



SV Cam Sisteminin Homojen Olmayan Yüzey Parlaklık Dağılımının İncelenmesi

İbrahim ÖZAVCI^{1*}, Hakan Volkan ŞENAVCI¹, Engin BAHAR¹, Onur YÖRÜKOĞLU¹, Selim Osman SELAM¹

¹Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara, Türkiye.

Özet: Bu çalışmada, RS CVn türü bir örten değişen olan SV Cam sisteminin, Calar Alto Gözlemevi'nde 2.2 metrelik teleskoba bağlı CAFE tayfçekeri kullanılarak elde edilmiş yüksek çözünürlüklü tayfları ve Jagiellonian Üniversitesi Gözlemevi'nde bulunan 50 cm'lik teleskop ile B, V, R ve I bandlarında elde edilmiş yüksek hassasiyetli ışık eğrileri kullanılarak, eş zamanlı yüzey parlaklık dağılımı haritaları elde edilmiştir. Sadece fotometrik veri kullanılarak doğrudan ışık eğrisi modelleme tekniğine dayanan Phoebe arayüzü kullanılarak 1. bileşen üzerinde belirlenen iki leke bölgesinin, MEM iterasyonları ile de boylamsal olarak doğrulandığı gözlenmiştir. Sistemin Doppler görüntülemesinde ise bu lekelerin literatürdeki çalışmalara uyumlu olacak şekilde yüksek enlemlerde olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: aktif yıldızlar, örten değişen çift yıldızlar, Doppler görüntüleme

Abstract: In this study we present the surface maps of the RS CVn type eclipsing binary SV Cam obtained simultaneously, using high resolution time series spectroscopic data from CAFE spectrometer attached to the 2.2 meter telescope at the Calar Alto Observatory and the multi-colour high quality photometric data from 50 cm telescope at the Jagiellonian University Observatory. Using only photometric data via PHOEBE interface, which is based on direct light curve modeling, it was confirmed that the two spot regions identified on primary component were longitudinally obtained by MEM iterations. The surface reconstructions using Doppler imaging, showed that the spots are located at high latitudes that is compatible with the related studies in the literature.

Key Words: active stars, eclipsing binaries, Doppler imaging

1. Giriş

RS CVn türü yıldızlar yörünge dönemleri 20 günden kısa, F-K tayf türünden dev/cüce bileşenlerden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler arasında kısa yörünge dönemine sahip olanlarda bileşenler arası tedirginlik etkisinden dolayı güçlü manyetik aktivite görülmektedir (Kjurkchieva vd. 2002). Böyle hızlı dönen yıldızlar, yıldız fotosferi üzerinde koveksiyonun baskılanmasına yol açan dinamo mekanizmasına sahiptirler (Jeffers vd. 2006). RS CVn'lerin ışık eğrilerindeki tutulma dışındaki değişimler, büyük oranda üzerlerindeki soğuk lekelerin dönme ile modüle olmasından kaynaklanır (Berdyugina 2005). Aynı zamanda tayflarında Ca II H&K çizgileri gibi salma çizgileri gözlenir. Bu tür çift yıldızlar, yakın çift yıldızların dinamo mekanizmasının anlaşılabilirliği oldukça önemlidir. Çünkü bu tür yıldızlar yüksek ışınım gücü ve güçlü manyetik aktiviteye sahiptir. SV Cam, literatürde en çok çalışılmış RS CVn türü sistemlerden biri olduğundan, bize yıldız yapısı ve evrimi hakkında büyük ipuçları vermektedir. Bu çalışmada, sistemin yüksek çözünürlüklü tayf verisi ile yüksek kaliteli ışık eğrileri, Doppler Görüntüleme Tekniği ile eş zamanlı olarak analiz edilerek, sistemin yüzey parlaklık dağılımındaki düzensizlikler irdelenmiştir.

2. SV Cam

SV Cam (HD 44982 m_v=8^m.40) yörünge dönemi ~ 0^g.539 olan RS CVn türü yakın bir sistemdir. Bileşenlerin tayf türü hakkında, birinci bileşen için G0-G2, ikinci bileşen için ise K2-K7 arası değişen yaklaşımlar bulunmaktadır. En güncel yaklaşım G0+K2 olarak belirlenmiştir (Manzoori 2016). SV Cam'ın manyetik aktivite doğası hakkında birçok çalışma yapılmıştır. Zeilik vd. (1988) geçmişe dönük 50 yıllık (1932-1984) fotometrik gözlemlerden yararlanarak, en iyi çözümleri, yüksek enlemlerde (60°-75°) bulunan leke bölgeleri ile sağlamıştır. Leke bölgelerinin, 45°-135° aktif boylamlarından, 225°-315° aktif boylamlarına göç etme eğiliminde olduğunu vurgulamıştır. Hempelmann vd. (1997) sistemin, Ca I 6103 Å, Ca I 6122 Å, Fe I 6400 Å ve Ca I 6439 Å tayf çizgilerini kullanarak Doppler görüntülerini elde etmiştir. Elde ettiği bu haritalarda, birinci bileşen üzerinde boylamı 75°'den 40°'ye, enlemi ise +60°'den +30°'ye uzanan baskın leke bölgesi olduğunu vurgulamıştır. Djurasevic (1999), Patkos (1982)'un 1973-1981 yılları arasında elde ettiği 18 adet ışık eğrisini analiz ederek, sistemdeki fotosferik soğuk leke kaynaklı yüzey parlaklık dağılımı değişimini inceledi. İkili leke modellerinin teklilere kıyasla daha iyi sonuç verdiğini belirtti. Ayrıca, lekeli alanların yüksek enlemlerde (kutba yakın enlemler) özellikle aktif boylamlara doğru göç ettiği sonucuna varmıştır. Kjurkchieva vd. (2002) elde ettikleri tayfın Ha ve Fe I 6678 Å çizgilerini kullanarak sistemin kütle oranı q=0.593 olarak verdi. Ayrıca bu çizgilerin analizi birinci bileşen üzerinde 0.27 ve 0.86 evrelerinde 2 adet soğuk leke varlığını gösterdi. Jeffers vd. (2005) SV Cam üzerinde yaptıkları spektrofotometrik analizler sonucunda birinci bileşenin ekvator bölgesinin, toplam yüzeyin %28'ine tekabül eden, küçük lekeler ile kaplı olduğunu ve buna ek olarak 42°'lik bir çapa sahip kutup lekесinin var olduğunu söyledi. Jeffers vd. (2006a) 3 adet birinci minimuma ait yüksek duyarlılık spektrofotometrik ışık eğrilerini analiz etti. Bu minimum profillerine yapılan modelin artıklarda kontak evrelerinde güçlü piklerin varlığını ortaya koydular. Bu yapılar

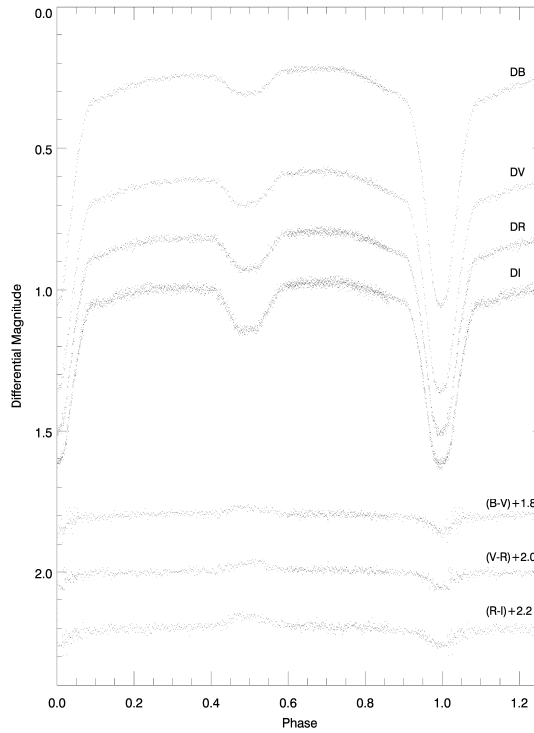
*Sorumlu Yazar E-posta: iozavci@ankara.edu.tr

tamamen modellenememiş ve bu durum ancak fotosferik sıcaklığın azaltılması ve bir kutup lekesi yaklaşımı ile önemli derecede giderilebilmiştir. Manzoori (2016) Kasım 2006 ile Mart 2009 zaman aralığında elde edilmiş ışık eğrilerini, bileşenler üzerinde leke veya lekelerin olduğu varsayımıyla modelledi. Böylece her bir model ile ilgili bileşen üzerindeki leke veya lekelerin parametrelerini elde etti. Lekelerin her iki bileşende de, (özellikle ikincil bileşende) yüksek enlemlerde görüldüğü sonucuna ulaştı. Hızlı dönmekten dolayı iki bileşen arasındaki manyetik alanın etkileşimi, sistemin yörünge döneminin ve parlaklığının çevrimsel olarak (sırasıyla 23.3 ve 20.2 yıl) değiştiğini öne sürdü.

3. Gözlemler ve Verilerin Hazırlanması

SV Cam sisteminin yüksek çözünürlüklü tayfları, Calar Alto Gözlemevi'nde 2.2 metrelik teleskoba bağlı CAFE tayfçekeri kullanılarak 29 - 31 Ekim 2015 tarihleri arasında elde edildi. Sistemin 4050Å–9095Å dalgaboyu aralığını kapsayan, ortalama R=60000 çözünürlüğe sahip 7 adet tayf elde edildi. Her bir tayf 1500 sn poz süresiyle gözlemlendi. Tayfların Sinyal / Gürültü (SNR) değerleri yaklaşık olarak 90-120 arasındadır. Tayfların ön indirilmesi (Bias ve flat düzeltmesi, kozmik ışın temizleme ve dalgaboyu kalibrasyonu vb.) IRAF'ın (Image Reduction and Analysis Facility) standart paketleri kullanılarak gerçekleştirildi. Tayfların normalizasyonu, Python programlama dilinde hazırlanmış iSpec (Blanco-Cuaresma vd. (2014)) yazılımı ile oluşturuldu.

SV Cam'a ilişkin fotometrik gözlemler ise 30 Aralık 2015 ve 01 Ocak 2016 tarihlerinde Jagiellonian Üniversitesi Gözlemevi'nde bulunan 50 cm'lik teleskop ve ona bağlı iKon L936 Andor CCD kamerası kullanılarak B, V, R ve I bandlarında elde edildi. Mukayese ve denet yıldızları olarak sırasıyla GSC4538-723 (K0 V) ve TYC 4538-705-1 (B -V = 0.84) yıldızları kullanıldı. Verilerin indirilmesi ve diferansiyel parlaklıkların elde edilmesi IRAF ve C-Munipack programları yardımıyla gerçekleştirildi (bkz. Şekil 1).



Şekil 1: SV Cam'ın 4 band ışık eğrisi ve renk ölçekleri.

4. Analizler

4.1 Fotometrik Analiz

Bu çalışmada, elde ettiğimiz tayfsal ve fotometrik veriler yardımıyla sistemin fiziksel parametrelerini, Prša & Zwitter (2005) tarafından geliştirilen PHOEBE arayüzü kullanılarak, ayrık sistem yaklaşımı ile (PHOEBE, Wilson-Devinney kodunun 2003 versiyonuna dayanır) belirledik. Verileri evrendirmek için Pojmanski'nin (1998) ışık elemanları kullanıldı (bkz. Denklem 1).

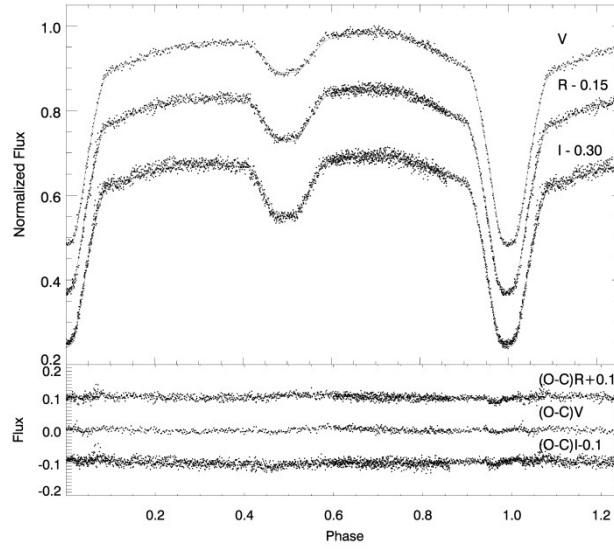
$$\text{Min } I = 2449350.3037 + 0^{\circ}.593071 \times E \dots \dots \dots (1)$$

Birinci bileşen fotosfer sıcaklığı için, Jeffers vd. (2006b) tarafından HST verileri üzerinden PHOENIX model atmosfer kullanılarak elde ettikleri 6038 ± 58 (K) değeri kullanıldı. Kütle oranı, elde ettiğimiz tayflardan, $q = 0.609$ olarak hesaplandı. Dikine hız eğrisi Şekil 3’de verilmiştir.

Yapılan ışık eğrisi analizinde, fiziksel ve geometrik olarak modellenemeyen yapılar 1. bileşen üzerinde soğuk bir leke olduğuna işaret etmektedir. Işık eğrisindeki asimetric yapılar da bunu destekler niteliktedir. Bu yüzden birincil bileşen üzerinde parametreleri Çizelge 1’de yer alan 2 adet soğuk leke yaklaşımı daha iyi sonuç vermiştir (bkz. Şekil 2). Böylece sistemin mutlak parametreleri elde edildi ve Çizelge 2’te listelendi.

Çizelge 1: SV Cam’ın 2 leke yaklaşımı ile yapılan çözümün leke parametreleri.

| Parametre | Enlem (°) | Boylam (°) | Kesirsel Çap (%) |
|-----------|-----------|------------|------------------|
| Leke 1 | 50 | 45 | 9.0 |
| Leke 2 | 44 | 300 | 7.2 |



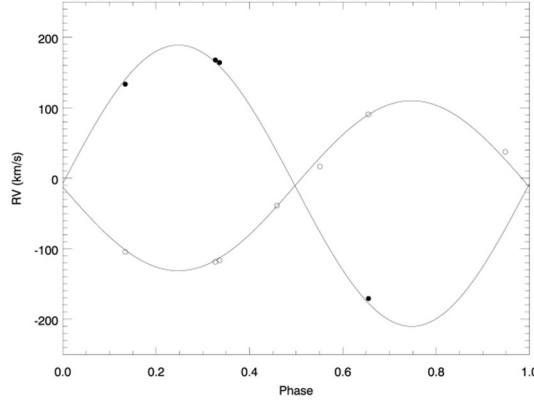
Şekil 2: SV Cam’ın 2 leke yaklaşımıyla PHOEBE çözümü. Noktalar gözlemsel ışık eğrisini, düz çizgiler ise ışık eğrisine yapılan fitleri göstermektedir.

Çizelge 2: Sistemin ışık eğrisinin PHOEBE çözümü ile elde edilen mutlak parametreleri.

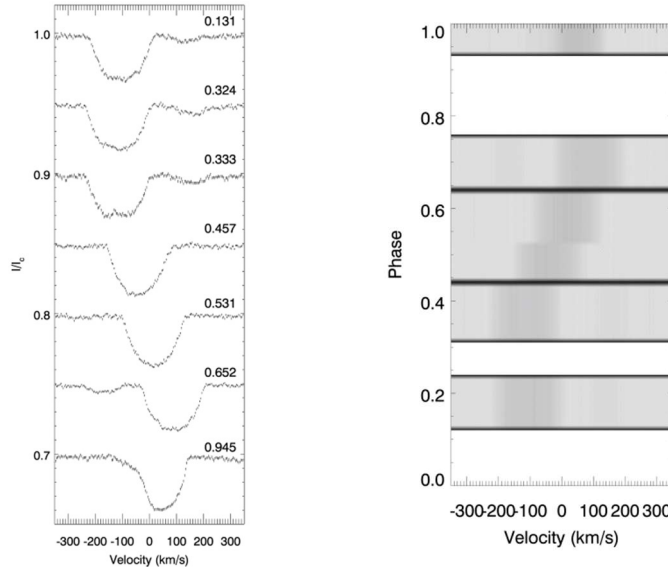
| Parametreler | Değer |
|-----------------------------------|-------------------|
| i (°) | 86.82 ± 0.02 |
| T_2 (°K) | 4370 ± 6 |
| Ω_1 | 3.56 ± 0.002 |
| Ω_2 | 4.09 ± 0.006 |
| M_1 (M_{\odot}) | 1.27 ± 0.04 |
| M_2 (M_{\odot}) | 0.77 ± 0.03 |
| R_1 (R_{\odot}) | 1.31 ± 0.01 |
| R_2 (R_{\odot}) | 0.81 ± 0.007 |
| $V\gamma$ (km.sn^{-1}) | -10.17 ± 0.33 |

4.2 Tayfsal Analiz

Her bir tayfta yüksek SNR değerine ulaşmak için En Küçük Kareler Dekonvolüsyonu Tekniği (LSD) kullanıldı (Donati vd. (1997). Bu teknik, eş zamanlı olarak binlerce tayf çizgisinden çapraz – korelasyon (cross – correlation) yöntemi ile ortalama bir hız profili oluşturmak amacıyla kullanılır. LSD'nin ihtiyacı olan girdi çizgi listesi Vienna Atomik Çizgi Veritabanı'ndan (VALD) (Kupka et al. 1999) sistemin T_{eff} ve $\log g$ parametrelerine göre elde edildi. Çizgi listesinin hazırlanışı süresince, güçlü kromosferik çizgileri (ör. H α) içeren birkaç dalgaboyu bölgesi ile atmosferik çizgilerin baskın olduğu bölgeler çıkarıldı. Sistemin dikine hız eğrileri LSD profilleri kullanılarak oluşturuldu (bkz. Şekil 3). Ayrıca 7 tayf için elde edilen LSD profilleri Şekil 4 sol panel ve evreye göre çizilmiş kontur grafiği Şekil 4 sağ panel'de verilmiştir.



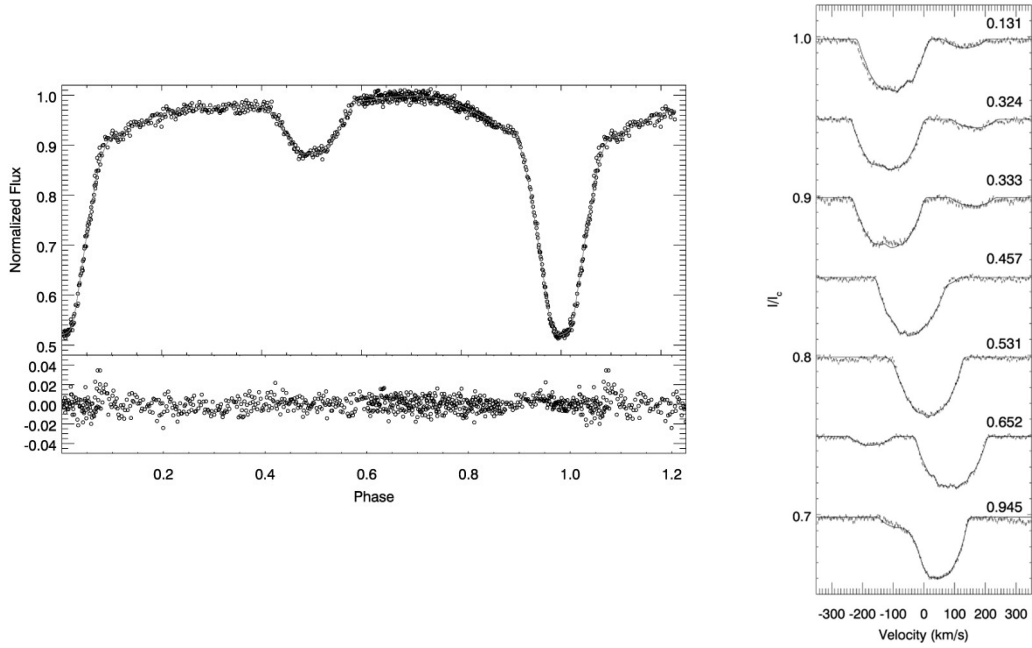
Şekil 3: SV Cam'ın LSD profillerinden elde edilmiş dikine hız eğrileri ve yapılan model.



Şekil 4: SV Cam'ın LSD profilleri (sol) ve evreye göre çizilmiş kontur grafiği (sağ).

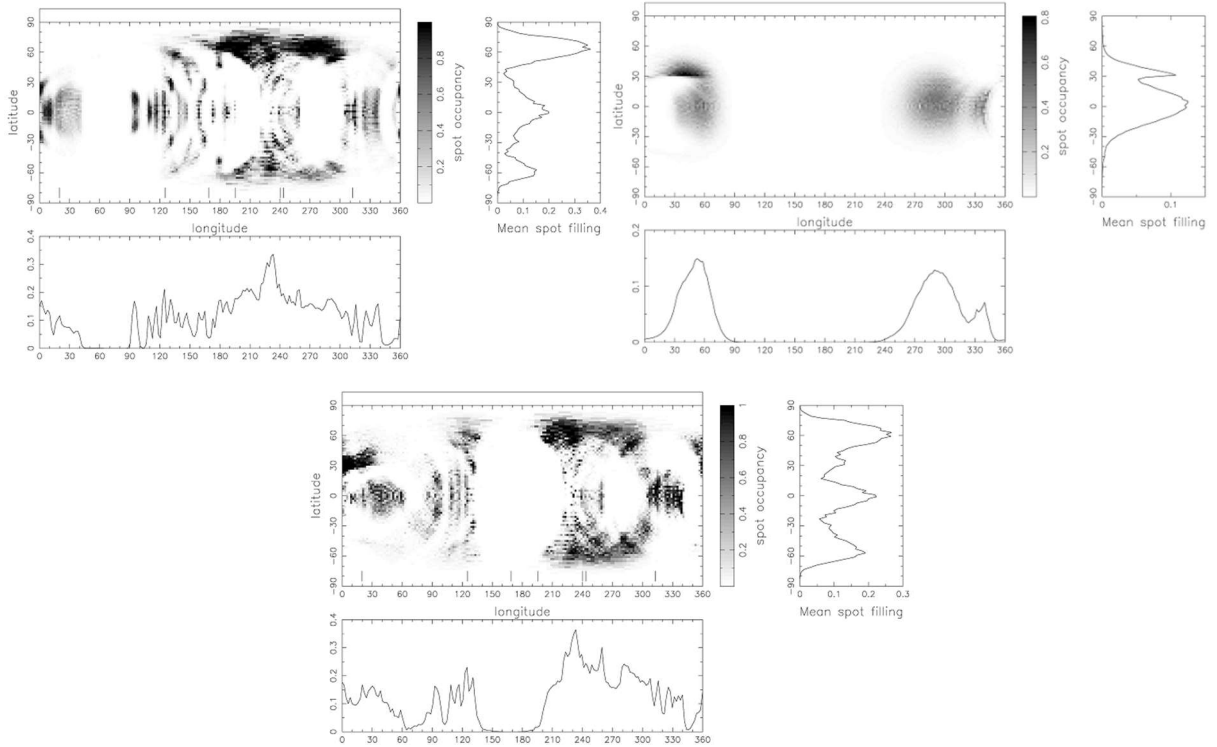
4.3 Eş Zamanlı Tayfsal ve Fotometrik Analiz

SV Cam sisteminin yüzey parlaklık dağılımı haritası DoTS kodu (Collier Cameron 1997) yardımıyla sistemin fotometrik ve tayfsal verisi kullanılarak eş zamanlı olarak gerçekleştirildi. Tayfsal verinin "arama – bilgi tabloları" (Lookup Table) oluşturulması süresince, van Hamme (1993) tablolarından kenar kararına katsayılarının doğrusal interpolasyonu, sistemin fotosfer ve leke sıcaklıkları için kullanıldı. SV Cam sisteminin yüzey haritasını oluşturmak için DoTS kodu yardımıyla 7 adet tayfın LSD profilleri kullanılarak eş zamanlı olarak tayfsal ve fotometrik analiz gerçekleştirildi. Bu eş zamanlı çözümde yapılan Maksimum Entropi Metodu (MEM) iterasyonlarında % 95 tayfsal veriye ağırlık verildi. Elde edilen ışık eğrisi ve LSD profil fitleri Şekil 5'de verildi.



Şekil 5: Maksimum Entropi Metodu (MEM) ile elde edilen ışık eğrisi fiti (sol) ve LSD profil fitleri (sağ).

Bu eş zamanlı çözümden elde edilen yüzey parlaklık dağılımı haritası, sadece fotometrik ve sadece tayfsal verilerden elde edilen haritalar ile karşılaştırıldı (bkz. Şekil 6).



Şekil 6: Sadece tayfsal (üst sol panel), sadece fotometrik (üst sağ panel) verilerden ve bu ikisinin eş zamanlı çözümünden (alt panel) elde edilen yüzey parlaklık dağılımı haritaların karşılaştırması.



5. Tartışma ve Sonuç

-Bu çalışma sonucu elde edilen yüzey parlaklık dağılımı haritalarını, sadece fotometrik, sadece tayfsal ve her ikisinin ortak çözümünden elde edilen haritalar şeklinde ayrı ayrı değerlendirmek gerekmektedir. Maksimum entropi metoduna dayanan DoTS kodu ile sadece fotometrik veriler kullanılarak üretilen haritalarda lekelerle ilişkin boylam bilgisi elde edilirken enlem bilgileri elde edilememektedir. Fotometrik veriler tek boyutlu olduklarından tüm lekeler ekvator komşuluğunda çıkmaktadır.

-Sistemin Phoebe arayüzü ile gerçekleştirilen ışık eğrisi analizlerinde boylamları 45° ve 300° ve enlemleri yaklaşık 50° olan iki leke bölgesi, gözlemsel ışık eğrisini daha iyi temsil ettiği görülmüştür. DoTS kodu ile elde edilen haritalarda ise Phoebe çözümünü destekler şekilde benzer boylamlarda ve ekvator üzerinde 2 leke bölgesi elde edilmiştir.

-Doppler görüntüleme tekniğinde ise özellikle yörünge eğim açısı 90° 'ye yakın sistemlerde lekeler ekvator simetrik çıkmaktadır. LSD profil fitlerinden elde edilen yüzey parlaklık dağılımı haritalarında elde edilen leke bölgeleri özellikle 240° boylamı civarında ve 60° enleminde birikim göstermiştir. Bu sonuç fotometrik veriden elde edilen sonuca yakındır. Aralarındaki boylam farkına, fotometrik ve tayfsal gözlemler arasındaki 2 aylık süre farkı etki etmiş olabilmektedir. Literatürden bilindiği üzere RS CVn sistemlerinde lekeler zaman içerisinde farklı boylamlara göç edebilmektedir. Lekelerin yüksek enlemde çıkıyor olması daha önce literatürde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçları destekler niteliktedir.

-Sonuç olarak bu çalışmada elimizdeki veriler ışığında SV Cam sisteminin yüzey parlaklık dağılımındaki homojen olmayan yapılar gösterilmiş ve bu sonuçlar literatürdeki veriler ile karşılaştırılmıştır. İleride yapılacak gözlemler ve analizler RS CVn türü bir sistem olan SV Cam'ın doğası hakkında daha ayrıntılı bilgiler edinmemize olanak sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma 115F033 numaralı TÜBİTAK 1001 projesi tarafından desteklenmektedir.

6. Kaynaklar

- Berdugina S. V., 2005, Living Reviews in Solar Physics, 2
Blanco-Cuaresma S., Soubiran C., Jofr'e P., Heiter U., 2014, in Astronomical Society of India Conference Series.
(arXiv:1312.4545)
Collier Cameron A., 1997, MNRAS, 287, 556
Djurasevic G., 1998, A&AS, 127, 233
Donati J.-F., Semel M., Carter B. D., Rees D. E., Collier Cameron A., 1997, MNRAS, 291, 658
Hempelmann A., Hatzes A. P., Kuerster M., Patkos L., 1997, A&A, 317, 125
Jeffers S. V., Collier Cameron A., Barnes J. R., Aufdenberg J. P., Hussain G. A. J., 2005, ApJ, 621, 425
Jeffers S. V., Barnes J. R., Collier Cameron A., Donati J.-F., 2006, MNRAS, 366, 667
Jeffers S. V., Aufdenberg J. P., Hussain G. A. J., Collier Cameron A., Holzwarth V. R., 2006, MNRAS, 367, 1308
Kjurkchieva D. P., Marchev D. V., Zola S., 2002, A&A, 386, 548
Kupka F., Piskunov N., Ryabchikova T. A., Stempels H. C., Weiss W. W., 1999, A&AS, 138, 119
Manzoori D., 2016, Astronomische Nachrichten, 337, 652
Patkos L., 1982, Communications of the Konkoly Observatory Hungary, 80, 1
Pojmanski G., 1998, Acta Astron., 48, 711
Prša A., Zwitter T., 2005, ApJ, 628, 426
van Hamme W., 1993, AJ, 106, 2096
Zeilik M., de Blasi C., Rhodes M., Budding E., 1988, ApJ, 332, 293