

# Küçük Kütleli Yakın Örten Çift Yıldız KIC09821078’de Gözlenen Yüksek Flare Aktivitesi

Şeyda ENEZ<sup>1</sup> , Hasan Ali DAL<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye

ORCID: Ş.E. 0000-0001-9530-1436; H.A.D. 0000-0002-1078-6620

## ÖZ

KIC09821078 sistemine ait *Kepler* uydusunun fotometrik verileri kullanılarak sistemin veri analizi yapıp, flare aktivitesine ilişkin elde edilen model sonuçları sunulacaktır. Sistemin literatürde ilk kez ışık eğrisi analizi yapılarak, sistemin  $0.574 M_{\odot}$  ve  $0.442 M_{\odot}$  kütlelerinde,  $0.598 R_{\odot}$  ve  $0.529 R_{\odot}$  yarıçaplara sahip iki düşük kütleli bileşenden oluştuğu anlaşılmıştır. Kısa poz süreli veri üzerinden 195 adet flare belirlenmiştir. Bu parametreler ile sisteme ait iki ayrı OPEA modeli elde edilmiş ve Plateau değeri birinci model için  $1.578 \pm 0.117$  sn ikinci içinse  $1.735 \pm 0.099$  sn, Half-time değerleri ise  $1826.87$  sn ve  $1138.10$  sn olarak hesaplanmıştır. Sistemin flare frekansı ise  $0.02345 \text{ h}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

## 1. Giriş

Bilindiği üzere gökadamızın %65’i kırmızı cücelerden oluşmakta olup, bu topluluğun %75’i ise flare aktivitesi gösteren yıldızlardır (Rodono, 1986). Bu çalışmada incelenen KIC 09821078 de gökada çoğunluğunu oluşturan bu topluluğa üyedir. Bu yıldızların sergiledikleri flare aktivitesi kaynaklı kromosferik kütle kaybının, yıldızın evriminde kayda değer bir etkisi vardır. Kütle kaybı, yıldız evrimini etkileyen temel parametrelerden biridir ve özellikle küçük kütleli yıldızların evrimini belirlemede büyük rol oynar. UV Ceti türü yıldızlarda kütle kaybı düzeyi, flare etkisi ile birlikte yılda ortalama  $10^{-10} M_{\odot}$  düzeyine ulaşmaktadır. Flare aktivitesi kaynaklı kromosferik kütle kayıplarının yıldız evrimine olan etkisi, benzer yıldız sayısının fazlalığı ile gökada evrimine de etki eder.

Devor ve diğ. (2008), KIC 09821078’in bileşenlerinin fiziksel parametrelerinden kütle, yarıçap ve sıcaklıklarını, sırasıyla,  $M_1 = 0.6795 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 0.5226 M_{\odot}$ ,  $R_1 = 0.634 R_{\odot}$ ,  $R_2 = 0.525 R_{\odot}$ ,  $T_1 = 4150 \text{ K}$  ve  $T_2 = 3700 \text{ K}$  olarak vermiştir. Sistemin ( $i$ ) açısı  $89^{\circ}.02$  olarak hesaplanırken (Eker ve diğ., 2014), etkin sıcaklığı  $4268 \text{ K}$  olarak bulmuştur.

Submitted/Başvuru: 27.09.2019 Accepted/Kabul: 31.01.2020

Corresponding author/Sorumlu yazar: Şeyda Enez, Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye. E-mail: seydaenez93@gmail.com

Citation/Atıf: Enez & Dal 2021, in: Küçük Kütleli Yakın Örten Çift Yıldız KIC09821078’de Gözlenen Yüksek Flare Aktivitesi, eds. S. Ak & S. Bilir, *Galactic Astronomy Workshop Proceedings Book*, 171. <https://doi.org/10.26650/PB/PS01.2021.001.020>

Bu çalışma kapsamında öncelikle sistemin ışık eğrisi analizi yapıлып, fiziksel parametreleri bulunmaya çalışılmış ve ardından aktivite kaynaklı değişimleri belirlenip, modellenecektir. Bu modeller sonucunda elde edilen parametreler, benzer sistemlerden elde edilenler ile karşılaştırılacaktır.

## 2. Veri ve Analizler

KIC 09821078 sistemi, SIMBAD veri tabanında Algol türü örten çift olarak sınıflanan bir sistemdir. Sisteme ait veri *Kepler* veri tabanından alınarak sistemin zamana göre akı değişimi ve sistemin yörünge dönemine göre hesaplanan evreye göre akı değişiminin nasıl olduğu incelenmiştir.

Işık eğrisinde iki farklı değişim göze çarpmaktadır. Birincisi örtme ve örtülmelerden kaynaklanan tutulmalar, ikincisi ise bu değişimin dışında anlık flare parlamalarıdır.

### 2.1. Dönem Değişimi (O-C) Analizi

Sistemin uzun poz süreli *Kepler* verisi üzerinden minimum zamanları hesaplanmıştır. Elde edilen minimum zamanlarından, [Slawson ve diğ. \(2011\)](#) tarafından verilen HJD 24 54965.29148 epoch ve 8.4294375 günlük yörünge dönemi ile (O-C) sapmaları belirlenmiştir. Bu analizlerle sağlıklı 393 minimum zamanı tespit edilerek, elde edilen bu (O-C) sapmalarına doğrusal düzeltme uygulanmış ve Eşitlik 1 ile verilen düzeltilmiş ışık ögeleri elde edilmiştir:

$$\text{HJD} = 24\,54965.29425 (2) + 8^d.4294375 (2) \times E \quad (1)$$

Minimum zamanlarına doğrusal düzeltme yapıldıktan sonra elde edilen artıkların (O-C II) zamana göre değişimi incelenmiştir.

### 2.2. Işık Eğrisi Analizi

Sisteme ait long cadence formatındaki veriden elde edilen ışık eğrilerinin ortalamaları alınarak analiz için kullanılacak ortalama ışık eğrisi elde edilmiştir.

Işık eğrisi analizi, Wilson-Devinney kodunun 2003 tabanlı PHOEBE V.0.32 yazılımı ([Prsa ve Zwitter, 2005](#)) ile yapılarak, sistem çözülmüş ve sentetik ışık eğrisi elde edilmiştir. Çözüm parametreleri, Tablo 1’de listelenmiştir.

**Tablo 1.** KIC 09821078’in ışık eğrisi analizi ile elde edilen fiziksel parametreleri.

Parametre	Değer	Parametre	Değer
$q$	0.77±0.03	$L_3/L_T$	0.005±0.001
$i$ (°)	88.95±0.01	$g_1, g_2$	0.32 (sabitlenmiş)
$T_1$ (K)	4060 (sabitlenmiş)	$A_1, A_2$	0.50 (sabitlenmiş)
$T_2$ (K)	3580±2	$x_{1,bol}, x_{2,bol}$	0.597, 0.598 (sabitlenmiş)
$\Omega_1$	29.801±0.115	$x_1, x_2$	0.799, 0.799 (sabitlenmiş)
$\Omega_2$	26.428±0.106	$\langle r_1 \rangle$	0.0344±0.0001
$L_1/L_T$	0.789±0.047	$\langle r_2 \rangle$	0.0304±0.0001

### 2.3. Flare Aktivitesi ve OPEA Modeli

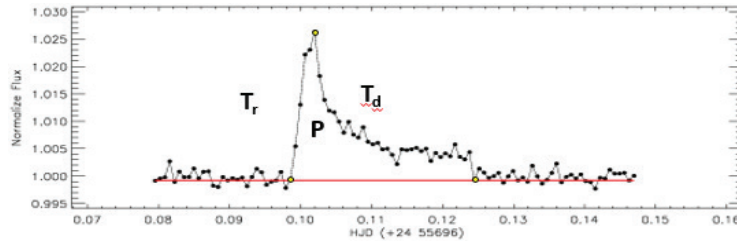
Flare başlangıç ve bitiş noktaları ve flare enerjisi gibi parametrelerin belirlenebilmesi için sistemin flare dışı sakin düzeyi sentetik bir fourier eğrisi ile temsil edilerek flare tespitleri yapılmıştır. Sistemin tutulmalar dışı (out-of-eclipses) değişimlerinin modellenmesinin ardından, flare parametreleri hesaplanmıştır.

Flarenin başlangıç ve bitiş zamanları belirlendikten sonra flare parlama ( $T_r$ ) ve sönümlenme ( $T_d$ ) zamanları, flare genliği, eşdeğer süresi ( $P$ ) hesaplanmıştır.

Sistemin *Kepler* veri tabanında alınan gözlem verisinden toplam 195 adet flare tespit edilmiştir. Tüm flarelerin eşdeğer süreleri [Gershberg \(1972\)](#) tarafından tanımlanan Eşitlik (2) ile hesaplanmıştır.

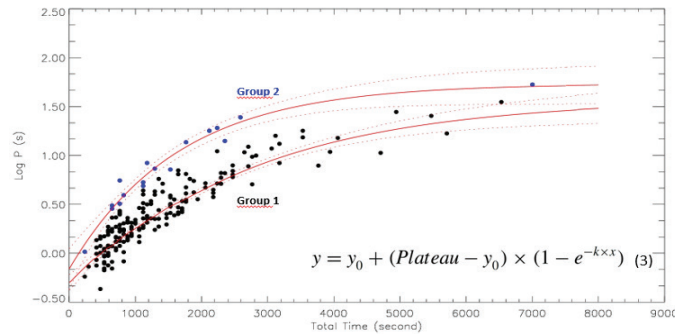
$$P = \int [(I_{flare} - I_0)/I_0] dt \quad (2)$$

Hesaplanan flare parametrelerinin birbirleriyle ilişkileri incelendiğinde, flare eşdeğer süresinin flare toplam süresine göre belirli bir kural çerçevesinde değiştiği görülür. [Dal ve Evren \(2010, 2011\)](#) tarafından yapılan çalışmalarda, flare eşdeğer sürelerinin dağılımı için en iyi fonksiyonun, One Phase Exponential Association (OPEA) olduğunu göstermiştir. Eşdeğer sürelerinin dağılımını tanımlayan bu fonksiyon 3 numaralı eşitlik ile tanımlanır.



**Şekil 1.** KIC 09821078'e ait veriden tespit edilmiş flare örneği. Şekilde içi dolu noktalar gözlem verisini gösterirken, düz kırmızı çizgi, yıldızın sakin düzeyi olarak kabul edilen sentetik eğriyi göstermektedir.

Ancak 195 adet flare tek bir OPEA modeli ile modellenememiştir. Model parametrelerinden Plateau ve  $R^2$  değerleri incelendiğinde flarelerin 17 tanesi Grup 2 olarak ayrılmış ve ikinci bir OPEA modeli ile modellenmiştir. Elde edilen OPEA model parametreleri Tablo 2'de sunulmuştur.



**Şekil 2.** Analizlerde tespit edilen 195 flare üzerinden elde edilen OPEA modeli. Şekilde içi dolu noktalar tespit edilen flareleri gösterirken, düz çizgi ise OPEA modelini göstermektedir.

KIC 09821078 sistemine ait gözlemlerde 195 adet flare tespit edilmiştir. Bu 195 flarenin 178 tanesi Grup 1'e, 17 tanesi Grup 2'ye aittir.

**Tablo 2.** En küçük kareler yöntemi ile OPEA modelinden elde edilen parametreler.

Parametre	Değer		%95 için Değer	Güven Aralığı
	Grup 1	Grup 2	Grup 1	Grup 2
$y_0$ (sn)	-0.2986±0.0406	-0.1613±0.0965	[-0.3781, -0.2191]	[-0.368221, 0.0457211]
Plato (sn)	1.5775±0.1170	1.7353±0.0985	[1.3482, 1.8068]	[1.5241, 1.9466]
Tau	2635.62	1641.93	[2113.75, 3499.66]	[1264.05, 2342.08]
Yarı-ömür (sn)	1826.87	1138.00	[1465.14, 2425.78]	[876.17, 1623.41]
$R^2$	0.87	0.96	---	---

Tablo 3'te tüm gözlem verisi ve elde edilen flarelerden ulaşılan toplam gözlem süresi, flare sayısı, toplam eşdeğer süre, saatte flare frekansı ve toplam eşdeğer süresinin flare frekansına oranı verilmiştir.

Ishida ve diğ. (1991) tarafından yapılan çalışmada flare aktivitesi için iki farklı flare frekansı tanımlanmıştır. Bu frekanslar Eşitlik (3) ve (4) ile ifade edilir:

$$N_1 = \sum n_f / \sum T_i \quad (3)$$

$$N_2 = \sum P / \sum T_i \quad (4)$$

Burada  $\sum n_f$  elde edilen toplam flare sayısı,  $\sum T_i$  yıldızın toplam gözlem süresini tanımlar.  $\sum P$  ise elde edilen tüm flarelerin eşdeğer süreleri toplamıdır.

**Tablo 3.** Elde edilen 195 flare üzerinden hesaplanan parametreler.

Parametre	Tüm	Grup 1	Grup 2
Toplam Gözlem Süresi (sn)	8315.897158	8315.897158	8315.897158
Flare Sayısı	195	178	17
Toplam Eşdeğer Süre (sn)	889.432263	694.368818	195.063445
$N_1$ ( $h^{-1}$ )	0.023449	0.021405	0.002044
$N_2$	0.00003	0.00002	0.00001

### 3. Tartışma ve Sonuç

Kepler veri tabanından alınan veriler ile oluşturulan ışık eğrilerinden, toplam 393 minimum zamanı elde edilmiş ve zamanla değişimi incelenmiştir. Sistemin ışık eğrisi analizi literatürde ilk kez yapılmış ve elde edilen çözüm sonuçlarına göre, sistemin yörünge eğim açısı  $i = 88^\circ.95 \pm 0^\circ.01$  olarak bulunmuştur. Baş bileşenin sıcaklığı literatürde verildiği gibi 4060 K olarak alınır, yoldaş bileşenin sıcaklığı 3580 K olarak elde edilmektedir. Sistem bileşenlerinin  $0.574 M_\odot$  ve  $0.442 M_\odot$  kütlelerinde,  $0.598 R_\odot$  ve  $0.529 R_\odot$  yarıçaplara sahip oluşu ve sıcaklıkları göz önüne alındığında iki düşük kütleli kırmızı cüce bileşen olduğu anlamına gelir. Sistemin kısa poz süreli verisi üzerinden toplam 195 flare tespit edilmiştir. Dal ve Evren'in (2011) daha önce yapmış oldukları OPEA modeli ile tespit edilen flareler modellenmeye çalışılmış ancak istatistiksel olarak kabul edilebilir sonuçlar ancak iki ayrı OPEA modeli ile temsil edildiğinde ulaşılmıştır.

OPEA modellerine göre toplamda 195 flare üzerinden, 178'i Grup 1, 17'si ise Grup 2 olarak iki ayrı OPEA modeli ile temsil edilmiştir. Tablo 3'te listelendiği gibi, her iki grup için  $N_1$  ve  $N_2$  flare frekansları hesaplanmıştır. Flare frekansları incelendiğinde birinci grubu oluşturan kaynağın ikinci grubu oluşturan kaynağa göre çok daha sık flare aktivitesi sergilediği ancak ikinci kaynaktan gelen flarelerin, birinci kaynağın flarelerine göre çok daha yüksek enerjili olduğu anlaşılmaktadır. Gerek ışık eğrisi gerekse de tutulmalar dışı değişimin analiz sonuçlarına göre KIC 09821078, her iki bileşeni de soğuk yıldız leke aktivitesi göstermeyen ancak flare aktivitesi sergileyen kromosferik aktif küçük kütleli yakın örten çift yıldız sistem olduğu anlaşılmaktadır.

## Kaynaklar

- Dal, H.A., Evren, S., 2010, AJ, 140, 483  
Dal, H.A., Evren, S., 2011, AJ, 141, 33  
Devor, J., Charbonneau, D., O'Donovan, F. T. ve diğ., 2008, AJ, 135, 85  
Eker, Z., Bilir, S., Soyduğan, F. ve diğ., 2014, PASA, 31, 24  
Gershberg, R.E., 1972, Ap&SS, 19, 75  
Ishida, K., Ichimura, K., Shimizu, Y., Mahasenaputra, 1991, Ap&SS, 182, 227  
Prvsa, A., Zwitter, T., 2005, ApJ, 628, 426  
Rodono, M., 1986, NASSP, 492, 409  
Slawson, R., Prsa, A., Welsh, W.F. ve diğ., 2011, AJ, 142, 160

