

FLARE SINIFLAMASINDA İSTATİSTİKSEL YENİ BİR YÖNTEM VE V1285 Aql FLARELERİ

Hasan Ali DAL^{1*}, Serdar EVREN¹ ve Hayal BOYACIOĞLU²

¹ Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İzmir
² Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, İzmir

Özet Bu çalışmada, UV Ceti türü yıldızların fotoelektrik ışıkölçümlerinde elde edilmiş flarelerinin sınıflanması için geliştirilen yeni bir analiz yöntemini kullanarak, V1285 Aql'nın gözlemlerinde elde edilen flarelerden ulaşılan sonuçları sunuyoruz. Bu yeni yöntem, Independent Samples t-Test analizini kullanarak istatistiksel bir yöntemdir. Analizlerde kullanılan veri, bir flare yıldızı olan V1285 Aql'nın 2006 yılı gözlemlerinden elde edilmiştir. Standart Johnson U bandında elde edilen toplam flare sayısı 82'dir. Sonuç olarak, "flare sönmeme süresi"nin "flare parlama süresi"ne göre oranına dayanarak, flareler "yavaş" ve "hızlı flare" olarak iki sınıfa ayrılabilir. Ayrıca, Independent Samples t-Test'e göre yavaş ve hızlı flarelerin eşdeğer süreleri arasında yaklaşık 73 saniyelik fark vardır. Independent Samples t-Test'e göre bu farkın anlamlı olduğu görülür ($p < 0.001$). Buna ek olarak, yavaş ve hızlı flarelerin genlikleri ve parlama süreleri arasında da belirgin farklar vardır.

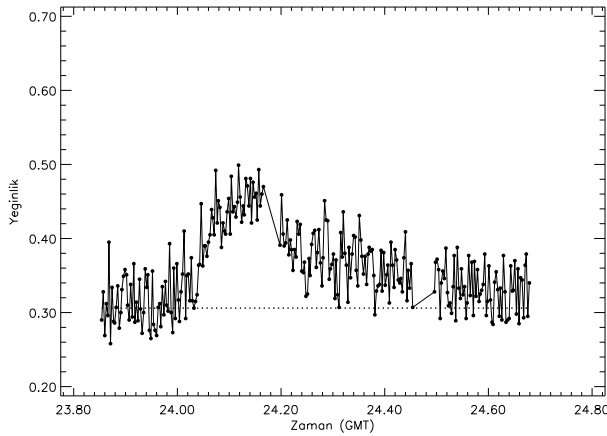
1 Giriş

Yıldız evrimini etkileyen temel parametrelerden biri kütle kaybıdır ve küçük kütleli yıldızların evrimini belirlemede rol oynar. Gökadamızdaki yıldızların %65'i kırmızı cüce yıldızlardan oluşur. Bu yıldızların %75'i flare aktivitesi gösterir ve UV Ceti türü yıldızlar olarak bilinirler (Rodono 1986). UV Ceti türü yıldızlar yılda $10^{-10} M_{\odot}$ kütle kaybettikleri ve bu kayıpta flare aktivitesinin büyük rol oynadığı bilinir (Marcy and Chen 1992). Eğer flare aktivite süreci iyi bilirse, kırmızı cüce yıldızların evriminin anlaşılması da kolaylaşacaktır.

UV Ceti türü yıldızlarda ilk flare, 1939'da elde edilmiştir (van Maanen 1940). UV Cet, YZ CMi, EV Lac, AD Leo ve EQ Peg gibi yüksek flare aktivitesi gösteren yıldızların keşfiyle gözlenen flare sayısı ve flarelerden kaynaklanan parlaklık değişimlerinin çeşitliliği artmıştır (Moffett 1974, Gershber 2005). Çok sayıda flare incelendiğinde, flarelerin genelde iki tür ışık değişimi gösterdiği görülür. Bunlardan birincisi, hızlı flareler olarak adlandırılan ve ışık değişimleri Güneş'in sert X-ışın flare ışık değişimine benzeyen yüksek enerjili parlamalardır.

* e-mail:ali.dal@ege.edu.tr

İkincisiyse, yavaş flareler olarak adlandırılan, parlama ve sönmüleme süreleri hemen hemen eşit ve genelde de düşük enerjili flarelerdir. Hızlı ve yavaş flare kavramları, literatürde ilk kez 1960'larda kullanılmıştır. Haro and Parsamian (1969), yaptığı çalışmada, eğer bir flarenin parlama süresi 30 dakikadan küçük ise hızlı flare ve 30 dakikadan büyükse yavaş flare olarak sınıflamıştır. Diğer yandan, 1967'de Kunkel tarafından yayımlanan doktora tezinde, elde edilen flare ışık değişimlerinin aslında birçok hızlı ve yavaş flare parlamasıyla ortaya çıktığına işaret edilmiştir (Gershberg 2005). Benzer bir yaklaşımla Osawa et al. (1968) da ışık değişimlerinden yola çıkarak iki flare türü tanımlarken, Oskanian (1969) flareleri 4 gruba ayırmıştır. Moffett (1974) ise flareleri, parlaklık değişimlerine göre klasik, karmaşık, yavaş, anlık flare ve flare olayı olarak gruplamıştır.

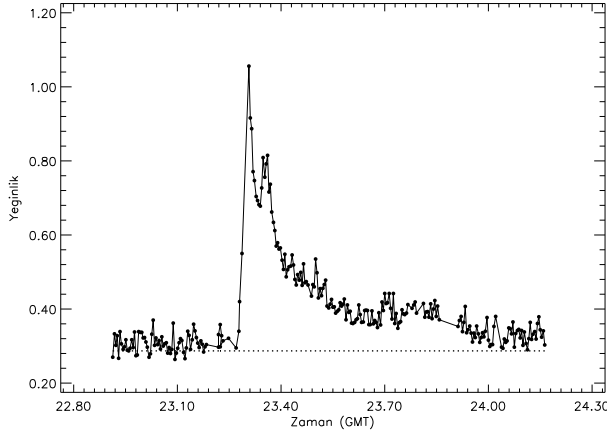


Şekil 1. V1285 Aql'nın 21 Mayıs 2006 gecesi elde edilen U bantı flaresi.

UV Ceti türü yıldızlarda ortaya çıkan flare parlamalarındaki süreçlerin açıklanabilmesi için Güneş Flare Olayı temel alınır (Rodono 1986, Hudson and Khan 1997, Gershberg 2005, Benz 2008). Bununla birlikte birçok yazar UV Ceti yıldızlarına ait flareler için farklı modeller ortaya koymuştur (Grinin 1976, Grinin 1990, Katsova et al. 1997). Gurzadyan (1988) ise UV Ceti yıldızlarında elde edilen flarelerin %95'inin ısısal süreçlerle, %5'lik kısmının ise ısısal olmayan süreçlerle ortaya çıktığını belirtir. Gurzadyan'ın yaklaşımına göre bu iki tür flare arasında büyük enerji farkları vardır.

Bu çalışmada, bir flare yıldızı olan V1285 Aql'nın flare taramalarından elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. SIMBAD Veri Tabanı'nda dM3e tayf türünden bir UV Ceti türü değişen bir yıldız olarak sınıflanır. Kinematik çalışmalarda yıldızın, gökada da genç diskte yer aldığı görülmüştür ve bir genç disk flare yıldızı olarak sınıflanmıştır (Vedder 1974). V1285 Aql'nın flare aktivitesi gösterdiği ilk kez Shakhovskaya and Maslennikov (1970) tarafından bulunmuştur. Andrews (?) tarafından yapılan çalışmada, yıldızın parlaklığında 30 saniye dönemli mikro

salınımlar olduğu görülmüştür. Yazarın 1989 yılında yaptığı çalışmada ise, 1.2 ve 1.4 dakikalık dönemlerde de benzer bir davranış sergilediği gösterilmiştir (Andrews 1989). V1285 Aql'nın leke aktivitesi gösterip göstermediği tartışma konusudur. Literatürde, 2.9 gün dönemli bir değişim gösterilse de bu değişimin gerçek olup olmadığı kesinlik kazanmamıştır (Alekshev and Gershberg 1997, Byrne et al. 1984, Messina et al. 2001).



Şekil 2. V1285 Aql'nın 17 Haziran 2006 gecesi elde edilen U bandı flaresi.

V1285 Aql, 2006 yılında standart Johnson U bandında gözlenmiş ve 82 flare elde edilmiştir. Çalışmada bu flarelerin istatistiksel analizleri yapılmış ve flare türleri incelenmiştir. Flare türlerinin ayrımı, literatürde genelde flare değişiminin biçimine bakılarak yapılmaktadır. Bu çalışmada ise flarelerin türünün saptanmasına ilişkin yeni bir istatistiksel yöntem sunulmaktadır. Bu yeni yöntemde, flare parlama sürelerine karşılık flare eşdeğer sürelerinin değişimi incelenmektedir.

2 Gözlemler ve Analizler

2.1 Gözlemler

Gözlemler, Ege Üniversitesi Gözlemevi'nde, "High-Speed Three Channel Photometer" takılı olan 48-cm Cassegrain türü teleskopla yapılmıştır. Standart Johnson U bandında yapılan gözlemlerde 7-10 saniye aralığında poz süreleri kullanılmıştır. Flare gözlemleri sırasında, kullanılan fotometrenin ikinci kanalına bir takip yıldızı yerleştirilmiştir. Gözlenen program ve mukayese yıldızlarının kimlikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Çizelge 1'de verilen parlaklıklar ve renk ölçükleri, bu çalışma kapsamında elde edilmiştir. Gözlenen yıldızların parlaklıkları atmosferik

sönükleştirme etkisinden arındırılmıştır. Elde edilen diferansiyel parlaklıklar, gökyüzünde program yıldızlarına yakın bölgelerde bulunan Johnson standart yıldızlarının gözlemleri kullanılarak standart parlaklığa dönüştürülmüştür. Gözlenen standart yıldızlar, Landolt (1992)'de yer almaktadır. Gözlem zamanları günmerkezine indirgenmiştir. U bandında yapılan gözlemlerin gecelik hatalarının ortalaması yaklaşık $0^m.015$ dir. Mukayese ve denet yıldızları farklarının değişimi incelendiğinde, gecelik gözlem hatalarının üzerinde bir değişimin olmadığı görülür. V1285 Aql, 5 Mayıs 2006 ile 25 Ağustos 2006 tarihleri arasında 32 gece gözlenmiştir. Bu gözlemler boyunca, toplan 30.95 saat olan flare tarama süresinde 82 flare elde edilmiştir.

Çizelge 1. Değişen, mukayese ve denet yıldızlarının kimlikleri.

| Yıldız | V (mag) | B-V (mag) |
|----------------|---------|-----------|
| V1285 Aql | 10.191 | 1.646 |
| C1=BD +08 3899 | 9.604 | 1.314 |
| C2=BD +08 3900 | 10.020 | 1.605 |

Gershberg (1972), flare enerjilerinin hesaplanmasını sağlayan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde, aşağıdaki (1) ve (2) nolu eşitlikler yardımıyla fotoelektrik gözlemlerde elde edilen flarelerin enerjileri hesaplanmaktadır. (1) nolu eşitlikte, I_0 , gözlemin yapıldığı süzgeçte yıldızın sakin düzeyindeki yeğinliği; I_{flare} ise flare anındaki yeğinliktir.

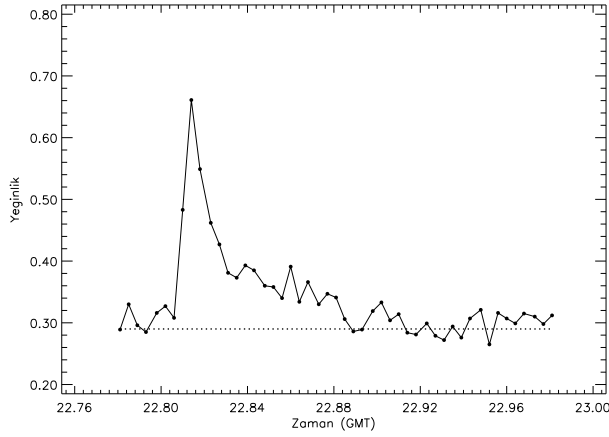
$$P = \int [(I_{flare} - I_0)/I_0] dt \quad (1)$$

$$E = P \times L \quad (2)$$

burada E , gözlem yapılan süzgeçteki flare enerjisi, P , (1) nolu eşitlikle tanımlanan flare eşdeğer süresidir. L ise gözlem yapılan süzgeçte, yıldızın sakin düzeydeki ışımasıdır.

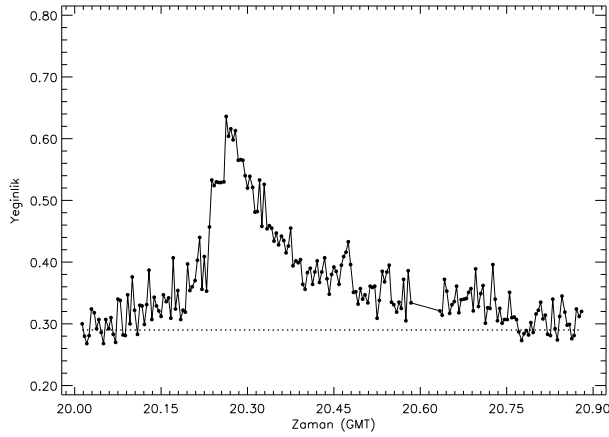
Elde edilen her bir flare için, flare maksimum anı HJD'si, flare parlama süresi, sönümlenme süresi, flare genliği ve (1) nolu eşitlik yardımıyla flare eşdeğer süresi hesaplanmıştır. Gözlemlerde yıldızın flaresiz parlaklık düzeyi, yıldızın sakin düzeyi kabul edilmiş ve tüm parametreler bu düzey gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Bazı flarelerde birden fazla pik görülmektedir. Maksimum nokta olarak en büyük genliğin olduğu pik baz alınmıştır.

Yapılan analizlerde flare enerjisi yerine flare eşdeğer süreleri kullanılmıştır. Bunun nedenlerinden biri, farklı tayf türlerinden yıldızlarda ortaya çıkan flare enerjileri (2) eşitliğiyle hesaplandığında, aynı eşdeğer süreye sahip olsalar bile L ışımasından dolayı hesaplanan enerjiler farklı olmakta ve bu



Şekil 3. V1285 Aql'nın 21 Temmuz 2006 gecesi elde edilen U bandı flaresi.

yıldızlardaki flareler aynı analizde kullanılamamaktadır. İkinci nedense, L ısıtma hesaplarında, yıldızların uzaklıkları, farklı kaynaklarda farklı verilmektedir ve uzaklıktaki küçük bir fark, enerjide birkaç katlık farklar ortaya çıkarmaktadır.



Şekil 4. V1285 Aql'nın 21 Temmuz 2006 gecesi elde edilen diğer bir U bandı flaresi.

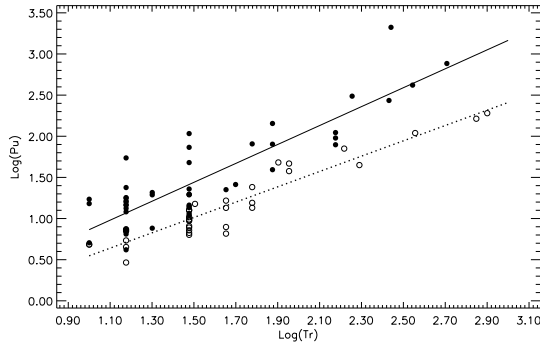
Elde edilen flareler incelendiğinde, Şekil 1, 2, 3 ve 4'den de görüldüğü gibi farklı şekillere sahip eğriler görülür. Bu şekillerdeki dört flare ışık eğrisinde görülen yatay noktalı çizgi, gözlem yapılan geceden hesaplanan gecelik sakin düzeyi gösterir. Şekil 1'de görülen flare, Moffett (1974) tarafından tanımlanan

sınıflamaya göre "flare olayı" olarak sınıflanır. Şekil 2 ve 3'de görülen flareler ise aynı sınıflamaya göre klasik flare sınıfına girer ve flare yıldızlarında sık rastlanan parlama türleridir. Şekil 4'de görülen flare ise karmaşık flare olarak tanımlanan bir değişimdir.

2.2 İstatistiksel Analizler

Flare parlama evreleri, ani-yüksek enerji çıkışının görüldüğü evrelerdir. Temel evre ise ortaya çıkan enerjinin yavaş yavaş azaldığı sönmüleme evresidir (Gurzadyan 1988, Benz 2008). Bununla birlikte, klasik flarelerinin parlama evrelerinde birim zamanda gözlenen parlama miktarı yavaş flarelerdekinden çok büyüktür (Moffett 1974, Gershberg 2005). Eğer flare parlama süreleri ve bunlara karşılık gelen flare eşdeğer sürelerinden bir veri seti oluşturulursa, uygun bir istatistik yöntemle bu iki grup flare arasında fark olup olmadığı incelenebilir ve ortaya çıkacak bu farklarla yavaş ve hızlı flareleri doğru şekilde ayırt edecek parametreler de elde edilebilir.

İlk olarak bağımsız gruplarda Independent Samples t-Test (bundan sonra t-Test) ile her iki grubun eşdeğer süreleri karşılaştırıldı. Her iki grubun birbirinden bağımsız dağılım sergilediği anlaşıldıktan sonra, Regresyon analizleri ile her iki gruba ait parlama süresi (x) ile eşdeğer süre (y) arasındaki en iyi model denklemi bulundu. Elde edilen model denklemler birbiriyle karşılaştırıldı. Analizler, SPSS V17.0 (Green et al. 1999) ve GraphPad Prism V5.02 (Dawson and Trapp 2004) yazılımları kullanılarak yapıldı. Elde edilen analiz sonuçlarının değerlendirmesinde α değeri 0.05 olarak alınmıştır.



Şekil 5. Hızlı ve yavaş flarelerde parlama süresine göre eşdeğer sürelerin dağılımı ve lineer temsilleri. Şekilde içi dolu noktalar hızlı flarelere, içi boş noktalar ise yavaş flareleri göstermektedir.

İstatistiksel bir analiz yöntemi olan t-Test, iki grubun bağımsız değişkenleri arasında fark olup olmadığını araştırır (Wall and Jenkins 2003, Motulsky 2007). Bu çalışmada flarelerin parlama süreleri bağlı değişken, flare eşdeğer süreleri ise bağımsız değişkenler olarak alınmıştır. V1285 Aql'nın 2006 yılı gözlemlerinde elde edilen 82 flare ışık değişimleri incelenerek, flare parlama süreleri aynı olmasına karşın eşdeğer süreleri farklı olan flareler belirlenmiştir. Işık değişimlerinin genel şekli de gözönüne alınarak, bu flareler yüksek enerjililer ve düşük enerjililer olarak iki gruba ayrılmıştır.

Elde edilen grupların ortalama eşdeğer süreleri karşılaştırılmıştır. Analizlerde kullanılan tüm yavaş flareler için logaritmik ölçekte ortalama eşdeğer süre 1.479 ± 0.054 , hızlı flareler içinse 2.015 ± 0.067 bulunmuştur. Bu, yavaş ve hızlı flareler için eşdeğer süreler arasında logaritmik ölçekte ortalama 0.536 katlık bir fark olduğunu gösterir. Bulunan farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını testi için, p - olasılık hesabı yapılmış ve $p < 0.001$ bulunmuştur. Bu sonuç, elde edilen 0.536'lık farkın, bu dağılımlar için anlamlı olduğunu gösterir.

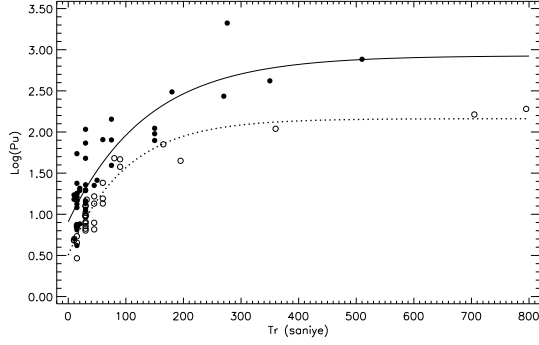
Çizelge 2. Parlama süreleri aynı olan yavaş ve hızlı flarelerin, flare parlama sürelerine karşılık eşdeğer sürelerinin dağılımına ilişkin istatistik analiz sonuçları.

| Flare Grupları | Yavaş Flare | Hızlı Flare |
|--|--------------------|--------------------|
| En İyi Temsil Değerleri | | |
| Eğim | 0.932 ± 0.056 | 1.150 ± 0.095 |
| X=0.0'da Y- Kesim Noktası | -0.385 ± 0.096 | -0.285 ± 0.151 |
| Y=0.0'da X- Kesim Noktası | 0.414 | 0.248 |
| Tüm Y Değerlerinin Genel Ortalaması | | |
| Genel Ortalama | 1.479 | 2.015 |
| Genel Ortalama Hatası | 0.054 | 0.067 |
| Temsilin Korelasyon Katsayısı | | |
| r^2 | 0.896 | 0.761 |
| Eğimler Sıfırdan Farklı mı? | | |
| P Olasılık Değeri | < 0.0001 | < 0.0001 |
| Sıfırdan Sapma? | Önemli. | Önemli. |

Her iki grup flare için, flare parlama süresine (Tr , Flare Rise Time) karşılık flare eşdeğer sürelerinin ($\log P_u$) dağılımları logaritmik ölçekte elde edilmiştir. Regresyon hesapları, bu dağılımlar için en iyi temsillerin doğrusal temsiller olduğunu gösterir. En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak, doğrusal temsiller elde edilmiştir. Bu doğruların denklemleri (3) ve (4) denklemleriyle verilmiştir.

Tüm analiz sonuçları Çizelge 2'de listelenmiştir. Analizde ilk önce dağılımların en ideal temsilleri için fonksiyon tanımı aranmıştır. Regresyon hesapları, hızlı ve yavaş flareler için Şekil 5'de görülen dağılımın, en tutarlı şekilde sırasıyla (3) ve (4) bağıntılarıyla verilen lineer fonksiyonlarla temsil edildiğini gösterir.

Elde edilen doğruların gerçekten de birbirlerinden bağımsız değerlendirilmesi gereken iki farklı gruba ait olup olmadığı test edilmiştir. Bu noktada ilk olarak



Şekil 6. Yavaş ve hızlı flareler için flare parlama süresine göre $\text{Log}(P_u)$ dağılımları ve bu dağılımlara ilişkin temsiller. Şekilde içi dolu noktalar hızlı flarelere, içi boş noktalar ise yavaş flareleri göstermektedir.

doğruların eğimleri incelenmiştir. Çizelge 2'den de görüleceği gibi, yavaş flareler için bu lineer fonksiyonun eğiminin 0.932 ± 0.056 dolayındayken, hızlı flareler için 1.150 ± 0.095 olduğunu gösterir. Bu, her iki gruptaki flare parlama süresiyle eşdeğer sürelerin birbirine paralele yakın bir davranış sergilediğini gösterir. Doğruların eğimleri için p - olasılık değeri 0.670 olarak bulunmuştur. Bu değer, doğruların eğimleri arasındaki farkın çok az olduğunu ve iki doğrunun paralele yakın olduğunu bir göstergesidir.

$$\log(P_u) = 1.150 \times \log(T_r) - 0.285 \quad (3)$$

$$\log(P_u) = 0.932 \times \log(T_r) - 0.385 \quad (4)$$

Elde edilen temsillerin başlangıç noktaları da incelenmiştir. Temsillerin başlangıç noktaları, yavaş flareler için -0.285, hızlı flareler içinse -0.385 olduğu görülür. Logaritmik ölçekte başlangıç eşdeğer sürelerinde 0.100'lük fark olduğunu gösterir. Doğruların başlangıç noktaları arasındaki farkın önemli olup olmadığını kontrolü için p - olasılık değeri hesaplandığında, $p < 0.0001$ elde edilmiştir. $p < 0.0001$ sonucu, bu doğruların başlangıç noktaları arasındaki farkın gözardı edilemeyecek kadar önemli olduğunu gösterir.

Elde edilen flare dağılımlarında her iki grup için, ortaya çıkan flare eşdeğer sürelerinde bir üst sınırın olup olmadığı araştırmak için, flare parlama süresine karşılık eşdeğer sürenin logaritmik dağılımı incelenmiş ve Şekil 6'da görülen dağılımlar elde edilmiştir. Bu dağılımlar için yağılan regresyon hesapları en

iyi temsilin, (5) eşitliği ile tanımlanan "Tek Fazlı Üstel İlişki (One Phase Exponential Association)" olduğunu göstermiştir. En Küçük Karalar Yöntemi kullanılarak, hızlı ve yavaş flareler için elde edilen temsiller sırasıyla (6) ve (7) eşitlikleriyle verilmiştir. Elde edilen fonksiyonların katsayıları ve hataları, Çizelge 3'de verilmiştir. "Tek Fazlı Üstel İlişki" fonksiyonunu tanımlayan (5) eşitliği gözönüne alınarak, (6) ve (7) eşitlikleri incelenirse, hızlı flareler için "Plato (Plateau)" değeri 2.928 iken, yavaş flareler için bu değer 2.162 dir. Plato değeri, ilgili flare türü için elde edilebilecek en üst eşdeğer süre değerini yani en üst enerji düzeyini verecektir.

$$y = y_0 + (Plateau - y_0) \times (1 - e^{-k \times x}) \quad (5)$$

$$y = 0.9093 + (2.928 - 0.9093) \times (1 - e^{-0.00735 \times x}) \quad (6)$$

$$y = 0.5031 + (2.162 - 0.5031) \times (1 - e^{-0.01025 \times x}) \quad (7)$$

Diğer yandan Şekil 6 incelendiğinde, hızlı flarelerin parlama süreleri 500 saniye civarında kalırken, yavaş flarelerde süre 800 saniyelere kadar çıkabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen 82 flare verisi içinden, bağımlı değişkenleri aynı olacak şekilde seçilen flarenin herbiri için sönümlenme ve parlama sürelerinin oranı hesaplanmıştır. Yavaş ve hızlı flare ayırımının bu orana göre ortaya çıktığı görülür.

Çizelge 3. En Küçük Kareler Yöntemi ile elde edilen "Tek Fazlı Üstel İlişki" fonksiyonuna ilişkin katsayılar ve hataları.

| Flare Grubu | Fast Flare | Yavaş Flare |
|-------------|-----------------------|-----------------------|
| $Y_0 =$ | 0.9093 ± 0.0905 | 0.5031 ± 0.0726 |
| Plateau = | 2.928 ± 0.251 | 2.162 ± 0.085 |
| K = | 0.00735 ± 0.00229 | 0.01025 ± 0.00160 |

Yavaş flarelerin sönümlenme ve parlama süre oranları belirbi bir sınır değerini altında kalırken, hızlı flarelerde oran bu sınır değerini üzerinde kaldığı görülür. Elde edilen 82 flarenin tamamı için bu oran hesaplanmış ve analizlerde yer almayan flarelerde bu orana göre iki gruba yerleştirilmiştir. Yeni elde edilen grupları için Şekil 5 ve 6'da görülen dağılımlar tekrar elde edildiğinde, elde edilen temsillerde bir değişiklik olmadı görülür. Bu, elde edilen yarımın doğru işlediğinin bir göstergesidir.

3 Sonuçlar ve Tartışma

Güneş ve yıldızlarda gözlenen flare ve flare olayları, astrofiziğin üzerinde en çok çalışılan alanlarından biridir. 1 Eylül 1859'da R.C. Carrington and R. Hodgson, Güneş yüzeyinde ilk flare gözlemini yaptıklarından bu yana flareler üzerine sayısız çalışmalar yapılmıştır. Ancak flare parlamaları, henüz tam olarak açıklanabilmiş değildir (Benz 2008). Literatürde flare parlaklık değişimlerinin biçiminden yola çıkarak sınıflamalar yapılmaya çalışılmıştır. Bunun, modelleri kolaylaştıracağı düşünülmüştür. Bu sınıflamalara, 1967'de Kunkel tarafından yapılan doktora tezi (Gershberg 2005), Osawa et al. (1968), Oskanian (1969) ve Haro and Parsamian (1969) tarafından yapılan çalışmalar örnek gösterilebilir.

Bu çalışma kapsamında elde edilen 82 flare incelenerek t-Test analizine uygun olacak şekilde, flare parlama süreleri aynı olan hızlı ve yavaş flare örnekleri tespit edilmiştir. Flare parlama süresi, bağlı değişken kabul edilmiş ve bu flarelerden iki grup oluşturulmuştur. İki gruba ait örnekler için parlama süresine karşılık eşdeğer süreler lineer fonksiyonla temsil edilmiştir. Bu parametrelerin istatistiksel t-Test sonuçları, bu iki flare grubunun belirgin farklara sahip olduğunu gösteriyor. Bu farkların, yapılacak modeller için oldukça önemli olduğu açıktır. Bu çalışmada oluşturulan iki grubun doğrusal temsillerinin eğimleri yavaş flareler için 0.932, hızlı flareler için 1.150 dir. İki değer arasındaki fark oldukça küçüktür. Bu, her iki grubun eşdeğer sürelerinin aynı oranda arttığının bir göstergesidir.

Yıldızlarda gözlenen optik flarelere ilişkin modellere bakıldığında, yıldız flare olayında ortaya çıkan enerjinin kaynağı olarak iki süreç ön plana çıkmaktadır (Gurzadyan 1988, Benz 2008). Bunlar ısısal ve ısısal olmayan süreçlerdir (Gurzadyan 1988). Yıldızlarda gözlenen küçük genlikli parlamalar genelde küçük enerjili olaylardır. Bu olaylarda ısısal süreçler ön plandadır. Büyük genlikli ani parlamaların ve ardından belirli bir düzeye kadar hızlı sönümlenmenin görüldüğü flareler de yüksek enerjilidir. Bu ikinci tür flarelerde, ısısal olmayan süreçler baskındır (Gurzadyan 1988). Bu çalışmada elde edilen iki grubun eşdeğer sürelerinin genel ortalaması alındığında, yavaş flareler için 1.479, hızlı flareler için 2.205 değerleri elde edilir. Logaritmik ölçekte bu iki değer arasındaki yaklaşık 0.536'lık fark, eşdeğer süreler arasında 73.384 saniyelik bir farka karşılık gelmektedir. Bu fark, Gershberg (1972) tarafından tanımlanan (2) nolu eşitlikten de görüleceği gibi enerjilere de aynı şekilde yansımaktadır. Bu iki grup arasında ortaya çıkan 73 katlık enerji farkı, Gurzadyan (1988) ve Benz (2008) tarafından vurgulanan ısısal ve ısısal olmayan olaylar arasındaki fark olabilir.

Bu çalışmada elde edilen eğrilerin başlangıç noktaları karşılaştırıldığında, başlangıç eşdeğer sürelerinde, logaritmik ölçekte 0.100 lük bir fark görülmektedir. Oysa genel ortalamada bu fark 0.536 dolayındadır. Şekil 5'i de göz önüne aldığımızda, gerçekten de flare parlama süresi uzadıkça flare eşdeğer sürelerinin beklenenden daha fazla arttığı görülür. Bunun nedeni ise, flare parlama süresi ne kadar uzarsa ortaya çıkan flare o denli büyük olması ve süreçte başka parametrelerin de etkin olması olabilir. Bu parametreler, eşdeğer sürenin normalden daha büyük olmasına neden oluyor olabilir.

Bu çalışmada elde edilen flareler incelendiğinde, yavaş flarelerde parlama süreleri yaklaşık 800 saniyeye kadar uzarken, hızlı flarelerde gözlenen en uzun parlama süresi 500 saniyelerde kalmaktadır. UV Ceti türü dışında kalan yıldızlarda ortaya çıkan flareler incelendiğinde de benzer bir durum söz konusudur. Örneğin, RS CVn türü yıldızlarda ortaya çıkan flarelere bakıldığında flare sürelerinin çok büyük olduğu görülür (Kozhevnikova et al. 2006, Brown and Brown 2006, Livshits and Livshits 2002). Bu flareler, UV Ceti yıldızlarında ortaya çıkanlara göre hem daha büyük hem de daha uzun süreli flarelerdir. Flare yıldızlarında gözlenen bu iki flare türü, yıldızın fiziksel yapısı değiştiğinde çeşitli değişimlere uğruyor olabilir. Bununla birlikte, bu çalışma kapsamında elde edilen iki gruptaki flarelerin genlikleri incelendiğinde, flare parlama sürelerinde gözlenen farkın tam tersi bir fark görülür. Yavaş flarelerde genlikler en çok $0^m.477'$ e kadar çıkarken, hızlı flarelerde genlikler $1^m.437'$ e ulaşmaktadır.

Elde edilen 82 flare arsından seçilen hızlı ve yavaş flare için sönümlenme süresi ile parlama süresi oranları hesaplandığında yavaş flarelerde oranın belirli bir sınır değeri aşmadığı görülür. Oysa hızlı flarelerde oran, her zaman bu sınır değerinin üzerindedir. Bunun anlamı, elde edilecek bir flarenin ne tür flare olduğu bu sınır değere göre belirlenebilir. Literatürde, Osawa et al. (1968), Oskanian (1969) ve Haro and Parsamian (1969), Moffett (1974) gibi çalışmalarda genelde doğrudan flarenin değişim biçimine bakarak bir ayırım yapılmaya çalışılmıştır. Örneğin Haro and Parsamian (1969) tarafından yapılan çalışmada, eğer flarenin parlama süresi 30 dakikadan küçükse hızlı flare, uzunsa yavaş flare olarak sınıflanır. Bu çalışma kapsamında elde edilen 82 flare arasında, parlama süresi bir yavaş flareye göre daha uzun olan hızlı flareler vardır. Bu, parlama süresine bir sınırlama getirerek yapılacak bir sınıflamanın doğru olmadığını gösterir. Diğer yandan, Moffett (1974) tarafından yapılan çalışmada flareler, şekline göre ikiden fazla sınıfa ayrıştırılmıştır. Moffett'in yaptığı sınıflamada flareler classic, complex, spike, flare event gibi sınıflara ayrılır. Oysa bizim t-Test analizi sonuçlarımız, doğrudan değişim biçimine bakılarak yapılan sınıflamanın da tutarlı olmadığını gösterir.

Bu çalışma kapsamında hızlı ve yavaş flareler için, flare sönümlenme ve parlama sürelerinin oranlanmasıyla elde edilen sınır değeri göz önüne alındığında, gözlenen 82 U bantı flaresinin %58.5'nin hızlı, %41.5'nin ise yavaş flare olduğu görülür. Bunun anlamı, ortaya çıkan her iki flareden kabaca biri hızlı, biri de yavaş flaredir. Bu durum, Gurzadyan (1988) de belirtilen değerden farklıdır. Gurzadyan (1988), yıldızlarda gözlenen flarelerin %95'inin düşük enerjili yavaş flareler, %5'lik kısmının ise yüksek enerjili hızlı flareler olduğunu belirtmektedir.

Diğer yandan, t-Test analizleri için elde edilen liner temsillerin temsil katsayıları hesaplandığında, yavaş flareler dağılımları için 0.896, hızlı flareler için 0.761 değerleri elde edilir. Yavaş flareler için dağılımın liner temsili kabul edilebilir düzeydeyken, hızlı flareler için temsil katsayısı nispeten düşüktür. Ancak, analizler her iki grup için en iyi temsillerin liner olduğunu göstermektedir. Diğer fonksiyonlarla yapılan temsillerde, temsil katsayıları daha yüksek değildir. Özellikle hızlı flareler için temsil katsayısının düşük olması, bu gruptaki flarelerin eşdeğer süre dağılımından kaynaklanmaktadır. Şekil 5'den de görüleceği gibi,

hızlı flarelerde parlama süresi azaldıkça ortaya çıkan flarelerin eşdeğer süreleri çok farklı değerler alabiliyor.

Sonuç olarak, fotoelektrik gözlemlerde elde edilen flare değişimlerine ilişkin çeşitli parametreler kolaylıkla hesaplanabilir. Bu parametrelerin birbirine göre dağılımları doğru bir matematiksel yöntemle analiz edildiğinde flare türleri belirlenebilir. Bu çalışmada flare parlama sürelerine karşılık eşdeğer sürelerin dağılımı incelenmiştir. Bu incelemede olası flare türleri ve bu türler arasındaki benzerlik ve farklar ortaya konulmuştur. Bu türlerin ve aralarındaki benzerlik ve farkların belirlenmesi, flare mekanizmaları açısından önemlidir. Bu sonuçlar ışığında, yapılacak modellerin şekillenmesi kolay olacaktır. Ancak, analiz sonuçlarının gerçeğe daha da yaklaştırılması için çok daha fazla sayıda flare ışık eğrisine ihtiyaç vardır.

Kaynaklar

- Alekseev, I. Y., & Gershberg, R. E. 1997, ARep., 41, 207
Andrews, A. D., 1988, IBVS, 3203, 1
Andrews, A. D., 1989, A&A, 210, 303
Benz, A. O., 2008, Living Rev. Solar Phys., 5, 1
Brown, J. M., Brown, A., 2006, ApJ, 638L, 37
Byrne, P. B., Doyle, J. G., Butler, C. J., & Andrews, A. D., 1984, MNRAS, 211, 607
Dawson, B. & Trapp, R. G., 2004, "In Basic and Clinical Biostatistics", The McGraw-Hill Companies Inc. Press, USA, p.61, p.134, p.245
Gershberg, R. E., 1972, Astrophys. Space Sci. 19, 75
Gershberg, R. E., 2005, "Solar-Typr Activity in Main-Sequence Stars", Springer Berlin Heidelberg, New York, p.53, p.191, p.192, p.194, p.211, p.325, p.360
Green, S. B., Salkind, N. J., Akey, T. M., 1999, "Using SPSS for Windows : Analyzing and Understanding Data", Upper Saddle River, N.J. ; London : Prentice Hall Press, P.50
Grinin, V. P., 1976, Izv. Crimean Astrophys. Obs., 55, 179
Grinin, V. P., 1990, IAU, 137, 299
Gurzadyan, G. A., 1988, ApJ, 332, 183
Haro, G. & Parsamian, E., 1969, BOTT, 5, 45
Hudson, H. S. and Khan, J. I., 1997, ASPC, 111, 135
Katsova, M. M., Boiko, A. Ya., & Livshits, M. A., 1997, A&A, 321, 549
Kozhevnikova, A. V., Alekseev, I. Yu., Heckert, P. A., Kozhevnikov, V. P., 2006, IBVS, 5723
Landolt, A. U., 1992, AJ, 104, 340
Livshits, I. M., Livshits, M. A., 2002, ASPC, 277, 527
Marcy, G. W. and Chen, G. H., 1992, ApJ, 390, 550
Messina, S., Rodono, M. and Guinan, E. F., 2001, A&A, 366, 215
Moffett, T. J., 1974, ApJS, 29, 1
Motulsky, H., 2007, "In GraphPad Prism 5: Statistics Guide", GraphPad Software Inc. Press, San Diego CA, p.94, p.133
Osawa, K., Ichimura, K., Noguchi, T., and Watanabe, E., 1968, Tokyo Astron. Bull., No 180
Oskanian, V. S., 1969, In: L. Detre (ed). "Non-Periodic Phenomena in Variable Stars", Proc. AUI Coll. No 4. Academic Press, Budapest. p.131

- Rodono, M., 1986, "The Atmospheres of M-dwarfs: Observations, in The M-type Stars", NASA SP-492, Washington, DC, 409-453
- Shakhovskaya, N. I. and Maslennikov, K. L., 1970, IBVS, 487, 1
- Van Maanen, A., 1940, ApJ, 91, 503
- Vedeer, G. J., 1974, AJ, 79, 702
- Wall, J. W. and Jenkins, C. R., 2003, "In Practical Statistics For Astronomers", Cambridge University Press, p.79