

# Kepler Verileriyle Bazı Yıldızların YüzeY Parlaklık Dağılımı Haritalaması

İbrahim Özavcı<sup>1\*</sup>, Hakan Volkan Şenavcı<sup>1</sup>, Emre Işık<sup>2</sup>, Engin Bahar<sup>1</sup>,  
Mesut Yılmaz<sup>1</sup>, Selim O. Selam<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ankara Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Göttingen, Almanya

## Özet

Bu çalışmada, *Kepler* Uzay Teleskobunun sağladığı yüksek fotometrik hassasiyete sahip, kesintisiz ve uzun zaman aralığını kapsayan fotometrik veriler kullanarak, bazı yıldızların yüzeY parlaklık dağılımlarının zaman içerisindeki değişimi incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda yıldızların yaklaşık 4 yıllık *Kepler* verileri kullanılarak, dolaylı-tersinden yöntem (light-curve inversion technique) dayalı DoTS kodu yardımıyla yıldızların yüzeY parlaklık dağılımı haritaları elde edilmiştir. Elde edilen bu haritaların zaman içerisindeki değişimi, çevrimsel bir manyetik aktivite değişimini işaret etmektedir. Bu çalışma ile çalışılan yıldızların yüzeyinde bulunan soğuk lekelerin ortaya çıkıp kaybolmaları ve lekelerin boylamlarının zaman içerisindeki değişimi (leke göçü) incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** (stars:) starspots, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

Manyetik olarak aktif yıldızların yüzeY parlaklık dağılımlarında Güneş benzeri soğuk lekelerden kaynaklı düzensizliklerin var olduğu bilinmektedir (Strassmeier 2009). Özellikle kısa dönemli yakın çift sistemlerde tutulumların dışında da leke kaynaklı ışık değişimleri gözlenebilir (Hall 1972). Yıldızlardaki manyetik aktivitenin doğasını anlayabilmek için yıldız lekelerine ilişkin parametreleri (lekelerin konumu, sıcaklığı, kapladığı alan, yaşam süresi vb.) elde etmek oldukça önemlidir. Yıldızların yüzeY parlaklık dağılımındaki düzensizlikleri belirleyebilmek için *Dopp-ler Görüntüleme*, *Moleküler Band Analizi* gibi tayfsal verilere dayanan tekniklerin yanı sıra, yüksek duyarlık ve zaman çözünürlüğüne sahip, uzun zaman aralığını kapsayan, kesintisiz fotometrik veriler de yüzeY haritalaması yapmak için uygun verilerdir (Collier Cameron 1997). Bu tür fotometrik veriler asıl amacı geçiş yöntemi ile Güneş benzeri yıldızların etrafında Dünya benzeri ötegezegen keşfetmek olan *Kepler* Uzay Teleskobu tarafından sağlanmaktadır. Bu çalışmada yüksek fotometrik hassasiyete sahip olan *Kepler* uydusu verileri kullanılarak, belirlenmiş seçim kriterlerine uygun geç tür örten çift yıldız bileşene sahip KIC 11560447 sisteminin ışık eğrileri DoTS kodu ile analiz edilerek, yüzeY parlaklık haritaları elde edilmiştir. Benzer şekilde KIC 8868650 sistemine ait çalışmaya Özavcı (2017) doktora tezinden erişilebilir.

## 2 Verilerin Hazırlanması ve Analizi

### 2.1 KIC 11560447 Çift Sisteminin Verilerinin Hazırlanması

KIC 11560447 (TYC 3564-1688-1,  $V_{max} = 11^m.1$ ) örten değişen çift sisteminin short cadence (SC) türü *Kepler* ışık eğrilerinin maksimum seviyelerinin değişimi ve minimum profillerinde görülen asimetrik yapılar, yüzeY parlaklık dağılımında düzensizlikler olabileceğini işaret etmektedir (bkz. Şekil 1). Sis-

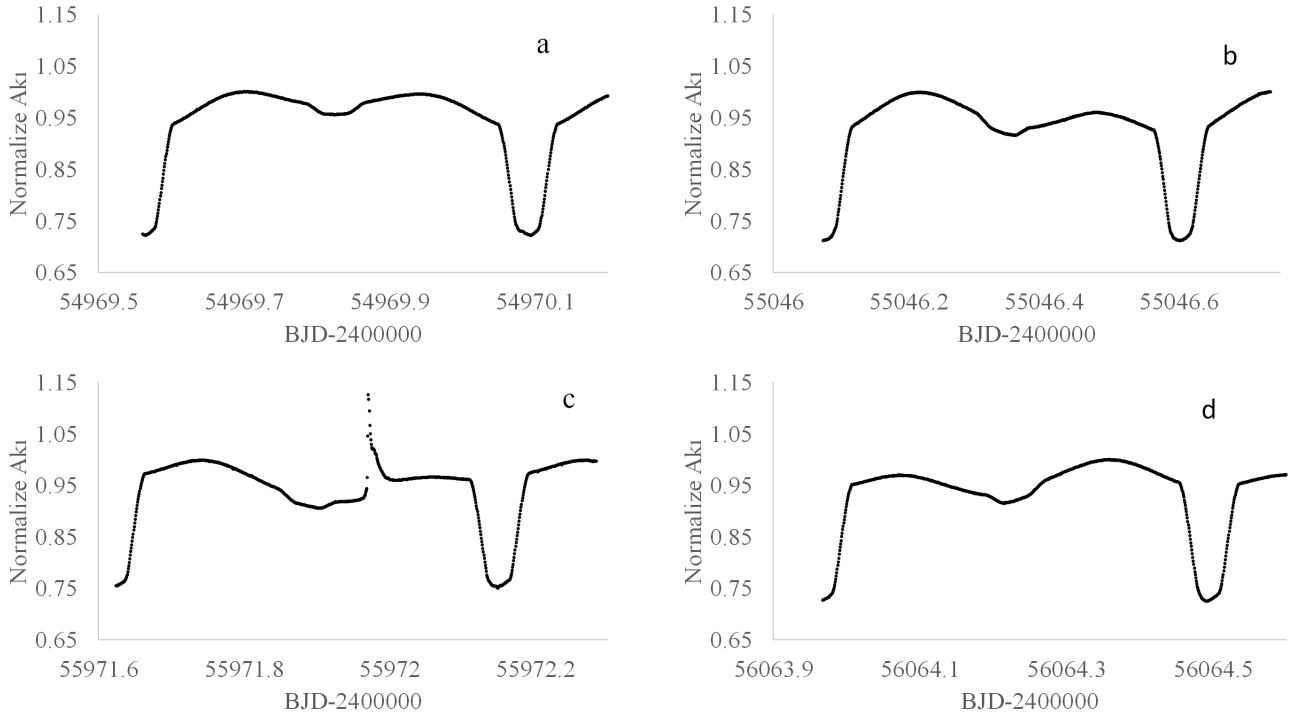
temin, McDonald Gözleminde bulunan 2.1 metrelik Otto Struve Teleskobuna bağlı Sandiford Eşel Tayfçekeri (SES) ile elde edilmiş (özel görüşme) yüksek çözünürlüklü ( $R \sim 60000$ ) tayfları kullanılarak dikine hız eğrileri elde edildi (bkz. Şekil 2 sol panel). Çift sistemin 18 quarter (0-17) long cadence (LC), 4 quarter (1, 2, 12, 13) SC türü *Kepler* verisi bulunmaktadır. Bu veriler MAST (Multimission Archive at STSci – <http://archive.stsci.edu/kepler/data/search/search.php>) veri tabanından alınarak, *Kepler* PDC (Pre-search Data Conditioning) türü veriler kullanılarak ışık eğrileri oluşturuldu. Bu çift yıldızın ışık eğrilerinde 4, 8 ve 12. quartera ait verilerde sebebinin ne olduğu belirtilmeyen bazı uyumsuzluklar gözlemlendi. Bu uyumsuzluklar, ayrıntıları Özavcı et al. (2018) 'da verilen adımlar takip edilerek giderilerek verilerin seviyesi birbirlerine uygun hale getirildi.

Sistemin bazı fiziksel parametrelerini belirlemek için Wilson & Devinney (1971) kodunun 2003 versiyonunu kullanan PHOEBE arayüzü (Prša & Zwitter 2005) kullanıldı. Bunun için SC ışık eğrileri içerisinde leke aktivitesi en az olduğu düşünülen simetrik yapıyı 30. çevrime ait ışık eğrisi kullanıldı. Yapılan  $q-i$  taraması ile en uygun parametre seti seçilerek elde edilen dikine hız eğrisi ile eş zamanlı çözümler gerçekleştirildi. Fark kare toplamları en küçük olacak şekilde baş bileşenin üzerine, enlemi  $63^\circ$ , boylamı  $7^\circ$ , sıcaklık faktörü 0.8 ve kesirsel yarıçapı  $26^\circ$  olan bir leke ilave ettiğimizde çok daha ideal bir çözüme ulaşıldı (bkz. Şekil 2 sağ panel). Elde edilen mutlak parametreler ise Çizelge 1'de verilmiştir.

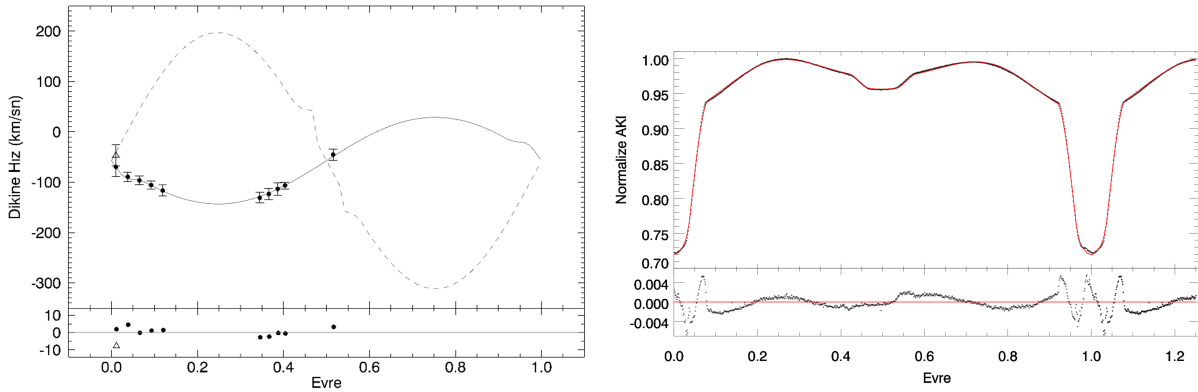
### 2.2 KIC 11560447 Çift Sisteminin DoTS Kodu ile YüzeY parlaklık Haritalarının Elde Edilmesi

Fiziksel ve geometrik parametreleri belirlenen KIC 11560447 çift sistemine Maksimum Entropi Metodu (MEM) temeline dayanan DoTS kodu ile bütün short cadence (SC) ve long cadence (LC) türü ışık eğrilerine ilişkin yüzeY parlaklık dağılımı haritaları elde edildi. Analizler esnasında  $\sim 550$  adet SC ve  $\sim 2700$  adet LC türü verilerden elde edilen haritalar uyum içerisinde (Özavcı 2017). Yaklaşık 4 yıl süreyi kapsayan ışık eğrilerine

\* iozavci@ankara.edu.tr



Şekil 1. KIC 11560447 çift sistemin SC ışık eğrilerinden bazıları ve gerçekleşen flare (c)



Şekil 2. Sol panel: KIC 11560447 çift sistemine ait dikine hız bileşenleri (siyah noktalar birinci bileşen, üçgen ikinci bileşen) ve PHOEBE ile elde edilen fit (düz çizgi birinci bileşen, kesikli çizgi ikinci bileşen için), Sağ panel: 30. çözüme ait ışık eğrisi (siyah noktalar) ve eş zamanlı çözümü elde edilen parametre seti ile oluşturulan model (kırmızı düz çizgi), alt panel modelden olan artıklar

yapılan analizlerle yüzey parlaklık dağılımlarının bir göstergesi olan görelî leke çarpanı ( $f_s$ ) değerlerinin, yıldızın boylamına göre değişimleri elde edilmiştir. Soğuk lekelerin göstergesi olan bu görelî  $f_s$  değerlerinin zamana göre boylamsal değişimini, Şekil 3'de verilen kontör grafikte yer almaktadır. Burada kahverengi tonlamaya sahip olan veriler LC, mor tonlamaya sahip olanlar ise SC türü veriler kullanılarak elde edilmiştir. Buradan da görüleceği üzere LC ile SC türü veriler oldukça uyumludur. Bu ise yaptığımız analizlerin güvenilirliğini arttırmaktadır. Sağ panelde, siyah noktalar LC, kırmızı noktalar ise SC türü veriler kullanılarak her bir çözüme ait ortalama  $f_s$  değerinin zamana göre değişimini göstermektedir. Burada yine SC ve LC türü ve-

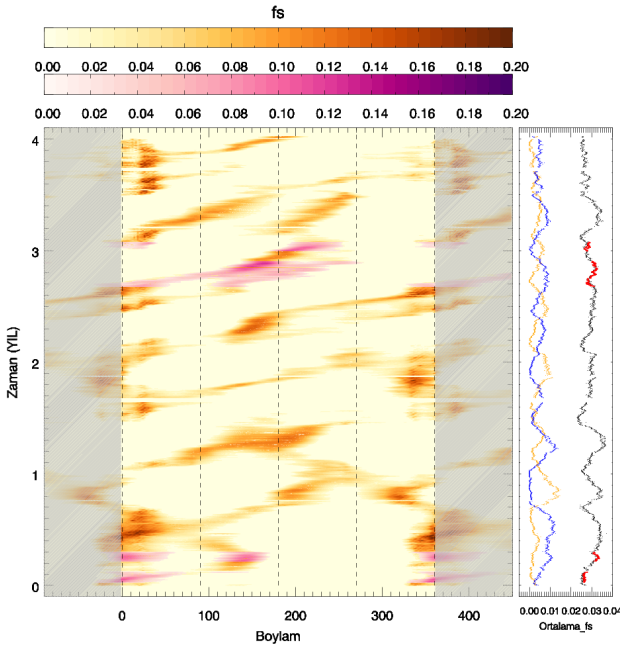
rilerden elde edilmiş sonuçların birbirleri ile uyumlu oldukları görülmektedir. Yine sağ panelde, aktif yıldızın  $90^\circ \pm 90^\circ$  boylamları arasında kalan yarıküresindeki ortalama  $f_s$  değerleri ile ( $270^\circ \pm 90^\circ$  boylamları arasında kalan diğer yarıküresindeki ortalama  $f_s$  değerlerinin zamana karşı değişimi (turuncu noktalar) verilmiştir

### 3 Araştırma Bulguları

Şekil 3'den görüleceği üzere, baş yıldızın bir yarıküresi manyetik olarak aktifken diğer yarıküre sakin olmakta ve bir süre sonra aktivitenin yönü değişmektedir. Hatta bu durum çevrimsel olarak defalarca tekrarlanmaktadır. Bu durumun gerçekçi olup ol-

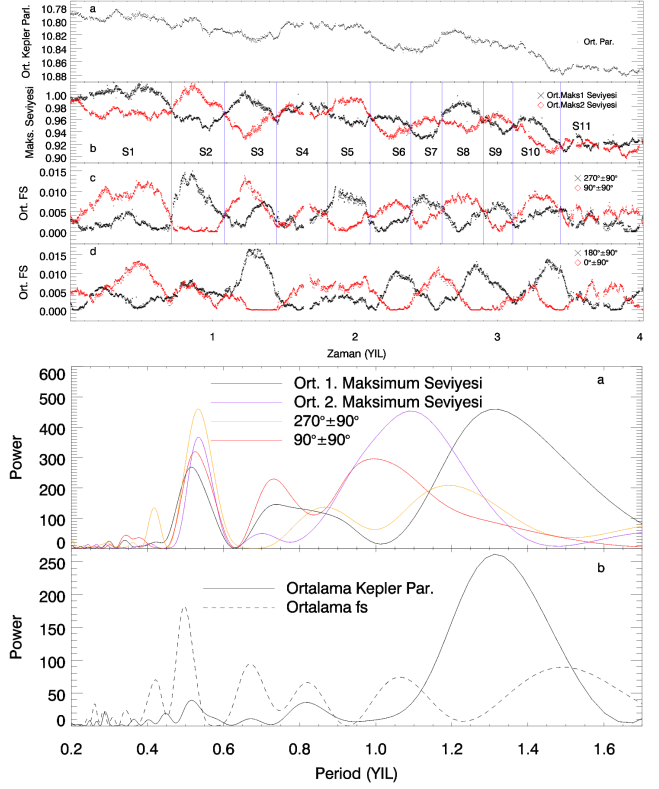
**Çizelge 1.** KIC 11560447 çift sisteminin eş zamanlı çözümünden elde edilen mutlak parametreler (parantez içindeki hatalar PHOEBE kullanılarak elde edilen formal hatalardır). Parametreler:  $T_{1,2}$  - birinci ve ikinci bileşen sıcaklıkları,  $L_1/(L_1 + L_2)$  - birinci bileşenin kesirsel ışınım gücü,  $\Omega_{1,2}$  - bileşenlerin yüzey potansiyelleri,  $q = M_2/M_1$  - bileşenlerin kütle oranı,  $i[^\circ]$  - yörünge eğimi,  $V_\gamma$  - kütle merkezinin dikine hızı,  $a [R_\odot]$  - yörünge yarı-büyük eksen uzunluğu,  $R_{1,2}[R_\odot]$ ,  $M_{1,2}[M_\odot]$  - bileşenlerin yarıçap ve kütleleri,  $M_{bol,1,2}$  bileşenlerin bolometrik parlaklıkları,  $\log g_{1,2}$  - bileşenlerin yüzey çekim ivmelerinin logaritması (cgs biriminde).

Parametre	Değer	Parametre	Değer
$T_1$ [K]	4969	$R_1$ [ $R_\odot$ ]	1.22(1)
$T_2$ [K]	3068(17)	$R_2$ [ $R_\odot$ ]	0.52(1)
$L_1/(L_1 + L_2)$	0.97(1)	$M_1$ [ $M_\odot$ ]	1.68(3)
$\Omega_1$	3.32(1)	$M_2$ [ $M_\odot$ ]	0.56(1)
$\Omega_2$	3.66(1)	$M_{bol,1}$	4.97(1)
$q = M_2/M_1$	0.33(1)	$M_{bol,2}$	8.94(4)
$i$ [ $^\circ$ ]	88.2(1)	$\log g_1$	4.49(1)
$V_\gamma$ [km/sn]	-57.2(2)	$\log g_2$	4.76(1)
$a[R_\odot]$	3.59(1)		



**Şekil 3.** KIC 11560447 çift sisteminin görelî  $fs$  değerlerinin boylamsal dağılımının, zamanın bir fonksiyonu olarak gösterimi

madığını denetlemek amacıyla sistemin  $\sim 4$  yıllık ışık eğrilerinde birinci maksimum (0.10-0.45 evre aralığı) ve ikinci maksimum (0.55-0.90 evre aralığı) bölgeleri civarındaki ortalama akı değerlerinin zamana göre değişimi incelendi. Şekil 4'de sistemin her bir yörünge dönemine ait ortalama parlaklığın zaman içinde değişimi (a), ortalama birinci ve ikinci maksimum seviyelerindeki değişim (b) ile  $90^\circ \pm 90^\circ$  boylamları ve karşı yarıküre ( $270^\circ \pm 90^\circ$ ) arası aktivite değişimi (c) arasındaki ilişki açıkça görülmektedir. Yine benzer şekilde  $0^\circ \pm 90^\circ$  boylamları arası ile karşı yarıküre ( $180^\circ \pm 90^\circ$ ) arası bir manyetik aktivite çevrimi söz konusudur (d). İkinci maksimum seviyeleri ile  $90^\circ \pm 90^\circ$  boylamları arası ortalama  $fs$  değişimi arasında kuvvetli bir ters



**Şekil 4.** Sol panel: (a) KIC 11560447 çift sisteminin Kepler ortalama parlaklık değişimi, (b) ortalama maksimum seviyelerinin değişimi, (c, d) karşılıklı iki yarıküredeki ortalama  $fs$  değişim grafikleri. Sağ panel: KIC 11560447 çift sisteminin birinci/ikinci ortalama maksimum seviyeleri değişimi ve karşılıklı iki yarıküredeki ( $270^\circ \pm 90^\circ$  ile  $90^\circ \pm 90^\circ$ ) ortalama  $fs$  değişimlerinin *Lomb Scargle* algoritması ile periyot analizi.

korelasyon bulunmuştur (korelasyon katsayısı -0.73). Yani ikinci maksimum seviyesi düştüğünde, bu evreye karşılık gelen boylamlarda ( $90^\circ \pm 90^\circ$ ) ortalama  $fs$  değeri artmaktadır. Bu durum, bir yarıküredeki leke aktivitesi artınca, ışık eğrisinin o bölgesinde bir parlaklık azalması şeklinde yorumlanabilir (Özavcı 2017).

Şekil 4 sol panelden açıkça görüldüğü gibi maksimum seviyelerinin yön değiştirme zamanları (b) ile ortalama  $fs$  değişim zamanları (c) büyük uyum içerisindedir ve her bir yön değişimi şeklinde belirtildiği gibi sektörlere ayrılmıştır. Birinci/ikinci ortalama maksimum seviyeleri değişimi ve Şekil 4.c'deki karşılıklı iki yarıküredeki ortalama  $fs$  değişimlerine *Lomb-Scargle* periyodogram algoritması ile frekans analizi yapılmıştır (bkz. Şekil 4 sağ panel a.). Benzer şekilde ortalama *Kepler* parlaklığı ve ortalama  $fs$  değerlerindeki değişimin frekans analizi de Şekil 4 sağ panel b. de verilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, yaklaşık 1.3 yıl ve 0.5 yıl civarlarında baskın iki dönemlilik gözlenmiştir. Bu veri setlerine ayrıca *Period04* programı (Lenz & Breger 2005) kullanılarak da frekans analizi yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Bu analizde de benzer sonuçlar elde edilmiştir ki birbirlerine yakın baskın iki dönem mevcuttur.

#### 4 Tartışma ve Sonuç

RS CVn türü yakın çift sistemler, yakınlık etkileri ve hızlı dönmenin de etkisiyle, yüksek derecede manyetik aktiviteye sahip olan sistemlerdir (Kovári & Oláh 2014). Dolayısıyla bu

**Çizelge 2.** KIC 11560447 çift sisteminin Şekil 4'de sağda verilen çevrimsel yapıların, Period04 programı kullanarak belirlenen baskın ilk 4 frekansı

Frekans	Maks1	Maks2	(270° ± 90°)	90° ± 90°	Ortalama Parlaklık	Ortalama Fs
	P(Yıl)	P(Yıl)	P(Yıl)	P(Yıl)	P(Yıl)	P(Yıl)
F1	<b>1.29</b>	1.07	<b>0.54</b>	<b>0.53</b>	1064.2	0.73
F2	<b>0.52</b>	<b>0.54</b>	1.04	1.01	<b>1.26</b>	<b>0.5</b>
F3	0.75	3.03	0.42	0.77	0.91	0.4
F4	3.99	0.88	1	1.08	0.54	0.35

tür sistemler, yıldızların yüzey parlak dağılımındaki düzensizliklerin incelenerek (soğuk lekelerin davranışları), sahip oldukları manyetik aktivitenin doğası ve işleyişini anlayabilmek adına ideal sistemlerdir. Bu tür çift yıldızların enlemsel/boylamsal leke dağılımlarının büyük doğrulukla belirlenebilmesi için ideal teknikler Doppler ve Zeeman-Doppler görüntüleme teknikleridir. Ancak bu tekniklerin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için, yüksek çözünürlüklü tayflara ve spektropolarimetrik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tür verilerin elde edileceği teleskop açıklığı görece büyük olmalı ve çalışılacak olan yıldızların da görece parlak olması gerekmektedir. Ayrıca Güneş'in leke çevriminin ~ 11 yıl olduğunu göz önünde bulundurulduğunda, çalışılacak olan yıldızlara ait uzun zaman aralıklarına yayılmış ve kesintisiz verilere gereksinim duyulacağı açıktır. Bu tür durumlar kısıtlayıcı unsurlar olup çalışılacak örnek yıldız sayısını ne yazık ki sınırlamaktadır. Öte yandan, kesintisiz ve uzun zaman ölçeğine dağılmış fotometrik veriler kullanılarak da yıldızların yüzey parlaklık dağılımı haritaları elde edilip, bu haritaların zaman içindeki değişimleri incelenebilir. Fotometrik yöntemler ile her ne kadar lekelerin sahip olduğu enlem bilgisi doğrudan elde edilemese de, boylamsal dağılımları ve zaman içindeki değişimleri büyük doğrulukla elde edilebilmektedir (Berdyugina 2005). Yıldızlardaki manyetik aktivite çalışmalarının sağlıklı yürütülebilmesi için, çalışılacak yıldız sayısının olabildiğince çok olması gerektiği aşikârdır. Doppler Görüntüleme Tekniği gibi yöntemlerin yukarıda bahsettiğimiz kısıtlayıcı yönlerinden dolayı, bu tür çalışmalara uygun fotometrik veriler ile yapılacak çalışmalar da ön plana çıkmaktadır. Bu tür fotometrik veriler kullanarak yapılacak çalışmalar ile örnek sayısını artırmak mümkündür. Özellikle kısa yörünge dönemine sahip çift sistemlerde beklenen aktivite çevriminin de birkaç yıl mertebesinde olacağı düşünülecek olursa (Kövári & Oláh 2014) ~ 4 yıl kesintisiz fotometrik veri sağlamış Kepler K1 görevi verileri, yıldızlardaki manyetik aktivite çalışmaları için oldukça uygundur. Bu bağlamda yaptığımız bu çalışmada RS CVn türü KIC 11560447 çift sistemlerinin ~ 4 yıllık yüzey parlaklık dağılımı haritaları, DoTS kodu ile elde edilmiştir. Sistemin ortalama maksimum seviyeleri, ortalama parlaklık ve karşılıklı yarıkürelerdeki ortalama fs değerleri kullanılarak yapılan periyodogramlarda, yaklaşık 1.3 ve 0.5 yıl gibi baskın iki dönemlilik tespit edilmiştir. Bu çevrimsel yapılar muhtemelen manyetik aktivite çevrimi olup, Oláh et al. (2009) yaptıkları çalışmada, manyetik aktivite çevrimi için elde edilen çoklu çevrimsel yapılar ile uyum içerisinde. Elde edilen bu bulguların ve öne açılmış bu tür çalışmaların devamlılığı sayesinde, yıldızlardaki manyetik aktiviteyi ve doğasını anlamak adına bir adım daha atılmıştır (Özavcı 2017).

#### Kaynaklar

Berdyugina S. V., 2005, Living Reviews in Solar Physics, 2, 8  
Collier Cameron A. X., 1997, MNRAS, 287, 556

Hall D. S., 1972, PASP, 84, 323  
Kövári Z., Oláh K., 2014, SSR, 186, 457  
Lenz P., Breger M., 2005, Communications in Asteroseismology, 146, 53  
Oláh K., et al., 2009, *aap*, 501, 703  
Özavcı I., 2017, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi  
Özavcı I., Şenavcı H. V., Işık E., Hussain G. A. J., O'Neal D., Yılmaz M., Selam S. O., 2018, MNRAS, 474, 5534  
Prša A., Zwitter T., 2005, ApJ, 628, 426  
Strassmeier K. G. X., 2009, AAPR, 17, 251  
Wilson R. E., Devinney E. J., 1971, ApJ, 166, 605

#### Erişim:

O23-1440: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.