






V376 And'ın Tayfsal ve Fotometrik İncelenmesi

Eda Burcu Yorulmaz¹ *, Ebru Uzunçam¹ , Hakan Volkan Şenavcı¹ ,
İbrahim Özavcı¹ , Engin Bahar¹ 

¹ Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara, Türkiye

Accepted: December 20, 2022. Revised: December 15, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Bu çalışmada değen çift sistem V376 And'ın Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T80 Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobu ve ona bağlı tayfçeker ile alınmış orta çözünürlüklü tayfları kullanılarak sistemin dikine hız eğrisi elde edilmiş ve evreye bağlı H α çizgi profil değişimi incelenmiştir. Ek olarak sistemin fotometrik verileriyle birlikte dikine hız eğrileri de eş zamanlı olarak çözülmüş ve mutlak parametreleri elde edilmiştir.

Abstract

In this study, using the mid-resolution time-series spectroscopic data of the contact binary V376 And gathered at the T80 Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Telescope of the Ankara University Kreiken Observatory, we obtained the radial velocity curve of the system. We also used the same data to investigate the H α variation throughout the orbital phase. In addition, we determined the absolute parameters of V376 And with the help of the simultaneous light and radial velocity curve analysis.

Anahtar Kelimeler: binaries: eclipsing – stars: activity – starspots

1 Giriş

Birçok W UMa türü örten değişen yıldızın ışık eğrilerinde, maksimum seviyeleri (tutulmalar dışı) arasında fark gözlenir. Bu seviye farkı O'Connell etkisi (O'Connell 1951) olarak adlandırılmış ve sebebi henüz tam olarak anlaşılabilmiş değildir. Wilsey & Beaky (2009) bu asimetriye sebep olan etkinin; yıldız lekeleri, gaz akıntı çarpışması ve yıldız çevresindeki madde olmak üzere üç farklı sebebi olabileceğini belirtmiştir. O'Connell etkisi gözlenen örten değişen yıldızların analizleri esnasında genellikle birinci veya ikinci bileşen üzerine sıcak/soğuk leke(ler) yerleştirilerek modelleme yapılır.

Bu çalışmada incelenen V376 And sistemi Hipparcos uydusu ile 1997 yılında keşfedilmiştir (ESA 1997). Rucinski ve diğ. (2001) sistemin ilk dikine hız eğrisini elde etmiş, kütle oranını $q=(M_2/M_1)=0.305$ olarak bulmuş ve sistemin A türü W UMa yıldız olduğunu ileri sürmüşlerdir. Sistemin fotometrik çözümü sırasıyla Dumitrescu ve diğ. (2004), Djurasevic ve diğ. (2008), Zola ve diğ. (2010), Çiçek (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir ve modelleme sırasında genellikle soğuk leke yaklaşımı kullanılmıştır. Ancak Güneş ve diğer yıldızlardan bilindiği üzere yıldız yüzeyindeki soğuk lekeler oluşur, gelişir, göç eder, sönümlenir ve/veya yenisi oluşur. V376 And'ın günümüze kadar yapılan fotometrik çalışmalarından görülmektedir ki sistemin ışık eğrisi maksimumları arasındaki seviye farkı ve seviyelerin konumu yıllar içerisinde değişmemektedir. Sistemde sıcak veya soğuk leke(ler) olduğu net olarak bilinmemekte olup bu problemi ortadan kaldıracak bilgi tayfta saklıdır.

* eburcuyorulmaz@gmail.com

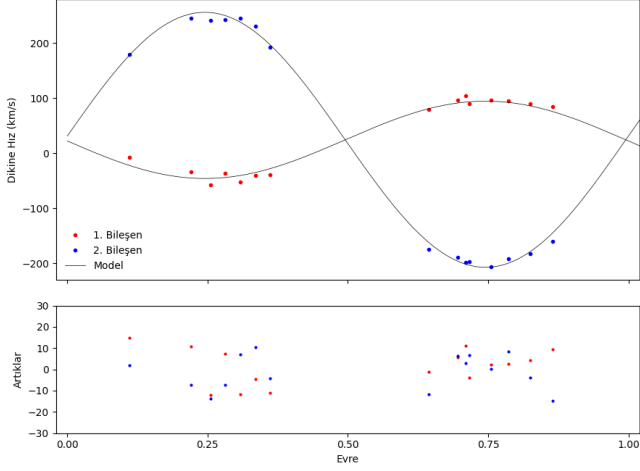
2 Gözlem Verileri ve Analizi

V376 And sisteminin tayf gözlemleri, Ankara Üniversitesi Kreiken Rasathanesi'nde bulunan T80 Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobu ve Whoppshel Tayfçekeri ile 105 μ m fiber kablo ile uyumlu FIGU ünitesi ve ona bağlı Atik 460EX CCD kamera kullanılarak alınmıştır. Gözlemler sırasıyla 21-22-28 Kasım 2021, 29 Temmuz 2022, 15-19 Ağustos 2022 tarihlerinde gerçekleştirilmiş olup, toplam 15 adet orta çözünürlüğe sahip ($R\sim 15000$) tayf elde edilmiştir. Ön indirgeme adımları, dalga boyu kalibrasyonu, dikine hız ve Doppler düzeltmesi IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) paketleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Python programlama dili ile yazılmış NSpec programı ile tayflar normalize edilmiştir. V376 And'ın ışık eğrisi, 2018 yılında uzaya gönderilen TESS'in sağlamış olduğu veriler ile 500 normal nokta oluşturularak elde edilmiştir.

2.1 Dikine Hız Eğrisi

Çift sistemin dikine hızının belirlenmesi için Broadening Function (BF) tekniği (Rucinski 1992) kullanılmıştır. Broadening Function tekniği ile dikine hız hesabı için ayrıca BD +40 3514 standart yıldızın tayfı da alınmıştır. Dikine hız hesabı için alınan tayfların 5000-5500 Å dalga boyu aralığı kullanılmıştır.

V376 And'ın dikine hız eğrisi ilk olarak Rucinski ve diğ. (2001) tarafından elde edilmiş olup, kütle oranı ve kütle merkezinin dikine hızını sırasıyla; $q=(M_2/M_1)=0.305\pm 0.005$ ve $V_\gamma=+22.83\pm 0.89$ olarak hesaplamışlardır. Bu çalışmada ise kütle oranı ve kütle merkezinin dikine hızı, sırasıyla; $q=(M_2/M_1)=0.303\pm 0.005$ ve $V_\gamma=+24.41\pm 1.43$ olarak elde edilmiştir. V376 And sisteminin gözlenen ve analiz sonucunda elde edilen kuramsal dikine hız eğrilerinin uyumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. V376 And sisteminin gözlenen (sembol) ve kuramsal (sürekli çizgiler) dikine hız eğrileri.

2.2 Fotometrik Veriler ve Eş Zamanlı Çözüm

Sistemin TESS ışık eğrisi, elde edilen dikine hızlarla birlikte, PyWD2015 (Güzel & Özdarcan 2020) programı kullanılarak, eş zamanlı olarak çözülmüştür. Baş bileşenin sıcaklığı 8350 K olarak (Zola ve diğ. 2010) belirlenmiştir. Çekim kararma katsayıları ($g_{1,2}$) 0.32, yansıma katsayıları ($A_{1,2}$) 0.5 ve yörüngenin çembersel olduğu varsayımı altında yörünge dış merkezlik parametresi (e) 0 olarak belirlenmiştir. Çözüm esnasında yörünge eğim açısı (i), yarı-büyük eksen uzunluğu (a), ikinci bileşenin etkin sıcaklığı (T_2), bileşenlerin yüzey potansiyelleri ($\Omega_{1=2}$) ve birinci bileşenin ışınım gücü (L_1) parametreleri ile ilgili evreye yerleştirilen lekeye ait boylam (λ) ve açısal yarıçap (θ), T_0 , ve P parametreleri serbest bırakılmıştır. Evrendirmeler, Çiçek (2011) tarafından verilen ışık öğelerinin güncellenmesiyle elde edilen aşağıdaki ışık öğeleri ile yapılmıştır:

$$BJD(MinI) = 2453270.57862 + 0^{(g)}.798652576 \times E. \quad (1)$$

Modellemenin gözlemsel verilerle uyumlu olabilmesi için fotometrik veriler öncelikle 0.75 evresinde soğuk leke, sonrasında 0.25 evresinde sıcak leke varlığı dikkate alınarak ayrı ayrı çözülmüştür.

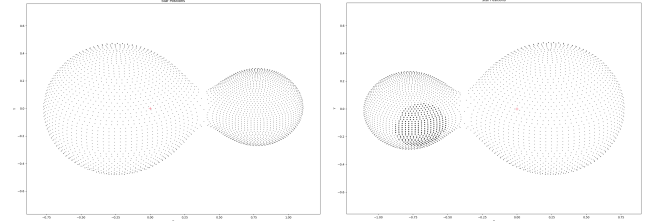
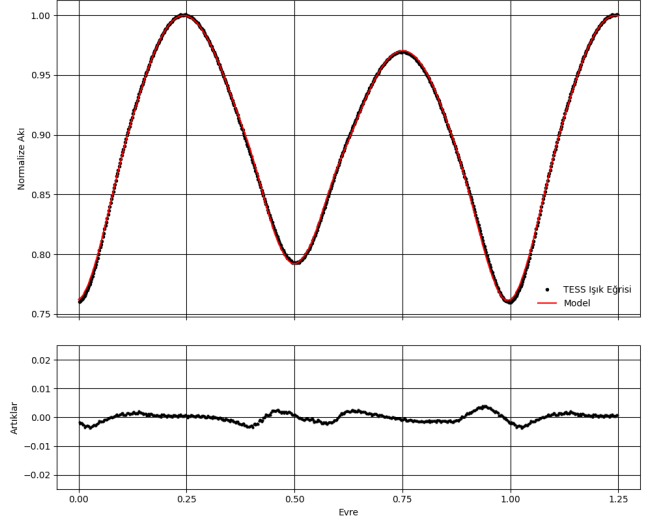
Soğuk leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüme dair model ışık eğrisi, gözlemsel veriler ve geometrik modeli Şekil 2'de sunulmuştur. Soğuk leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüm sonuçları ve sisteme dair tüm soğuk leke yaklaşımı ile yapılmış çözümler ise Çizelge 1'de verilmiştir.

Sıcak leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüme dair model ışık eğrisi, gözlemsel veriler ve geometrik modeli Şekil 3'te sunulmuştur. Sıcak leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüm sonuçları ve sisteme dair tüm sıcak leke yaklaşımı ile yapılmış çözümler Çizelge 2'de verilmiştir.

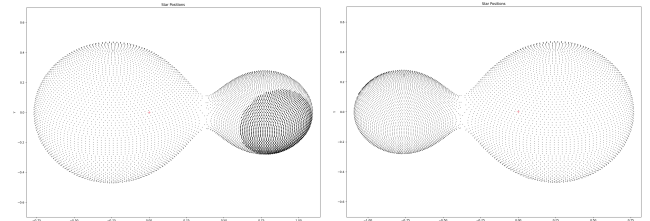
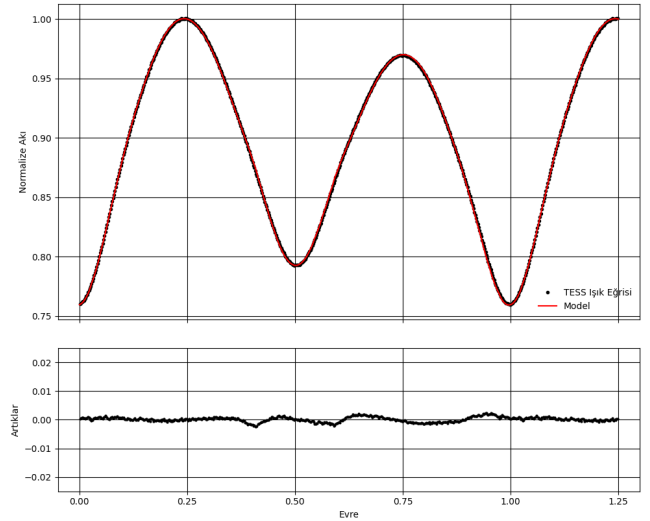
V376 And'ın bu çalışma kapsamında elde edilen mutlak parametreleri ile literatürde sunulmuş mutlak parametreleri Çizelge 3'te verilmiştir.

2.3 H α Profil Değişimi

Yıldız aktivitesi, ışık eğrisinde bir yörünge/dönme dönemi boyunca değişimler yaratırken, tayfta da bazı çizgi profillerinde



Şekil 2. Soğuk leke yaklaşımı ile ışık eğrisi çözümü ve sistemin 0.25 (sol alt panel) ve 0.75 (sağ alt panel) evrelerindeki geometrik modeli.



Şekil 3. Sıcak leke yaklaşımı ile ışık eğrisi çözümü ve sistemin 0.25 (sol alt panel) ve 0.75 (sağ alt panel) evrelerindeki geometrik modeli.

Çizelge 1. Soğuk leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüm sonuçları.

Parametre	Bu çalışma(2022)	Çiçek (2011)	Zola ve diğ. (2010)	Djurasevic ve diğ. (2008)	Dumitrescu ve diğ. (2004)
Evre kayması	-0.0047±0.0001	0.0005±0.0001	-0.0072±0.0009	-	-
i (°)	63.32±0.04	62.5±0.1	61.9±0.4	61.6±0.3	62.0±0.4
T_1 [K]	8400	9000	8350	8460	8460
T_2 [K]	7465±11	8127±11	7335±120	7620±31	7583±37
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.483±0.001	2.442±0.001	2.463±0.004	2.4096	2.3723
$q = (M_2/M_1)$	0.303±0.001	0.305	0.320 (tahmini)	0.305	0.305
$\Sigma(O-C)^2$	0.000070	0.00506 (B); 0.00879 (V)	-	0.3097	0.1745
Leke Parametreleri					
ϕ (°)	91	107±3	102.2±8.9	108.3±3.4	101.2±3.6
λ (°)	283±1	277±1	104.0±3.1	271.0±4.3	285.0±3.7
θ (°)	35±1	48±2	22.8±6	38.4±0.8	48.8±0.8
TF	0.8	0.796±0.004	0.788±0.041	0.77±0.03	0.86±0.03

Çizelge 2. Sıcak leke yaklaşımı ile eş zamanlı çözüm sonuçları.

Parametre	Bu çalışma(2022)	Çiçek (2011)	Zola ve diğ. (2010)	Djurasevic ve diğ. (2008)	Dumitrescu ve diğ. (2004)
Evre kayması	0.0007±0.0001	0.007±0.0003	-	-	-
i (°)	62.95±0.05	62.7±0.1	-	-	-
T_1 (K)	8400	9000	-	-	-
T_2 (K)	7039±11	7080±33	-	-	-
$\Omega_1 = \Omega_2$	2.418±0.001	2.464±0.001	-	-	-
$q = (M_2/M_1)$	0.303±0.001	0.305	-	-	-
$\Sigma(O-C)^2$	0.000046	0.00394 (B); 0.00758 (V)	-	-	-
Leke Parametreleri					
ϕ (°)	88	90±2	-	-	-
λ (°)	120±1	131±1	-	-	-
θ (°)	37±1	2.50±1	-	-	-
TF	1.187	1.187±0.008	-	-	-

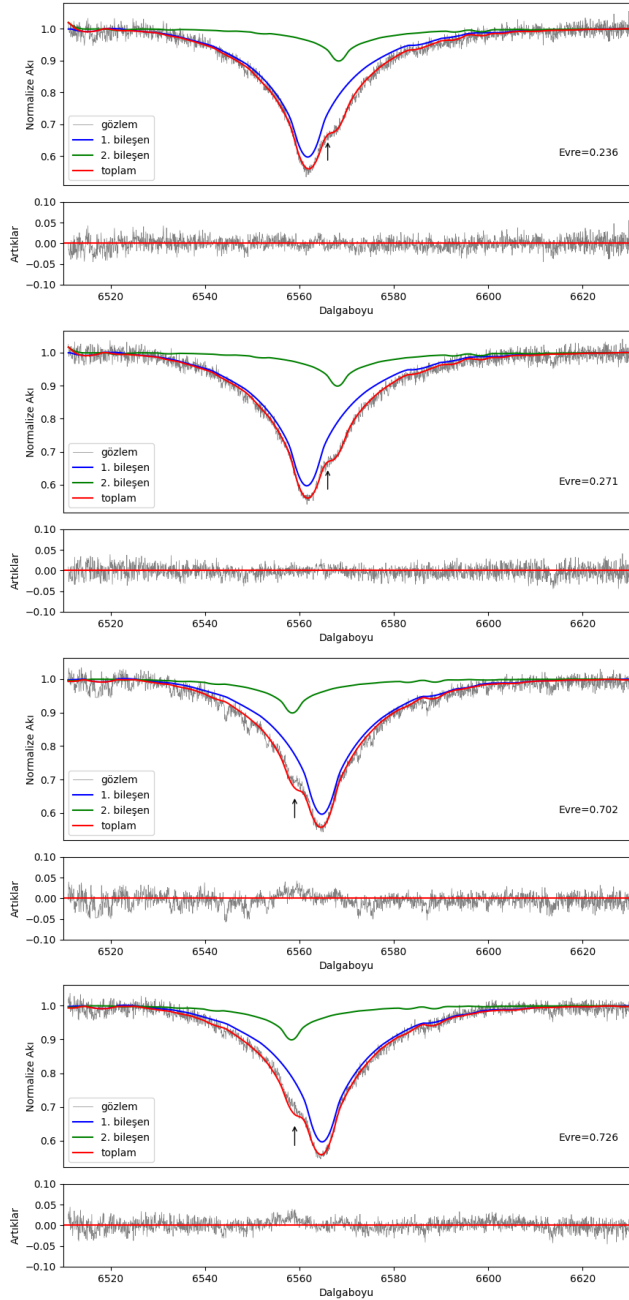
Çizelge 3. V376 And'ın mutlak parametreleri.

Parametre	Bu çalışma (Sıcak Leke)	Bu çalışma (Soğuk Leke)	Çiçek (2011)	Zola ve diğ. (2010)	Djurasevic ve diğ. (2008)	Dumitrescu ve diğ. (2004)
a (R_\odot)	5.33±0.05		5.32±0.02	5.364±0.036		5.37±0.02
M_1 (M_\odot)	2.45±0.08		2.44±0.04	2.491±0.057		2.50.04
M_2 (M_\odot)	0.74±0.03		0.74±0.03	0.759±0.031		0.76±0.03
R_1 (R_\odot)	2.67±0.03	2.69±0.03	2.60±0.03	2.662±0.019		2.75±0.03
R_2 (R_\odot)	1.58±0.02	1.63±0.02	1.51±0.02	1.549±0.011		1.68±0.03
T_1 (K)		8400	9000±200	8350		8460
T_2 (K)	7039±10	7453±11	7080±233	7335±120	7620±31	7583 ±37
$\log_1(g)$ (cgs)	3.974±0.005	3.967±0.004	3.99±0.03	-		3.96±0.03
$\log_2(g)$ (cgs)	3.91±0.01	3.89±0.01	3.95 ±0.02	-		3.88±0.03
L_1 (L_\odot)	31.81±0.67	32.33±0.72	40±4	30.441±0.434		-
L_2 (L_\odot)	5.5±0.2	7.3±0.3	5±1	6.139±0.41		-

asimetrilere neden olur. Belirli çizgilerdeki ışınım şiddet farklılığı veya salma yapısı gözlenmesi kromosferik aktivite varlığını kanıtlar niteliktedir (örn. Barden 1985; Montes ve diğ. 2000). H α çizgi profiline ait eşdeğer genişlik ölçümlerinin yürünge dönemi boyunca evreye bağlı değişimi, kromosferik aktivite ile ilişkilendirilen leke varlığına güçlü bir delil olarak kabul edilmektedir (Kaszas ve diğ. 1998). Kromosfer katmanında oluşan bu çizgi, çok aktif yıldızların tayfında sürekliliğin üstünde

salma yapısı gösterirken, daha az aktivite gösteren yıldızlarda soğurma çizgisinde ışınım şiddetinde fazlalık olarak gözlenir.

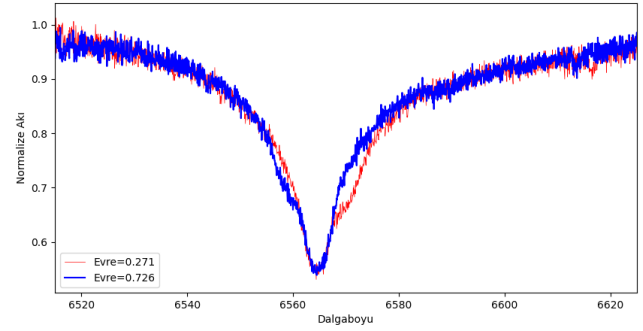
Kromosferik aktivitenin belirlenebilmesi için tayfsal çıkarma tekniği (ing. Spectral Subtraction) adı verilen bir teknik kullanılmıştır. Bu tekniğe özel olarak yazılmış IDL kodu; $v \sin i$ değeri, mutlak parametreleri, ilgili evredeki dikine hız bilgisi ve her iki bileşen için sentetik/standart yıldız tayflarını kullanarak ayrı ayrı ışınımına olan katkısını hesaplar ve yıldız tayfı üzerine



Şekil 4. Evreye bağlı profil değişimi. Gözlemsel olarak elde edilen tayf gri renkle; sentetik olarak elde edilen birinci ve ikinci bileşenden gelen ışınım katkısı ve toplam ışınım sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı renkle temsil edilmektedir.

uyumlar. Çizgi profili için oluşturulan bu sentetik tayf, yıldızın teoride olması gereken fotosfer özelliklerini göstermektedir. Oluşturulan tayf problem yıldızın tayfından çıkarıldıktan sonra sistemde kromosferik aktivitenin olması durumunda ışınım fazlalığı gözlenmelidir.

Bu çalışma kapsamında V376 And sistemi bileşenlerinin yüzeyindeki leke karakteristiğinin belirlenmesi için özellikle 0.25 ve 0.75 evresi civarındaki 4 adet tayfa tayfsal çıkarma tekniği uygulandı. Kullanılan sentetik tayflar; ATLAS modelleri kullanılarak üretilen sentetik yıldız tayfı kütüphanesinden alındı.



Şekil 5. Simetrik evrelerdeki tayfların karşılaştırılması. Kırmızı renkli tayf 0.271, mavi renkli tayf 0.726 evresine aittir.

Sentetik yıldızlar; Güneş bolluğunda, sırasıyla 8400 K, 7400 K sıcaklığında ve $\log(g)$ değeri 4.0 olarak seçildi. Bileşenlerin 0.236, 0.271, 0.702, 0.726 evrelerindeki $H\alpha$ profil değişimlerine yapılan uyumlama Şekil 4'te, simetrik evrelerde elde edilmiş tayfların $H\alpha$ çizgilerinin karşılaştırması ise Şekil 5'te verildi.

3 Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada V376 And'nin T80 Prof. Dr. Berahitdin Albayrak Teleskobu ve ona bağlı tayf çeker ile alınmış orta çözünürlüklü tayfları kullanılarak sistemin dikine hız eğrisi elde edilmiş ve sistemin fotometrik verileriyle birlikte sıcak ve soğuk leke yaklaşımıyla eş zamanlı olarak çözülüp mutlak parametreleri elde edilmiştir. Ayrıca sistemdeki leke karakteristiğinin belirlenebilmesi için $H\alpha$ çizgisinin evre bağımlı değişimi de incelenmiştir. 0.25 evresinde gözlenen ile sentetik tayf arasında $H\alpha$ çizgi şiddetinde herhangi bir fark oluşmazken 0.75 evresinde şiddet farkı görülmüştür ve bu durum da ikinci bileşende leke varlığına atfedilebilir.

Şekil 5'te simetrik evrelerdeki (0.271, 0.726) tayflar karşılaştırılmış ve ikinci bileşenden gelen katkının farklı şiddetlerde olduğu belirlenmiştir. Şekil 4'te gösterilen analiz sonuçlarından da ikinci bileşene ait $H\alpha$ katkısının olması gerekenden daha sığ olduğu ortaya çıkmıştır. Işık eğrilerinde 0.75 evresinin daha düşük ışık seviyesine sahip olması da tayfsal bulgularla birleştirildiğinde, ilgili seviye farkının ikinci bileşende bulunan soğuk leke veya lekelerin varlığı olabileceği söylenebilir.

Öte yandan sıcak leke yaklaşımıyla yapılan çözüm için $\Sigma(O-C)^2=0.000046$ olarak, soğuk leke yaklaşımıyla yapılan çözüm için $\Sigma(O-C)^2=0.000070$ olarak hesaplanmıştır. Eş zamanlı çözüm sonuçları, daha düşük $\Sigma(O-C)^2$ değerine sahip olan sıcak leke yaklaşımının daha doğru bir çözüm olduğunu göstermektedir. Ancak bu değerler çok küçük değerlerdir ve birbirleri arasındaki fark da çok küçük çıkmıştır.

Bu ikilemin çözülebilmesi için daha yüksek çözünürlüklü ve tüm evrelere dağılmış tayfların alınması, aynı zamanda daha geniş dalga boyu aralığına sahip tayflar alınarak diğer kromosferik aktivite belirteçlerinin de incelenmesi planlanmaktadır.

Kaynaklar

- Barden S. C., 1985, ApJ, 295, 162
 Çiçek C., 2011, NewA, 16, 12
 Djurasevic G., Ekmekçi F., Albayrak B., Selam S. O., Erkapic S., 2008, RMxAA, 44, 249
 Dumitrescu A., Iliev L., Tudose V., 2004, RoAJ, 14, 39

- ESA, 1997, ESASP, 1200
Güzel O., Orkun Özdarcan, 2020, ascl.soft. ascl:2004.005
Kaszas G., Vinko J., Szatmary K., Hegedus T., Gal J., Kiss L. L.,
Borkovits T., 1998, A&A, 331, 231
Montes D., Fernández-Figueroa M. J., De Castro E., Cornide M.,
Latorre A., Sanz-Forcada J., 2000, A&AS, 146, 103
O'Connell D. J. K., 1951, PRCO, 2, 85
Rucinski S. M., 1992, AJ, 104, 1968
Rucinski S. M., Lu W., Mochnacki S. W., Ogłozza W., Stachowski
G., 2001, AJ, 122, 1974
Wilsey N. J., Beaky M. M., 2009, SASS, 28, 107
Zola S., Gazeas K., Kreiner J. M., Ogloza W., Siwak M., Koziel-
Wierzbowska D., Winiarski M., 2010, MNRAS, 408, 464

Access:

M23-0369: [Turkish J.A&A](#) — Vol.4, Issue 3.