

# KIC 11560447’de Soğuk Leke Göç Hareketi ve Flare Aktivitesi

Şeyda Enez<sup>1</sup>★, Hasan Ali Dal<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova İzmir

## Özet

KIC 11560447 sisteminin flare ve leke göç hareketlerine ilişkin elde edilen modeller ve sonuçlar sunulacaktır. Tutulmalar dışı rotation modulation kaynaklı sinüzoidal değişim 102 subset ile tanımlanmış ve bu setlerin SPOTMODEL Programı ile yapılan modellerinde bileşenlerden birinin aktivite gösterdiği, bu bileşen üzerinde  $110^\circ$  ile  $210^\circ$  boylamları arasında iki soğuk leke olduğu, lekelerin yarıçap, enlem ve boylamlarının zamanla belirli bir kural çerçevesinde hızlı değiştiği ortaya çıkarılmıştır. Eldeki veriden 226 flare parlaması belirlenip, flare parametreleri hesaplanmıştır. Flare eşdeğer süre dağılımı, One Phase Exponential Association fonksiyonu ile modellenmiş ve bu modelden Plateau değeri  $1.4114 \pm 0,1712$  s, Half-time değeri ise 2394,03 s olarak hesaplanmıştır. Sistemin  $N_1$  flare frekansı  $0.064454 h^{-1}$  olarak bulunurken,  $N_2$  flare frekansı 0.000058 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** stars: flare, Yıldızlar, Ötegezegenler

## 1 Giriş

KIC 11560447, SIMBAD Veri Tabanı’nda Algol türü örten çift ( $V=11^m.1$ ) olarak sınıflanan bir çift sistemdir. Sisteme ilişkin literatürde kıvılcık parlaklıkları,  $J=9^m.451$ ,  $H=9^m.042$ ,  $K=8^m.948$  olarak verilmiştir (Zacharias et al. 2005). Kepler Mission (Borucki ve ark. 2010) ile uzun süre gözlenen sistem hakkında literatürde çok az çalışma vardır. Bu çalışmalarda bileşenlerin kesirsel yarıçap oranlarını 1.33 (Armstrong ve ark. 2014) ve sistemin yörünge eğim ( $i$ ) açısını  $88^\circ.1$  olarak hesaplanmıştır (Özavcı ve ark. 2018), Sistemin etkin sıcaklığı 4969 K olarak bulunmuştur (Slawson ve ark. 2011). Sistemin renk artışı  $E(B-V)=0^m.07$  olarak elde edilirken (Gontcharov ve ark. 2018), bileşenlerin sıcaklık oranlarını ise 0.534 olarak hesaplamıştır (Slawson ve ark. 2011). Literatürdeki tüm fotometrik veriler üzerinde inceleme yapan Luo ve ark. (2016), KIC 11460447 için metal bolluğunu  $[Fe/H]=0.136$  olarak hesaplamıştır. Sisteme ait literatürdeki son çalışmada, bileşenlerinin kütleleri ve yarıçapları sırasıyla  $M_1=1.68 M_\odot$ ,  $M_2=0.56 M_\odot$ ,  $R_1=1.22 R_\odot$ ,  $R_2=0.52 R_\odot$  olarak bulunmuştur (Özavcı ve ark. 2018). Sistemin dönemi ilk kez Watson ve ark. (2006) tarafından 0.52768 gün olarak verilmiştir. Sistemin Tenenbaum ve ark. (2012) tarafından ise 0.53 gün olarak verilen yörünge dönemi Coughlin ve ark. (2016) tarafından ise 0.527681 gün olarak düzeltilmiştir. Diğer yandan Balona (2015), sistemin dönme dönemini 0.5263 gün olarak belirlemiştir.

## 2 Veri ve Analizler

KIC 11460447’nin fotometrik verileri Kepler Mission Veritabanından alınmıştır (Slawson ve ark. 2011; Matijevic ve ark. 2012). Kısa süreli gözlemleri, HJD 24 54964.502076 ile HJD 24 56015.031701 arasındaki çeşitli zamanlarda yapılarak, toplam 146.098346 gün sürdürülmüştür. Bu çalışma kapsamında yapılan analiz ve modellerle ilişkin ön sonuçlar burada sunulurken; çalışmayla ilgili tablo ve şekiller, çalışmanın ilerleyen sayfalarında uluslararası bir makalede sunulacaktır.

★ seydaenez93@gmail.com

## 2.1 Flare Aktivitesi

Dal ve Evren (2010, 2011) tarafından izlenene yöntemler kullanılarak sistemin sergilediği flareler ve parametreleri hesaplanır. SPSS V17.0 (Green ve ark. 1999) ve Grahpad Prism V5.02 (Dawson ve Trapp 2004) programları ile yapılan regression hesaplamaları, flare eşdeğer sürelerinin dağılımı için en iyi fonksiyonun One Phase Exponential Association olduğunu göstermiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak, flare toplam süresine göre flare eşdeğer süresinin dağılımı OPEA fonksiyonu ile modellenmiştir. Ishida ve ark. (1991) yıldız flare aktivitesi için  $N_1$  ve  $N_2$  olarak iki frekans tanımlamıştır.  $N_1$  frekansı, bir saatte hedeften tespit edilen ortalama toplam flare sayısı değerini gösterir. Bununla birlikte,  $N_2$  frekansı, hedeften saat başına salınan ortalama flare eşdeğeri süresini gösterir. Bu çalışmada  $N_1$  frekansı  $0.064454 h^{-1}$ ,  $N_2$  frekansı 0.000058 olarak bulundu.

### 2.1.1 Yıldız Leke Aktivitesi

Soğuk yıldız lekeleri kaynaklı değişimlerin modellenmesi için tüm çevrimlerin ışık eğrileri zamana göre çizilmiş ve art arda gelen çevrimler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bu çerçevede veri 102 alt sete ayrılmış ve her bir set ayrı ayrı modellenmiştir. 102 alt küme için SPOTMODEL programı kullanılarak modeller elde edilmiştir ve elde edilen modellerden her bir küme için ortalama HJD, lekelerin boylamları ( $l$ ), lekelerin enlemleri ( $b$ ) ve leke yarıçapları ( $g$ ) hesaplanmıştır.

## 3 Sonuçlar ve Tartışma

KIC 11560447 örten çift sisteminin, Kepler Uydusu ile elde edilen toplamda 146.098346 gün boyunca kesintisiz alınan short cadence verisinin analizinden, eşdeğer süre toplamı 734.792562 saniye (0.204109 saat) olan 226 flare elde edilmiştir. Bu koşullar altında, KIC 11560447 için saatteki flare sayısı olan  $N_1$  frekansı  $0.064454 h^{-1}$  ve saatte uzaya yaydığı toplam enerji ile orantılı olan  $N_2$  frekansı 0.000058 olarak hesaplanmıştır. Hali hazırdaki short cadence veriden 226 flare gibi çok sayıda flare elde edilmiş olsa da KIC 11560447’yi, UV Ceti türü tek yıldızlar ile karşılaştırdığımızda, sistemin gerçek aktivite düzeyi ortaya çıkacaktır. Bilinen klasik UV Ceti yıldızlarından bir olan AD Leo için  $N_1$  değerinin  $1.331 h^{-1}$ , EV Lac içinse  $1.056 h^{-1}$

olduğu görülür. Benzer şekilde EQ Peg için  $N_2$  değerinin 0.088, AD Leo içinse 0.086 olduğu görülür (Dal ve Evren 2011). UV Ceti türü bu tek yıldızlarla karşılaştırıldığında KIC 11560447'nin flare frekansları oldukça düşük değerlerde kaldığı görülür ki bu da sistemin flare aktivite düzeyinin görüldüğü gibi çok yüksek olmadığı anlaşılır.

Flare frekanslarının yanı sıra elde edilen 226 adet flare üzerinden logaritmik ölçekte flare toplam süresine karşılık flare eşdeğer süre dağılımının OPEA modeli çözüldüğünde, B-V renk ölçeği  $0^{m}.617$  olan KIC 11560447'nin Plateau değeri  $1.4114 \pm 0.1712$  s bulunmuştur. Klasik UV Ceti türü yıldızlarından EV Lac (B-V= $1^{m}.554$ ) için bu değer 3.014 s, EQ Peg (B-V =  $1^{m}.574$ ) için 2.935 s ve V1005 Ori (B-V =  $1^{m}.307$ ) içinse 2.637 s'dir (Dal ve Evren 2011). Bu durumda, KIC 11560447'de ortaya çıkan en şiddetli flareler için bile eşdeğer sürelerin, UV Ceti türü tek yıldızların sergilediği flarelerde ulaşılan maksimum enerji seviyesinin ancak yarı düzeyine kadar ulaşabildiği görülür. Dal ve Evren (2011), Plateau değerinin her bir yıldız için sabit olduğunu ancak yıldızdan yıldıza Plateau seviyesinin yıldızın B-V renk indeksine göre değişiklik gösterdiğini bulmuş ve yıldızın üzerinde ortaya çıkan flarelerin doyuma ulaştıkları enerji düzeyi olarak tanımlamışlardır. Gerçekten de KIC 11560447'nin B-V renk ölçeği göz önüne alındığında,  $1.4114 \pm 0.1712$  s'lik değer, bu tayf türü için beklenen bir değer olduğu anlaşılmaktadır.

KIC 11560447'nin OPEA modelinden elde edilen zaman ölçekleri hesaplandığında, benzer durumun bu parametreler için de geçerli olduğu görülmektedir. Örneğin bu sistem için Half-time parametresi 2394.03 s olarak bulunmuştur. Oysa klasik UV Ceti yıldızlarından DO Cep (B-V =  $1^{m}.604$ ) için Half-time 433.10 s, EQ Peg için 334.30 s ve V1005 Ori içinse 226.30 s olarak bulunmuştur (Dal ve Evren 2011). Bu sonuçlara göre, KIC 11560447'de ortaya çıkan flarelerin maksimum enerji seviyesine yani Plateau değerine ulaşması için geçen süreler, klasik UV Ceti yıldızlarında geçen sürenin 5 ile 10 katı arasında değişmektedir. Daha uzun sürede doyum seviyesine ulaşırken, ulaştıkları maksimum enerji seviye de klasik flare yıldızlarının ancak yarısı kadardır.

Half-time parametresine benzer şekilde, hedef yıldızda (target star) elde edilen flare parlamalarında gözlenen en uzun parlama süresi ( $T_r$ ) 4472.52 s iken; elde edilen maksimum flare toplam süresi 11475.35 s'dir. UV Ceti türü tek yıldızlarda gözlenen maksimum parlama sürelerine bakıldığında, örneğin V1005 Ori için maksimum parlama süresinin 2062 s, CR Dra içinse 1967 s olduğu görülür. V1005 Ori'de gözlenen flareler içerisinde maksimum toplam süreye ( $T_t$ ) sahip flare 5236 s sürerken, CD Dra'da 4955 s sürdüğü bulunmuştur (Dal ve Evren 2010, 2011). Elde edilen maksimum flare parlama ve flare toplam süreleri açısından da KIC 11560447'de elde edilen zaman ölçeklerinin klasik tek flare yıldızlarına göre yaklaşık 2 kat büyük olduğu görülmektedir.

KIC 11560447'in leke aktivitesine bakıldığında da sistemin yüksek kromosferik aktivite düzeyine sahip olduğu görülür. SPOTMODEL program kullanılarak 102 subset için yapılan modellemeler ile elde edilen leke enlem, boylam ve yarıçap parametrelerinin zamana göre değişimlerine bakıldığında iki lekenin ortalama boylam farkının yaklaşık 100 olduğu görülmektedir. Ancak, ikinci gözlem aralığında ikinci lekenin, boylamsal olarak hareketlendiği görülür. İlk gözlem aralığında lekelerin yarıçaplarında da belirgin bir değişim olmaz ve her iki leke benzer yarıçaplara sahipken; ikinci gözlem aralığında leke yarıçaplarında belirgin bir hareketlenme or-

taya çıkmaktadır. Leke enlemlerinin belirgin bir değişim sergilemediği anlaşılmaktadır. Sonuç olarak lekelerin sahip olduğu değişimlerin belirli bir uyum içerisinde olması bizi "her iki lekenin de aynı bileşen üzerinde olduğu" sonucuna götürmüştür. Aksi bir durum söz konusu olsa idi bu uyumlu değişimin görülmesi beklenemezdi. SPOTMODEL programı kullanılarak elde edilen sonuçlar, farklı yöntemler kullanarak hedef yıldızın leke davranışını analiz eden Özavcı ve ark. (2018)'nin elde ettiği sonuçlarla uyum içindedir.

KIC 11560447 sisteminin yaşı Morton ve ark. (2016) tarafından 2.042 Gyr olarak verilmiştir. Bu yaş değeri, hedef yıldızın sergilediği flare davranışına bir noktada açıklama getirmektedir. Hedef sistem her ne kadar çok flare sergiliyor gibi görünse de sistemin  $N_1$  flare frekansı düşük olduğu gibi,  $N_2$  frekansı da oldukça düşüktür ki bu durumda sistem çok sık flare aktivitesi sergilemediği gibi, ortaya çıkan ender flareler de hayli düşük enerjilidir. Diğer yandan leke aktivitesi açısından da sistem oldukça stabil bir değişim sergilemektedir. Tüm bunlar göz önüne alındığında, KIC 11560447 her ne kadar bir çift olsa da yaşlı bir sistemdir. Kromosferik aktivite davranışı açısından, hedef sistem aslında Skumanich (1972) tarafından ifade edilen yasa ile uyumlu davranış sergilemektedir.

#### Kaynaklar

- Armstrong, D.J., Gómez M. C. Y., Faedi, F., Pollacco, D., 2014, MNRAS, 437, 3473  
 Balona, L. A., 2015, MNRAS, 447, 2714  
 Borucki, W. J., Koch, D., Basri, G., et al., 2010, Sci, 327, 977  
 Coughlin, J. L., Mullally, F., Thompson, S. E., et al., 2016, ApJS, 224, 12  
 Dal, H. A. & Evren, S., 2010, AJ, 140, 483  
 Dal, H. A. & Evren, S., 2011, AJ, 141, 33  
 Dawson, B., & Trapp, R. G., 2004, "Basic and Clinical Biostatistics" (New York: McGraw-Hill), 61  
 Gontcharov, G. A., Mosenkov, A. V., 2018, yCat, 2354, 0  
 Green, S. B., Salkind, N. J., & Akey, T. M., 1999, "Using SPSS for Windows: Analyzing and Understanding Data" (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall), 50  
 Ishida, K., Ichimura, K., Shimizu, Y., & Mahasnaputra, 1991, Ap&SS, 182, 227  
 Luo, A.-Li, Zhao, Y.-H., Zhao, G., et al., 2015, RAA, 15, 1095  
 Matijević, G., Prša, A., Orosz, J. A., et al. 2012, AJ, 143, 123  
 Morton, T. D., Bryson, S. T., Coughlin, J. L., Rowe, J. F., Ravichandran, G., Petigura, E. A., Haas, M. R., Batalha, Natalie. M., 2016, ApJ, 822, 86  
 Özavcı, I., Senavci, H. V., Isik, E., Hussain, G. A. J., O'Neal, D., Yilmaz, M., Selam, S. O., 2018, MNRAS, 474, 5534  
 Skumanich, A., 1972, ApJ 171, 565.  
 Slawson, R., Prša, A., Welsh, W. F., et al. 2011, AJ, 142, 160  
 Tenenbaum, P., Christiansen, J. L., Jenkins, J. M., et al., 2012, ApJS, 199, 24  
 Watson, C. L., 2006, SASS, 25, 47  
 Watson, C. L., 2006, SASS, 25, 47  
 Zacharias, N., Monet, D. G., Levine, S. E., et al., 2004, AAS, 205, 4815

#### Erişim:

023-1505: UAK-2018 Program — UAK Bildiri — Turkish J.A&A.