemi için büyük yanılğı değerleri verdiğiinden dolayı, bu parametre 45° kuzey enlemde sabit tutulmuştur.

Çizelge 4 FG UMa'nın fotometrik değişimi için SPOT programıyla bulunan yıldız leke modeli parametre seti. Standart yanılğılar, parantez içinde belirtilmektedir.

	B	V	R	I
λ (derece)	244(5)	245(4)	247(6)	249(8)
β (derece)	45	45	45	45
γ (derece)	18(1)	18(1)	18(1)	16(1)
κ_λ	0.05(3)	0.09(4)	0.13(6)	0.19(7)
U	1.036(4)	1.037(4)	1.042(5)	1.033(5)
u_λ	0.885	0.732	0.631	0.529
ΔI	0.018	0.014	0.020	0.019
χ^2/ν	3.64	5.67	3.08	2.83



Şekil 4 FG UMa'nın 2006/2007 gözlem sezonunda elde edilen Bessell *BVRI* aletsel diferansiyel ışık ve renk eğrilerinin evreye göre çizimi (solda). SPOT programının çözümü (sağda) ve 0.75 evrede, yıldızın ışık küresinde manyetik aktivitesi sonucu oluşan soğuk lekeyi gösteren üç boyutlu konfigürasyon (Binary Maker 3.0 programı (Bradstreet ve Steelman, 2002) kullanılarak elde edilmiştir).

Teşekkür: Bu çalışma, TÜBİTAK TBAG 105T083 nolu “*Uzun Dönemli RS CVn Çift Yıldızlarında Işıkkürenin ve Renkkürenin Aktivitesi*” konulu araştırma projesinden üretilmiştir.

Kaynaklar

- BRADSTREET, D. H., Steelman, D. P., Binary Maker 3.0 - An Interactive Graphics-Based Light Curve Synthesis Program Written in Java, American Astronomical Society, 201st AAS Meeting, #75.02; *Bulletin of the American Astronomical Society*, 34, 1224 (2002).
- BREGER, M., Stich, J., Garrido, R., Martin, B., Jiang, S. Y., Li, Z. P., Hube, D. P., Ostermann, W., Paparo, M., Scheck, M., Nonradial Pulsation of the Delta-Scuti Star Bu-Cancri in the Praesepe Cluster, *Astronomy and Astrophysics*, 271, 482, (1993)
- BUDDING, E., Demircan, O, *Introduction to astronomical photometry*, 2nd edition, Cambridge: Cambridge University Press, p.67 (2007).
- BUDDING, E., The interpretation of cyclical photometric variations in certain dwarf ME-type stars, *Astrophysics and Space Science*, 48, 207-223 (1977).
- EKER, Z., Filiz Ak, N., Bilir, S., Dogru, D., Tuysuz, M., Soydugan, E., Bakis, H., Ugras, B., Soydugan, F., Erdem, A., Demircan, O., A Catalog Of Chromospherically Active Binary Stars (Third Edition), *ARXIV*, arXiv:0805.4517 (2008).
- FEKEL, F. C., Henry, G. W., Eaton, J. A., Sperauskas, J., Hall, D. S., Chromospherically Active Stars. XXI. The Giant, Single-lined Binaries HD 89546 And HD 113816, *Astronomical Journal*, 124, 1064 (2002).
- HENRY, G. W., Fekel, F. C., Hall, D. S., An Automated Search for Variability in Chromospherically Active Stars, *Astronomical Journal*, 110, 2926 (1995).
- LENZ, P., Breger, M., Period04 User Guide, *Communications in Asteroseismology*, 146, 53-136 (2005).
- STRASSMEIER, K. G., Hall, D. S., Fekel, F. C., Scheck, M., A Catalog of Chromospherically Active Binary Stars (Second Edition), *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, 100, 173 (1993).
- VAN HAMME, W., New Limb-Darkening Coefficients For Modeling Binary Star Light Curves, *Astronomical Journal*, 106, 2096 (1993).
- WEBER, M., Strassmeier, K. G., Washuettl, A., Indications For Anti-Solar Differential Rotation Of Giant Stars, *Astronomische Nachrichten*, 326, 287 (2005).