

## FLARE MEKANİZMALARININ KARŞILAŞTIRILMASI AÇISINDAN AD LEO VE DO CEP FLARELERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Hasan Ali DAL ve Serdar EVREN

*Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100 Bornova-İZMİR*  
[ali.dal@ege.edu.tr](mailto:ali.dal@ege.edu.tr), [serdar.evren@ege.edu.tr](mailto:serdar.evren@ege.edu.tr)

**Özet:** AD Leo ve DO Cep'e ait 3 yıllık fotometrik flare taraması sonuçlarını sunuyoruz. AD Leo'nun 92.34 saatlik flare taramasında, U bandında 175, B bandında ise 94 flare yakalanmıştır. AD Leo'da flare taraması sırasında V ve R bandlarında da gözlem yapılmıştır. V ve R bandı gözlemlerinde yıldızın leke aktivitesi incelenmiştir. DO Cep'in 67.61 saatlik flare taramasında U bandında 23 ve B bandında 19 flare yakalanmıştır. Her iki yıldızda da U ve B bandlarında yakalanan her bir flare için genlik, parlama ve sönümlenme süreleri, eşdeğer süre, U-B renk ölçekleri hesaplanmıştır. Bu verinin istatistiksel analizi çeşitli sonuçlar ortaya koymaktadır. 2005 ve 2007 yılları arasında AD Leo'nun V ve R bandı gözlemleri belirgin bir leke aktivite değişimi göstermemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Yıldızlar: aktivite – flare – flare mekanizmaları*

**Abstract:** The results of 3 years of photometric flare monitoring of the flare star AD Leo and DO Cep are presented. 175 flares in the U band and 94 flares in the B band were detected during the total monitoring period of 92.34 hours for AD Leo. Besides, during the flare monitoring some observations were made in the V and R bands. The stellar modulation was searched in the V and R observations. And during the total flare monitoring period of 67.61 hours for DO Cep, 23 flares in the U and 19 flares in the B bands were

detected. The amplitude, the rise and decay times, the equivalent duration, U-B index were measured for each flares in the U and B bands for both stars. Some results are shown with a statistical analysis of this data. Observations of AD Leo in the V and R bands do not show any clear variation about stellar modulation on AD Leo between 2005 and 2007.

Key Words: *Stars: activity – flare – flare mechanisms*

## 1. Giriş

Bu çalışmada, AD Leo ve DO Cep'in gözlem verisinden elde edilen ilk sonuçlar sunulacaktır. AD Leo, Gershberg (1999)'un kataloğunda dM4.5e – M3 tayf türünden bir flare yıldızı olarak sınıflanmaktadır. Uzaklığı 4.9 pc olan AD Leo,  $0.28 M_{\text{Güneş}}$  kütlesinde ve  $0.54 R_{\text{Güneş}}$  yarıçapındadır (Gershberg ve diğ., 1999). DO Cep ise aynı katalogta dM4.5e – M4 tayf türünden ve 4 pc uzaklığından bir flare yıldızı olarak sınıflanmaktadır. DO Cep de  $0.28 M_{\text{Güneş}}$  kütlesinde ve  $0.4 R_{\text{Güneş}}$  yarıçapındadır (Gershberg ve diğ., 1999). AD Leo ve DO Cep için literatür tarandığında AD Leo'nun aktivite düzeyi, DO Cep'e göre daha yüksek olduğu görülmektedir. AD Leo'nun flare aktivitesine sahip olduğu ilk kez Gordon ve Kron (1949) tarafından gösterilmiştir (Gordon ve Kron, 1949). AD Leo, Castor moving group üyesi olan ve yaklaşık 200 milyon yıl yaşında bir kırmızı cücedir (Montes ve diğ., 2001). DO Cep ise "Gökada Yaşlı Disk" üyesidir (Veeder, 2001). Literatür incelendiğinde, yaşlarıyla doğru orantı olarak bu iki yıldızdan AD Leo'nun DO Cep'e göre daha baskın bir flare aktivitesine sahip olduğu görülmektedir. Literatürde AD Leo'nun leke aktivitesi gösterip göstermediği tartışmalıdır. Chugainov (1974), Mullan (1974) ve Anderson (1979)'un çalışmalarında AD Leo'da leke aktivitesine ilişkin bir belirteç bulunamamıştır. Panov (1993) ise yıldızın 2.7 günlük bir ışık değişimi gösterdiğini rapor etmiştir. DO Cep ise leke aktivitesi göstermemektedir. Bu çalışmada, AD Leo ve DO Cep flare parametreleri karşılaştırılacaktır. Bu parametreler, iki yıldızda flare mekanizmaları hakkında bilgi verecektir. Bununla birlikte AD Leo'da uzun yıllara dayanan gözlem verileri üzerinden flare frekansı değişimi ve son 3 yıllık UBVR verisi üzerinden leke aktivitesi incelenecektir.

## 2. Gözlemler

AD Leo 2005, 2006 ve 2007 yıllarında 3 gözlem sezonu, DO Cep ise 2006 ve 2007 yıllarında olmak üzere 2 gözlem sezonunda Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde 48 cm'lik Cassegrain türü teleskop ve *Üç Kanallı Hızlı Fotometre* ile UBVR süzgeçleri kullanılarak gözlenmiştir. AD Leo'nun gözlemlerinde HD 89772 mukayese yıldızı ve HD 89471 ise denet yıldızı olarak seçilirken, DO Cep için HD 239952 mukayese, SAO 34476 denet yıldızlarıdır. Tüm gözlem noktaları, atmosferik sönmükleştirme etkisinden arındırılmış ve gözlem zamanları güneş merkezine indirgenmiştir. AD Leo'nun leke aktivitesinin incelenmesi için gözlem noktaları, Panov (1993) tarafından verilen aşağıdaki ışık öğeleri kullanılarak evrelendirilmiştir;

$$T = \text{HJD } 2449099.4890 + 2^{\text{g}}.7 \times E \dots\dots\dots(1)$$

AD Leo'nun leke aktivite gözlemleri UBVR'de 10'ar saniye poz süresi ile yapılmıştır. Hem AD Leo hem de DO Cep'de flare taramaları ise U ve B süzgeçlerinde yapılmıştır. Flare taramalarında, gecenin astronomik görüş kalitesi ve yıldızın gökyüzündeki konumuna göre U bandında 7 – 10 saniye, B bandında ise 3 – 5 saniye aralıklarında poz süreleri kullanılmıştır. AD Leo'nun mukayese ve denet yıldızlarının standart parlaklıkları, Landolt (1992)'den seçilen BD-12° 2918 (B-V = 1<sup>m</sup>.501)'in gözlemleri ile elde edilmiştir. DO Cep'in mukayese yıldızını Landolt (1983)'den seçilen SAO 114 473 (B-V = 1<sup>m</sup>.008)'ün, denet yıldızını ise Oja (1996)'dan seçilen BD+45° 3320 (B-V = 0<sup>m</sup>.551)'nin gözlemleriyle elde edilmiştir.

**Tablo 1:** AD Leo ve DO Cep'in elde edilen salt parlaklıkları.

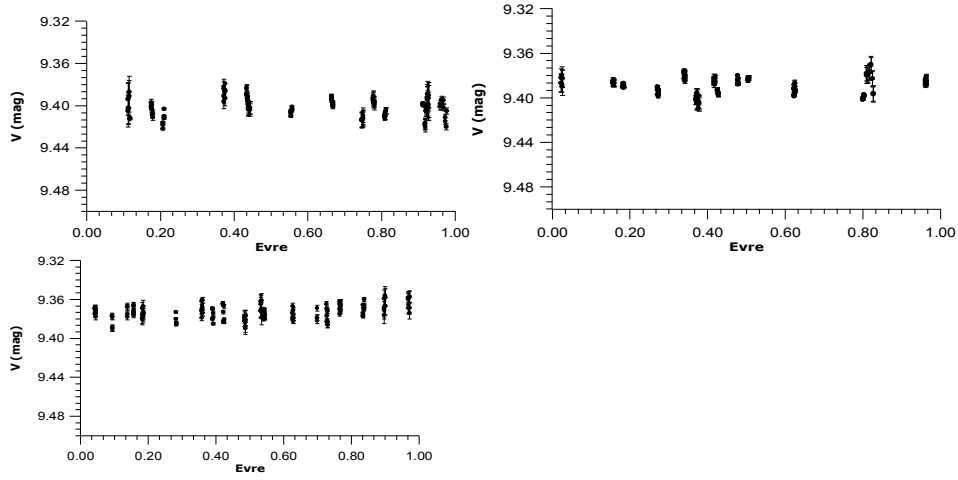
Yıldız	Uzaklık (pc)	M <sub>U</sub> (mag)	M <sub>B</sub> (mag)	M <sub>V</sub> (mag)	M <sub>R</sub> (mag)
AD Leo	4.9	13.393	12.435	10.937	9.825
DO Cep	4.0	14.590	13.078	-	-

**Tablo 2:** AD Leo ve DO Cep'in elde edilen ışıtmaları.

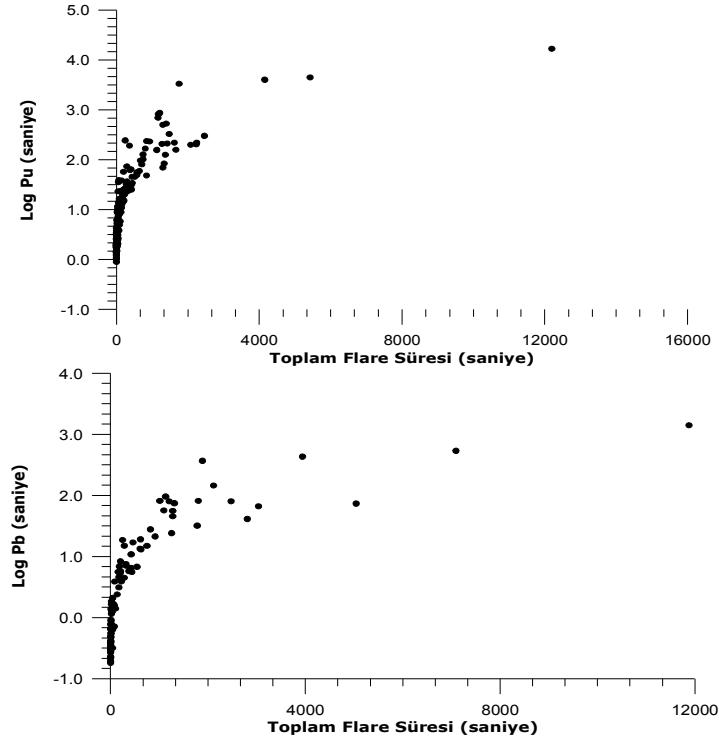
Yıldız	L <sub>U</sub> (erg/s)	L <sub>B</sub> ( erg/s )	L <sub>V</sub> ( erg/s )	L <sub>R</sub> ( erg/s )
AD Leo	1.33E+30	2.70E+30	5.89E+30	9.99E+30
DO Cep	4.42E+29	1.78E+30	-	-

Her iki değişenin mukayese ve denet yıldızlarının diferansiyel parlaklıklarına bakıldığında,  $3\sigma$ 'nın üzerinde belirgin bir değişim görülmemektedir. AD Leo ve DO Cep'in görsel parlaklıkları ve Gershberg (1999)'dan alınan uzaklıklarıyla  $M_U$ ,  $M_B$ ,  $M_V$  ve  $M_R$  salt parlaklıkları hesaplanmıştır. Ayrıca Güneş'in, (Allen, 2000)'den alınan  $M_{U\odot}$ ,  $M_{B\odot}$ ,  $M_{V\odot}$  ve  $M_{R\odot}$  salt parlaklıkları ile  $L_{U\odot}$ ,  $L_{B\odot}$ ,  $L_{V\odot}$  ve  $L_{R\odot}$  ışıtmaları kullanılarak, yıldızların  $L_U$ ,  $L_B$ ,  $L_V$  ve  $L_R$  ışıtmaları elde edilmiştir. Hesaplanan bu değerler Tablo 1 ve 2'de listelenmiştir. Panov (1993)'den alınan ışık öğeri kullanılarak AD Leo'nun UBVR ışık eğrileri elde edilmiştir. Şekil 1'de, 3 gözlem sezonuna ilişkin V bandı ışık eğrileri görülmektedir. Şekil 1 dikkatli incelenirse, bir gözlem sezonu içerisinde AD Leo'nun parlaklığında  $3\sigma$ 'nın üzerinde bir değişim görülmemektedir. Ancak, arka arkaya gelen 3 sezonda yıldızın ortalama parlaklık düzeyinde yaklaşık 0.02 kadirlik bir artış görülmektedir. Flare taramaları sırasında AD Leo'da U bandında 175, B bandında 94 flare yakalanmıştır. DO Cep'de ise, U bandında 23, B bandında 19 flare yakalanmıştır. Bu çalışmada gözlemlerde elde edilen flare verisi, AD Leo'nun literatürde U bandında yayınlanmış 328 flare, B bandında 97 flare ve DO Cep'in U bandında 37 flare ile karşılaştırılmıştır.

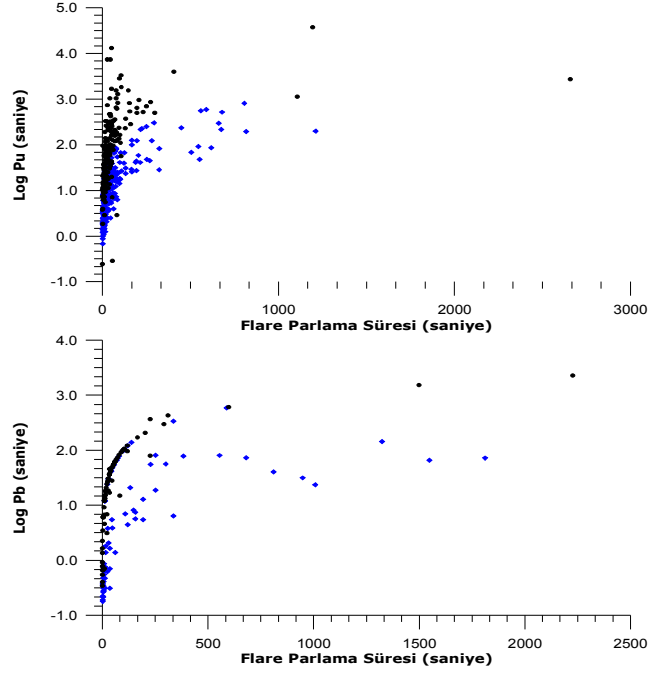
Aşağıda Şekil 2'den 5'e kadar AD Leo'nun flare parametreleri arasındaki ilişkiler görüntülenmiştir. Şekil 3, 4 ve 5'de eğriler içi dolu daireler (siyah) ve üçgen (mavi) noktalarla gösterilmiştir. Bunun nedeni, Şekil 3'de görüldüğü gibi aynı parlama süresine sahip olan bazı flarelerin enerjileri birbirinden çok farklı olmasıdır. Aralarında yaklaşık 10 katlık enerji farkları vardır. Bu şekilde ayrışma gösteren flareler, Şekil 4 ve 5'de da görüldüğü gibi diğer parametrelerde de gruplanıyorlar.



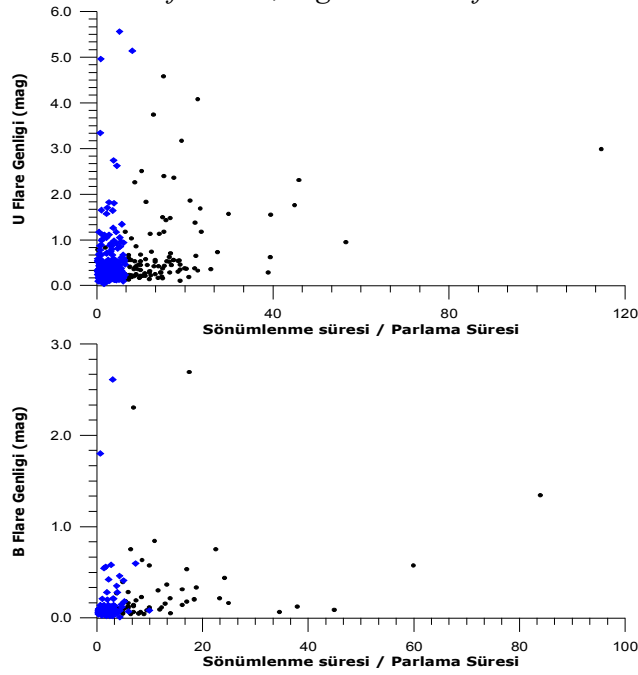
Şekil 1: Soldan sağa doğru sırasıyla AD Leo'nun 2004-2005, 2005-2006 ve



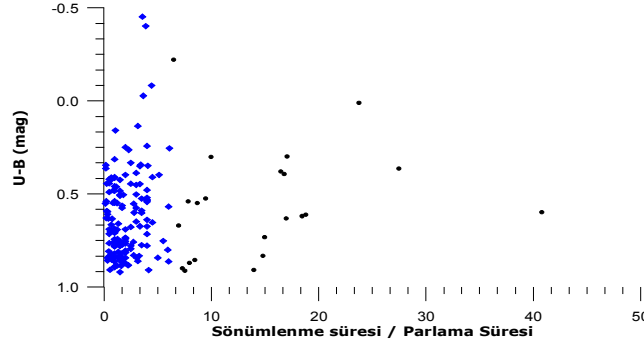
Şekil 2: AD Leo flarelerinin, toplam flare süresine karşılık flare eşdeğer süresinin değişimi. Solda U flareleri, sağda B bandı flareleri.



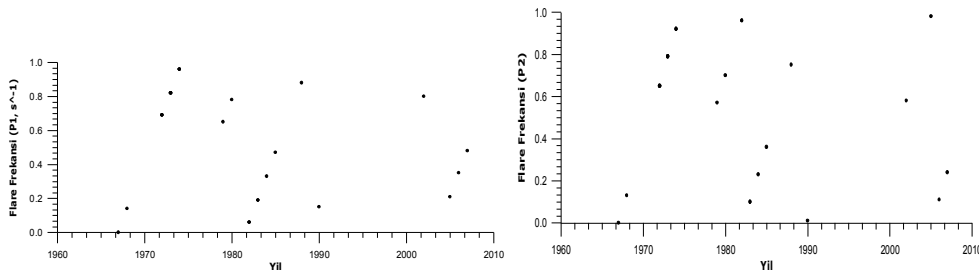
Şekil 3: AD Leo flarelerinin, flare parlama süresine karşılık flare eşdeğer süresinin değişimi. Solda U flareleri, sağda B bandı flareleri.



Şekil 4: AD Leo flarelerinin, flare sönümlenme süresi ile parlama süresi oranına karşılık flare genliklerinin değişimi. Solda U flareleri, sağda B bandı flareleri.



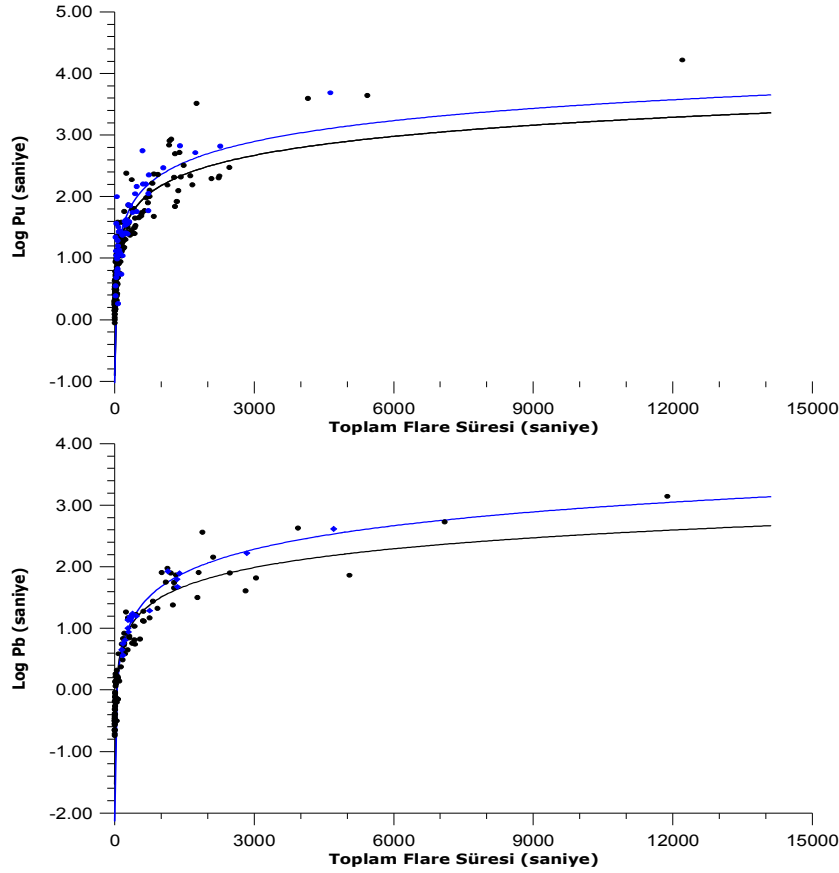
**Şekil 5:** AD Leo flarelerinin, flare sönümlenme süresi ile parlama süresi oranına karşılık flare U-B rengi değişimi.



**Şekil 6:** AD Leo'nun 1967 ve 2007 yılları arasındaki  $P_1$  (sol panel) ve  $P_2$  (sağ panel) flare frekanslarının değişimi.

AD Leo için görülen bu gruplanma DO Cep'de belirlenemiyor. Bunun nedeni ise DO Cep'de yeteri kadar veri olmamasından kaynaklanıyor olabilir. 1967 ve 2007 yılları arasında dağılmış flarelerin  $P_1$  ve  $P_2$  flare frekansları hesaplanmıştır.  $P_1$ , bir gözlem sezonunda elde edilen flarelerin sayısının o gözlem sezonundaki toplam flare tarama süresine oranıdır.  $P_2$  ise yine bir gözlem sezonunda elde edilen flarelerin toplam eşdeğer sürelerinin toplam flare tarama süresine oranıdır (Ishida ve diğ., 1991). Şekil 6'dan da görüldüğü üzere, bu frekansların değişimi incelendiğinde birbirleriyle uyumlu değişim gösterdiği görülür. 1967 – 2007 yılları arasındaki flare frekansları Fourier tekniği ile analiz edildiğinde,  $P_1$  frekansının 7.29 yıllık,  $P_2$  frekansının ise 7.63 yıllık çevrimsel bir davranış sergilediği görülür. AD Leo ve DO Cep için, toplam flare süresine karşılık flare eşdeğer sürelerinin değişimlerinin karşılaştırılması Şekil 7'de görülmektedir. İçi dolu siyah daireler AD Leo'nun verilerini, içi dolu mavi noktalar ise DO Cep verilerini gösterir. Her iki yıldızın verileri üstel fonksiyonla temsil edildiğinde, aynı toplam süreye sahip DO Cep flareleri AD Leo flarelerine göre daha yüksek enerjili görülür. AD Leo ve DO Cep verileri için elde edilen temsiller

sırasıyla, U bandı için (4), (5) ve B bandı içinse (6), (7) nolu eşitliklerde görüldüğü gibi tanımlanmaktadır:



*Şekil 7: AD Leo ve DO Cep flarelerinin, toplam flare süresine karşılık flare eşdeğer sürelerinin karşılaştırılması. Üstte U bandı, altta B bandı flareleri.*

$$\text{AD Leo (U): } y = 0.4468 \times \ln(x) - 0.9069 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{DO Cep (U): } y = 0.4898 \times \ln(x) - 1.0257 \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{AD Leo (B): } y = 0.44 \times \ln(x) - 1.5338 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{DO Cep (B): } y = 0.5521 \times \ln(x) - 2.1339 \dots\dots\dots (7)$$

### 3. Tartışma ve Sonuç

Yıldız flare olayında ortaya çıkan enerjinin kaynağı olarak iki süreç ön plana çıkmaktadır (Benz, 2008, Gurzadyan, 1988). Bunlar ısısal ve ısısal olmayan süreçlerdir (Gurzadyan, 1988). Isısal süreçlerde hızlandırılmış parçacıkların kinetik enerjilerini yıldızın yüzeyine boşaltmaları şeklinde gerçekleşir. Isısal olmayan süreçlerde ise yıldız atmosferinde ivmeli hareket eden parçacıkların çeşitli süreçlerle (baskın olarak Bremsstrahlung Işınımı) saldıkları enerji,



parlamalara neden olur (Benz, 2008, Gurzadyan, 1988). Yıldızlarda gözlenen flarelerin %95'i küçük genlikli parlamaların görüldüğü küçük enerjili olaylardır. Bu olaylarda ısısız süreçler ön plandadır. %5'lik kısımda ise büyük genlikli ani parlamaların ve ardından belirli bir düzeye kadar hızlı sönümlenmenin görüldüğü büyük enerjili flareler vardır. Bu ikinci tür flarelerde, ısısız olmayan süreçler baskındır (Gurzadyan, 1988). Gurzadyan'ın yaptığı çalışmaya göre ısısız olmayan süreçler daha çok flarenin "impulsive phase" evresi olarak tanımlanan (Benz, 2008) parlama evresinde baskındır. Bu evrede ivmeli hareket eden parçacıklar yıldız atmosferini ve yüzeyinde ani ısınmaya neden olmakta ve yıldız ışığında ani artış görülmektedir (Benz, 2008). Ancak, bazı flare ışık eğrilerinde bu ani parlama görülmez. Bu tür flarelerde, enerji üretim mekanizmasının yalnız ısısız süreçlerle kısıtlı kaldığı düşünülebilir. Dolayısıyla flare enerjilerinin üretildiği süreçler hakkında bilgiye flare parlama evresinden ulaşılabilir. AD Leo'nunu flare parametrelerini birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren Şekil 2'den 5'e kadar olan şekiller incelenirse, flare parlama süresinin toplam flare enerjisiyle olan ilişkisi, en az iki farklı süreçle üretilmiş flareler olduğu görülecektir. Temelde, Şekil 2'de görüleceği gibi, parlamaların başlangıcından sönümlenmenin sonuna kadarki toplam enerji, sürecin uzunluğuna bağlıdır. Şekil 3'da görülen eğrilerse; AD Leo üzerinde, aynı parlama sürelerinde olmasına karşın aralarında 10 katlık enerji farkları bulunan iki grubun bulunduğunu gösterir. Bunun nedeni, Gurzadyan'ın da öngördüğü gibi (Gurzadyan, 1988) flare süreçlerinde ısısız olmayan süreçlerin flare parlama evrelerinde baskın olmasıdır. Eğer, bir flare ışık eğrisinde, sürecin tamamında çıkan enerjinin büyük kısmı parlama evresinde çıkıyorsa, bu kendini parlama süresine göre toplam enerji dağılımında ortaya koymaktadır. Diğer türe göre bu flarelerde daha kısa parlama sürelerinde daha büyük enerjilerle karşılaşmaktadır. Bu iki gruba ayrışım kendini Şekil 4 ve 5'de görülen flare genlikleri ve flarelerin neden olduğu renk artıklarında da görülmektedir. Isısız olmayan süreçlerin baskın olduğu ve kısa parlama sürelerine sahip büyük enerjili flarelerde sönümlenme süreleri ile parlama süreleri oranları 120 gibi büyük değerlere ulaşırken, diğerlerinde bu oran 8'lerde kalmaktadır. Bu ayrım DO Cep verisinde görülmemektedir. Bunun nedeni ise, bu çalışmada elde edilen ve literatürde yayınlanan DO Cep flare verisinin az olmasıdır. AD Leo ve DO Cep flare

enerjileri karşılaştırıldığında, Şekil 7’de görüldüğü gibi aynı toplam flare süresine sahip DO Cep flarelerinin daha büyük enerjili olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, DO Cep yüzeyinde ortaya çıkan flarelerde, ısısız olmayan süreçlerin baskın olması olabilir. Literatürde flare yıldızları için üzerinde en çok tartışma konusu olan, bu yıldızların flare aktivitesinde çevrimsel bir davranış sergileyip sergilemedikleridir. Bunun için flare frekansları tanımlanmıştır (Ishida ve diğ., 1991). AD Leo’nun 1967 ve 2007 yılları arasındaki flare verilerinden hesaplanan  $P_1$  ve  $P_2$  frekansları yıldan yıla değişmekte ve Fourier tekniğiyle sırasıyla 7.29 ve 7.63 yıllık bir çevrim uzunluğu belirlenmektedir. DO Cep’e ait literatürde analiz için yeterli veri olmaması nedeniyle bu yıldızın flare aktivitesinin davranışı belirlenememektedir. LO Peg, EV Lac gibi bazı flare yıldızlarında leke aktivitesi gözlenirken, V1396 Cyg gibi bazılarında gözlenememektedir (Bopp ve Espenak, 1977, Dal ve diğ., 2004, Dal ve Evren, 2006). Bu çalışmada AD Leo’nun ışık eğrilerinde, leke aktivitesi nedeniyle  $3\sigma$ ’nın üzerine çıkan bir değişim görülmemiştir.

#### Kaynaklar

- Allen, N. C., 2000, “*Astrophysical Quantities*”, s.151, 152, 153, 388, A.N.Cox editor.
- Andrews, A. D., 1982, IBVS, 2254, 1A.
- Benz, A. O., 2008, Living Rev. Solar Phys., 5, 1B.
- Bopp, B.W. and Espenak, F., 1977, AJ, 82, 916B.
- Chugainov, P. F., 1974, IzKry, 52, 3C.
- Dal, H. A., Evren, S., 2006, “EV Lac’ın Flare ve Leke Aktivitesi” XV. Ulusal Astronomi Toplantısı, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul (Sözlü Sunum)
- Dal, H. A., Taş, G., Evren, S., Sipahi, E., 2004, “LO Pegasi’nin Yüzey Özelliklerindeki Hızlı Değişimler” XIV. Ulusal Astronomi Toplantısı, Erciyes Üniversitesi, Kayseri (Sözlü Sunum)
- Gershberg, R. E., Katsova, M. M., Lovkaya, M. N., Terebizh, A. V., Shakhovskaya, N. I., 1999, A&AS, 139, 555G.
- Gordon, K. C., Kron, G. E., 1949, PASP, 61, 210G.
- Gurzadyan, G. A., 1988, ApJ, 332, 183G.
- Ishida, K., Ichimura, K., Shimizu, Y., Mahasenaputra, 1991, Ap&SS, 182, 227I.
- Landolt, A. U., 1983, AJ, 88, 439L.

Landolt, A. U., 1992, AJ, 104, 340L.

Montes, D., López-Santiago, J., Gálvez, M. C., Fernández-Figueroa, M. J., De Castro, E., Cornide, M., 2001, MNRAS, 328, 45M.

Mullan, D. J., 1974, ApJ, 192, 149M.

Oja, T., 1996, BaltA, 5, 103O.

Panov, K. P., 1993, IBVS.3936, 1P.

Veeder, G. J., 1974, AJ, 79, 702V.