

PAPER DETAILS

TITLE: OPEA Modeli ile Günes Aktivitesinde X-isin Flare Davranisinin Belirlenmesi

AUTHORS: Ezgi YOLDAS, Ali DAL

PAGES: 10-14

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2135800>

OPEA Modeli ile Güneş Aktivitesinde X-ışın Flare Davranışının Belirlenmesi

Ezgi Yoldaş¹★, Hasan Ali Dal¹

¹Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye.

Accepted: February 8, 2022. Revised: January 6, 2022. Received: December 16, 2021.

Özet

Bu çalışmada, GOES uydularının X-ışın verileri kullanılarak oluşturulan "OPEA Modeli ile Güneş Aktivitesinde X-ışın Flare Davranışının Belirlenmesi" konulu doktora tezinde ulaşılan ön sonuçlar sunulacaktır. Bir yıldızda tespit edilen her bir flare için flare toplam sürelerine karşılık eşdeğer süre dağılımı OPEA fonksiyonu ile modellenir. Bu fonksiyonu önemli kılan, sahip olduğu Plateau parametresidir ve bu parametre ilgili kaynak için flare aktivitesinin doyma seviyesini tanımlar. Güneş'in sergilediği aktivite çevrimi boyunca Plateau düzeyinin değişip değişmeyeceği, merak konusu olup çalışmanın esas sorusunu oluşturmaktadır. Bu amaç doğrultusunda literatürde ilk kez Güneş'in OPEA modeli oluşturulacak ve ilk kez X-ışın veri kullanılarak OPEA modeli elde edilecektir.

Abstract

This study is presented the initial results obtained from the Ph.D. thesis entitled 'Determination of x-ray Flare Behavior in Solar Activity with The OPEA Model', which contains some analyses of the X-ray data of the GOES satellites. For the flares detected on a star, the equivalent duration distribution versus the flare total times is modeled by the OPEA function. The matter of the curiosity is whether the Plateau level will change or not during a period of the Solar activity cycle. For this purpose, the OPEA model of the Sun will be derived, and also the OPEA model will be derived by using X-ray data for the first time in the literature.

Anahtar Kelimeler: techniques: photometric – methods: data analysis – methods: statistical – Sun: activity – stars: Sun

1 Giriş

Flareler, dış konvektif zarfa sahip olan yıldızlarda meydana gelen manyetik alan ve plazmanın etkileşimi sonucu oluşan yapılardır. Bu yapılar ilk kez Güneş üzerinde, 1 Eylül 1959 yılında Carrington (1859) ve Hodgson (1859) tarafından tespit edilmiştir. Flare olayının Güneş dışında ilk görüldüğü yıldız UV Ceti'dir. Bu yıldızlar anakola yeni gelen genç yıldızlardır ve kromosferik aktivite düzeyleri yüksektir. Çünkü yıldızlar ne kadar genç ise dönme hızı o kadar yüksektir ve yüksek dönme hızı kromosferik aktivite düzeylerini artırır. Bu durum Skumanich yasasının beklenen bir sonucudur (Skumanich 1972; Pettersen 1991; Stauffer 1991; Marcy & Chen 1992).

Yıldızlara ilişkin ilk dönem flare gözlemlerine göre tespit edilmiş flare enerji aralığının, UV Ceti yıldızlarında $10^{28} - 10^{36}$ erg (Gershberg 2005), kromosferik aktif çift yıldızlar olan RS CVn yıldızlarında $10^{28} - 10^{34}$ erg (Haisch et al. 1991), Plaidės Kümesi ve Orion Oymağındaki çok genç flare yıldızları için ise $10^{28} - 10^{36}$ erg olduğu hesaplanmaktaydı (Gershberg & Shakhovskaia 1983). Oysa Güneş benzeri aktif yıldızlara ilişkin son dönem flare gözlemleri, yavaş dönen yıldızlarda bile süper flarelerin ortaya çıkabileceğini göstermiştir (Schaefer et al. 2000; Maehara et al. 2012). Enerjileri $10^{33} - 10^{36}$ erg arasında hesaplanan bu tür flarelerin, Güneş'te ortaya çıkıp çıkamayacağı, hala belirsizliğini korumaktadır, çünkü süper flare gözlenen yıldızlardan bazıları Güneş yaşındaki G ve K tayf türü anakol yıldızlardır (Berdyugina 2005; Strassmeier 2009; Aulanier et al. 2013).

Manyetik aktivitenin, özellikle Güneş ve Güneş benzeri yıldızlarda çevrimsel davranış sergilediği uzun yıllardır bilinmektedir. Flare aktivite çevrimlerinde net ortaya çıkmayan uzun dönemli değişimlerin, farklı bir formda ortaya çıkıp çıkmadığı ise, cevap bekleyen bir sorudur. Örneğin, Güneş aktivite çevrimlerinde gözlenen yıllık flare sayılarında belirgin bir değişim gözlenmezken, ortaya çıkan flarelerin enerji doymu (satürasyon) seviyelerinde çevrimsel bir değişim olup olmadığı henüz incelenmemiştir. Bu çalışmada, Güneş'in X-ışın verileri kullanılarak tespit edilen flareler ile Dal & Evren (2010, 2011) tarafından tanımlanan OPEA modelleri Güneş için de oluşturulmuş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

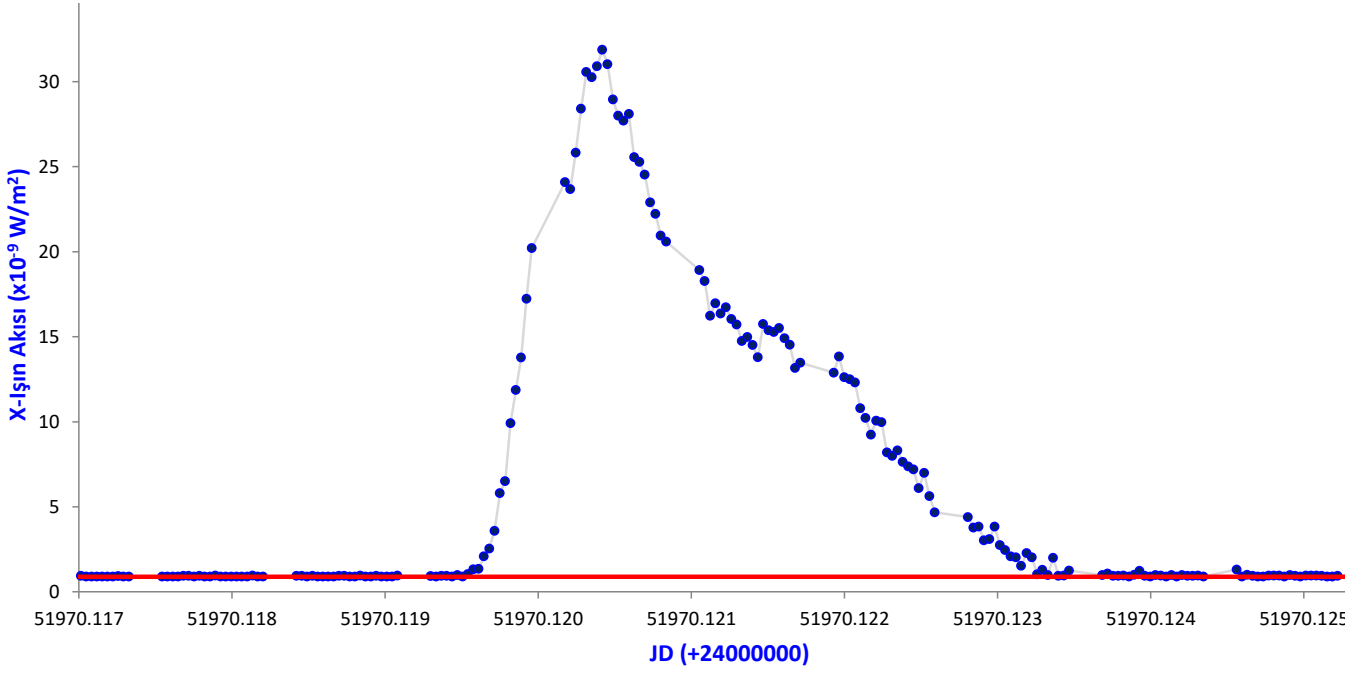
2 Data ve Analizler

1974'te jeosenkron meteorolojik uydularının ilk serisi olan Senkron Meteorolojik Uydularının ilki SMS-1 (ve ardından SMS-2) fırlatılmıştır. İlk uyduların başarılı bir şekilde başlatılmasından sonra, 1975 yılında NOAA ve NASA'nın işbirliği ile "Geostationary Operational Environmental Satellite" (GOES) programı resmen başlatılmıştır. Bu uydular bugün halen veri sağlamaktadır ve bu veriler yüksek duyarlılığa sahip eş zamanlı hava tahminlerinin yanı sıra uzun vadedeki iklim koşullarının daha iyi anlaşılmasına imkan vermektedir.

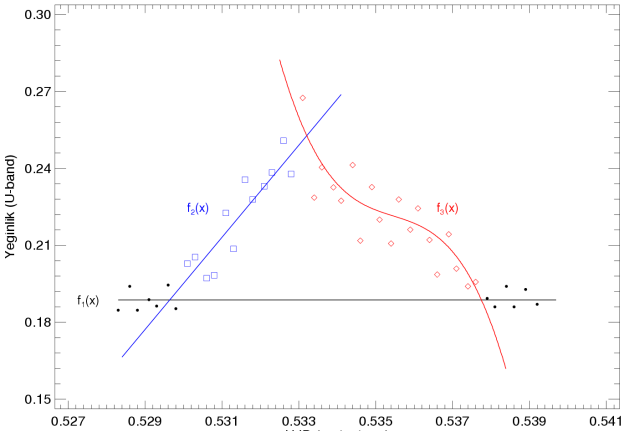
Her GOES uydusunda, 0.5 ile 4.0 Å (kısa kanal) ve 1.0 ile 8.0 Å (uzun kanal) dalga boyları için güneş X-ışın akısı sağlayan iki sensörü (XRS) vardır. Bu sensörler 1974'ten bugüne neredeyse eş denebilecek tasarımlara sahiptir. Bu uyduların topladığı veriler yaklaşık beş Güneş çevriminin incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan veriler 0.5-4.0 Å (kısa

★ ezgiyoldas@gmail.com



Şekil 1. GOES-8 uydusunun Mart 2001 ayında alınan verinde tespit edilen flare ışık eğrisi örneği. Mavi noktalar verileri kırmızı sürekli çizgi de temel düzeyi temsil etmektedir.



Şekil 2. Temsili flare ışık eğrisinde birinci fonksiyon temel (sakin) düzeyi, ikinci fonksiyon flare çıkış kolunu, üçüncü fonksiyonu ise flare iniş kolunu temsil etmektedir.

kanal) dalgaboyu aralığında alınan gözlem verileridir. 20., 21., 22. ve 23. Güneş aktivite Çevrimi'nin farklı çevrim evrelerine denk gelecek şekilde seçilen tarihlerdeki verilerde tespit edilen flareler analiz edilmiştir.

2.1 Flare Analizi

GOES uydusundan alınan verilerden flareler tespit edilmiştir. Örnek bir flare ışık eğrisi, Şekil 1'de verilmiştir. Tespit edilen bu flareler için enerji hesabı Şekil 2'de verilen fonksiyonlar kullanılarak yapılmıştır. Flare ışık eğrisini üç fonksiyon ile temsil edilmiştir. Birinci fonksiyon temel (sakin) düzeyi, ikinci fonksiyon flarenin çıkış kolunu ve üçüncü fonksiyon flarenin iniş

kolunu temsil etmektedir. Bu üç fonksiyonun kesişim noktaları flare başlangıç, maksimum ve bitiş anını vermektedir. Bu fonksiyonların altında kalan alan ise flare eşdeğer süresini verir.

Tüm flarelerin eşdeğer süreleri **Gershberg (1972)** tarafından tanımlanan Eşitlik (1) ile hesaplanmıştır.

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

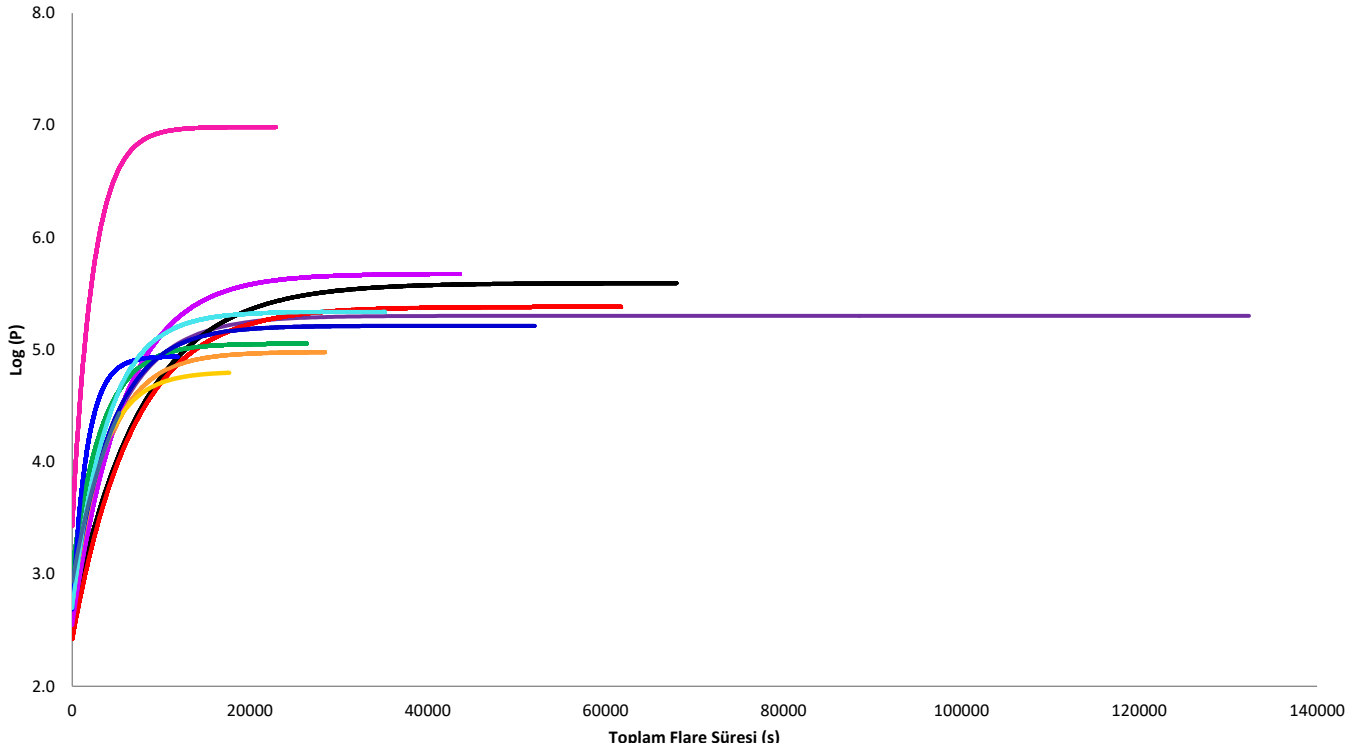
Burada P , saniye biriminde flare eşdeğer süresi, I_{flare} anındaki akı, I_0 ise flare dışı sakin düzey akısıdır. **Dal & Evren (2010, 2011)** tarafından açıklanan nedenlerle sonraki modellerde flare enerji parametresi yerine eşdeğer süre parametresi kullanılacağı için flare enerjileri hesaplanmamıştır.

2.2 OPEA Modeli ve Model Parametrelerinin Hesaplanması

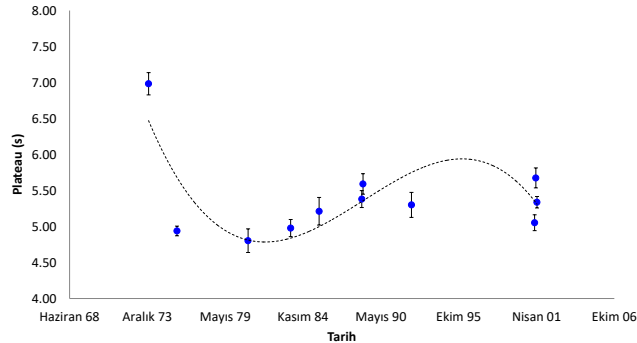
Hesaplanan flare parametrelerinin birbirleriyle ilişkileri incelendiğinde, flare eşdeğer süresinin flare toplam süresine göre rastgele değil, belirli bir kural çerçevesinde değiştiği görülür. **Dal & Evren (2010, 2011)** tarafından yapılan çalışmalarda, the SPSS V17.0 (**Green et al. 1996**) ve GrahPad Prism V5.02 (**Dawson & Trapp 2004**) programları ile yapılan regression hesaplamaları, flare eşdeğer sürelerinin dağılımı için en iyi fonksiyonun the One Phase Exponential Association (daha sonrasında OPEA olarak bahsedilecektir) olduğunu göstermiştir. OPEA fonksiyonu (**Motulsky 2007; Spanier & Oldham 1987**) Plateau terimine sahip olan özel bir fonksiyondur. Eşdeğer sürelerinin dağılımını tanımlayan bu fonksiyon:

$$y = y_0 + (Plateau - y_0) \times (1 - e^{-kx}) \quad (2)$$

Dal & Evren (2010) tarafından yapılan tanımlarda buradaki y , logaritmik ölçekte eşdeğer süredir, x flare toplam süresi, and



Şekil 3. Elde edilen tüm OPEA modellerinin birbirleriyle karşılaştırılması.



Şekil 4. Güneş'in Plateau düzeyinin zamana göre değişimi.

y_0 ise minimum toplam flare süresi için logaritmik ölçekte flare eşdeğer süresidir. Diğer bir deyişle y_0 , herhangi bir yıldızda gözlenen tüm flareleri içinde tespit edilebilecek olası minimum eşdeğer süreyi tanımlar. Dolayısıyla y_0 değeri, gözlenen hedefin parlaklığına ve gözlem yapılan optik sistemin duyarlılığına bağlıdır. Plateau değeri, belirli bir yıldızda gözlenen bir flare için, eşdeğer sürenin üst limitini tanımlar. Bu parametre, gözlem yapılan dalgaboyu aralığında flare aktivitesi için doyma seviyesi olarak tanımlanmıştır (Dal & Evren 2011).

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda, bir yıldız üzerinde tespit edilen flare aktivitesinin tek bir OPEA modeli ile modellenemediği görülmüştür. Ancak, uydu verilerinin kullanılmasıyla birlikte artan hassasiyetle birlikte bazı yıldızlarda flare gruplarının birden fazla modelle modellenmesi gerektiği görülmüştür (Kamil & Dal 2017; Dal & Özdarcan 2018). Özellikle Yoldaş & Dal (2021) çalışmasında V461 Lyr

sistemi için elde edilen flare grupları üç adet OPEA modeli ile modellenmiştir. Sözü edilen birden fazla OPEA modeli ile modellenen sistemlerin bileşenleri incelendiğinde, üçüncü bileşen varlığı, sistem yakınında ardalan ya da önalan yıldızlarının olmadığı görülmektedir. Plateau düzeyinin ve OPEA modellerinin ayrışmasına aktif bileşenin aktivite çevriminden kaynaklı düzey değişiminin neden olabileceği düşünülmüştür. Bu noktada tek yıldız olması ve ulaşılabilir uzun soluklu gözlem verisinin bulunması nedeniyle Güneş flarelerinin analizi önem kazanmıştır.

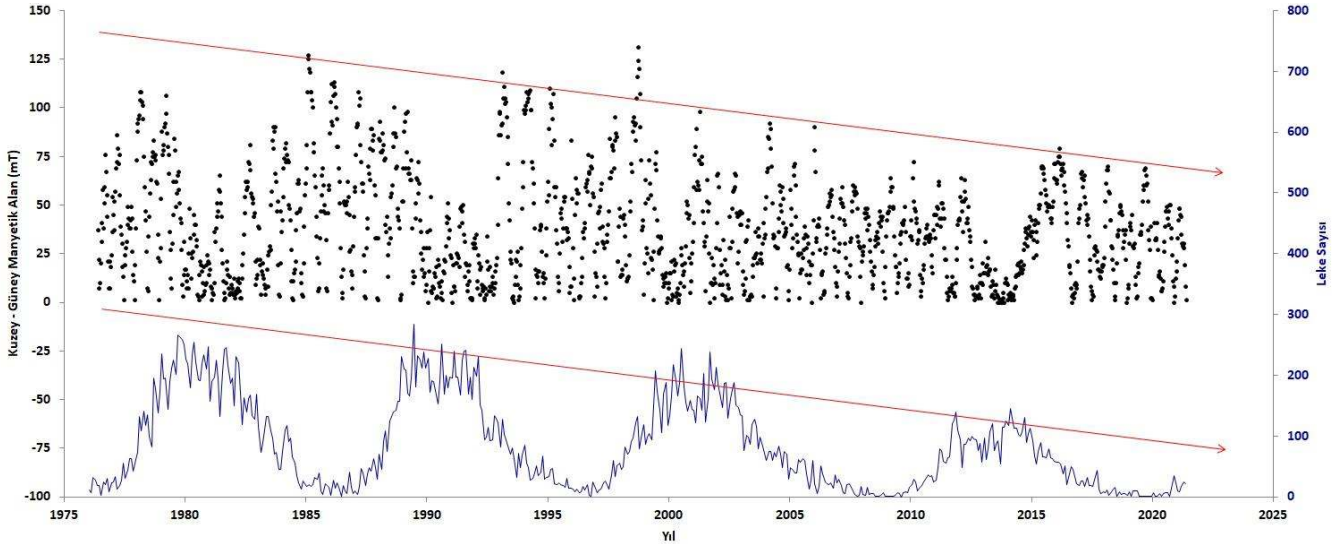
Şekil 3'te Güneş için oluşturulan OPEA modelleri gösterilirken, Çizelge 1'de bu modellerden elde edilen model parametreleri listelenmektedir. Listelenen değerler incelendiğinde farklı çevrim evrelerine karşılık gelen tarihlere ait verilerden elde edilen Plateau değerlerinin zamana göre değiştiği açıkça görülmektedir.

Plateau değişimi için öngörülen 11 yıllık leke çevrimini takip etmesidir. Leke sayılarının arttığı dönemlerde Plateau düzeyinin yüksek, leke sayılarının azaldığı dönemlerde ise Plateau düzeyinin düşük olması beklenmektedir. Ancak Şekil 4'te görüldüğü gibi elde edilen ilk sonuçlar, 20-25 yıl gibi bir sürede değişim olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu dönem, Güneş'te gerçekleşen yaklaşık 22 yıllık döneme sahip olan manyetik çevrim ile benzerdir. Yıldız yüzeyinde oluşup kaybolan lekeler bulundukları yarı kürenin manyetik kutbunun işaretini değiştirir. Bulunan bu süre, yarı kürenin tekrar aynı işarete sahip olması için geçen süredir.

2.3 Manyetik Alan Değişimi

Wilcox Güneş Gözlemevi'nde kutupsal alan ölçümleri düzenli olarak ölçülmektedir ve bu ölçümler incelendiğinde manyetik alan şiddetinin zamanla değiştiği görülmektedir (Svalgaard



Şekil 5. Güneş'in coğrafi kutup noktalarındaki dipol momentinin ve leke sayılarının yıllara göre değişimi.

Çizelge 1. Güneş'e ait OPEA modellerinden elde edilen parametreler.

Tarih	Çevrimdeki Yeri	Flare Sayısı	Y_0 (s)	Plateau (s)	K	Tau	Yarılama zamanı (s)	Span (s)
1.1974	20. Çevrim İnış Kolu	135	3.4284	6.9838	0.0004	2331.32	1615.95	3.5555
1.1976	20. Çevrim Sonu	71	2.6846	4.9391	0.0006	1676.10	1161.78	2.2545
1.1981	21. Çevrim Maksimumu	192	2.7384	4.8040	0.0003	3297.70	2285.79	2.0656
1.1984	21. Çevrim İnış Kolu	360	2.7015	4.9792	0.0003	3976.24	2756.12	2.2778
1.1986	21. Çevrim Sonu	69	2.7907	5.2123	0.0002	4488.54	3111.22	2.4216
1.1989	22.Çevrim Çıkış Kolu	338	2.4230	5.3816	0.0001	6762.94	4687.71	2.9586
2.1989	22.Çevrim Çıkış Kolu	340	2.6096	5.5924	0.0001	7868.31	5453.90	2.9829
7.1992	22. Çevrim Maksimum	237	2.9328	5.3012	0.0002	5265.39	3649.69	2.3684
3.2001	23.Çevrim Maksimumu	225	3.0262	5.0535	0.0003	3341.46	2316.12	2.0273
4.2001	23.Çevrim Maksimumu	401	2.5451	5.6756	0.0002	5724.02	3967.59	3.1305
5.2001	23.Çevrim Maksimumu	337	2.6974	5.3377	0.0003	3975.57	2755.66	2.6403

et al. 1978; Hoeksema 1995). Güneş'in coğrafi kuzey kutup noktasında ölçülen manyetik alan şiddetinin mutlak değeri ile coğrafi güney kutup noktasında ölçülen manyetik alan şiddetinin mutlak değeri toplamı dipol momentini verir.

Manyetik dipol momentinin büyük olması, manyetik alanın aktivite yapıları tarafından az kullanıldığı, manyetik dipol momentinin küçük olması, manyetik alanının aktivite yapıları tarafından çok kullanıldığını ifade eder. Şekil 5'te görüldüğü üzere leke aktivitesinin minimum olduğu evreler dipol momentinin genliğinin büyük olduğu, leke aktivitesinin maksimum olduğu evreler dipol moment genliğinin küçük olduğu bölgelere karşılık gelmektedir. İki yarı küre arasındaki manyetik alan şiddet farkının ve leke sayılarının yıllara göre değişimi incelendiğinde, yine Şekil 5'te görüldüğü üzere her iki parametrenin genliğinin zamanla azalma eğiliminde olduğu görülmektedir.

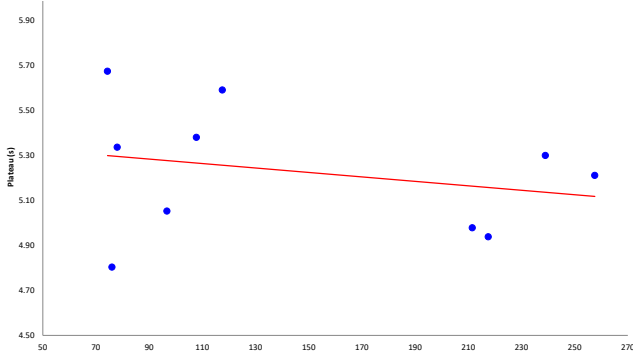
3 Tartışma

Literatüre baktığımızda, Kepler verileri kullanılarak yapılan çalışmalarda bazı örten çift sistemlerin sergilediği flare aktivitesi için oluşturulan OPEA modellerinin birden fazla model gerektirdiği görülmüştür (Kamil & Dal 2017; Dal & Özdarcan 2018; Yoldaş & Dal 2021). Ancak birden fazla model

gerektirecek flare gruplarının kaynağı hakkında tartışmalar hala belirsizliğini korumaktadır. Bu durumdan hareketle, Güneş'in flareleri tespit edilerek oluşturulacak Güneş OPEA modelleri bu tartışmalı durumu anlamamıza yardım edecektir.

Bu çalışma kapsamında çevrimsel aktivite davranışı sergileyen bir yıldızın farklı aktivite dönemlerinde tespit edilecek Plateau düzeylerinin birbirinden farklı olması ve bu Plateau düzeylerinin çevrimsel bir davranış göstermesi beklenmektedir. Bu davranışı inceleyebilmek için ise uzun soluklu gözlem verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Yaklaşık 45 yıllık veri arşivine sahip GOES uydusunun verileri kullanılarak, 20., 21., 22. ve 23. Güneş çevriminin farklı evrelerine denk gelen çeşitli tarihler seçilmiş ve bu tarihlere ait verilerdeki flareler tespit edilmiştir. Tespit edilen flare grupları kullanarak ilgili aylar için OPEA modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller ve model parametreleri birbirleriyle karşılaştırılarak ilişkileri incelenmiştir.

OPEA modellerini birbirleriyle karşılaştırıldığında modellerin Şekil 3'te de görüleceği üzere belirgin bir şekilde birbirlerinden ayrıştığı görülmektedir. Böylece, tek bir yıldızda farklı flare gruplarının olabileceği ve bu gruplardan elde edilecek OPEA modellerinin ayrışma gösterebileceği ispatlanmıştır. Ancak, bu ayrışma rastlantısal mı yoksa sistematik bir değişimin sonucu mudur? Bu sorunun cevabını



Şekil 6. Güneş çevrimlerindeki Dipol momentinin ilgili çevrimlerden hesaplanan Plateau değerine göre değişimi.

verebilmek için diğer OPEA model parametrelerinin de sistematik değişim göstermesi gerekmektedir.

İlk olarak, Plateau'ya göre Span değerinin değişimi incelenmiştir. Span değeri, bir yıldız üzerinde gözlenebilecek en yüksek enerjili flarelerin seviyesi ile o en düşük enerjili flarelerin enerji seviyeleri arasındaki farktır. M cücelerinde elde edilen sonuçlar bir yıldızın Plateau seviyesi artarsa y_0 seviyesinin de arttığını aradaki fark olan Span değerinin genellikle sabit kaldığını göstermektedir (Dal & Evren 2011). Oysa Güneş'te Span değerinin değiştiği görülmektedir. Yıldızın üzerinde flare üreten mekanizma daha güçlü flareler ürettiğinde, mekanizmanın ürettiği en güçsüz flarelerin de enerjilerinde ciddi bir değişimin olmadığı anlaşılmaktadır. M cücelerinde elde edilen sonuç, gözlenen kaynağa, gözlem aracına ve flare mekanizmasına bağlıdır. Oysa Güneş söz konusu olduğunda, gözlenen cisim aynı cisim, gözlem yapan araç aynı araç olduğu için bu değişimin tek nedeni flare mekanizması olduğu ortadadır.

Plateau'ya karşı Half-Time (daha sonrasında 'Yarılma Zamanı' olarak bahsedilecektir) değişimi Plateau seviyesinin yükseldikçe Yarılma zamanı parametresinin de yükseldiğini göstermektedir. Bunun anlamı, Plateau seviyesi yükseldikçe Yarılma zamanı parametresi yavaşça yükselse de aktivitenin çok çok şiddetli olduğu dönemlerde yüzeyde oluşan neredeyse tüm flareler Plateau düzeyinde enerji salınımı yaptığı için Yarılma zamanı parametresi düşüktür.

Plateau'ya karşılık K değerinin değişimine bakıldığında da Yarılma zamanı değişimine benzer şekilde bir değişim olduğu görülmektedir. K parametresi, modelin dönüm noktasındaki eğriseliktir ve bu eğrisellik artan Plateau seviyelerine gidildikçe azalmaktadır, yani modelin dönüm noktası yayvan hale gelmektedir. Ancak aktivite düzeyi çok çok arttığı durumlarda modelin dönüm noktası keskinleşir.

Son olarak, Plateau'nun zamana göre değişimi ise bu çalışma kapsamında bulunması beklenen bir değişimdir. Ancak elde edilen değişime bakıldığında, Plateau'nun zamana göre değişimi yaklaşık 11 yıllık leke çevriminden ziyade Güneş'in manyetik çevrimine göre değişim sergilemektedir. Şekil 4'te görüldüğü üzere, ilk bulgular 20-25 yıl gibi bir sürede değişim olduğunu ortaya koymaktadır. Bu dönem, Güneş'te yaklaşık 22 yıllık döneme sahip olan manyetik çevrim ile benzerdir.

Bunlara ek olarak, Şekil 6'da gösterildiği gibi Dipol momentine göre Plateau değeri değişimine bakıldığında artan dipol moment değerlerine gidildikçe Plateau düzeyinin azaldığı görülmektedir. Çünkü manyetik aktivite düşük olacağı için

manyetik alan kaybı azalmaktadır. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında bulunması hedeflenen değişim olan Plateau düzeyinin zamanla değişiminin sebebi Güneş'in manyetik yapısındaki değişimdir ki bu, tespit edilen Plateau düzeyleri ilgili tarihleri için Güneş'in yüzeyindeki manyetik alan topolojisi hakkında bilgi edinmeyi sağlar. Ayrıca, bazı çift sistemlerde OPEA modelleri ayrıştırırken M cüceleri içeren sistemlerde tek modelin yeterli olması da ayrışmanın manyetik dipol momentine sahip G ve K tayf türü bileşenler olması Güneş için bulunan bu sonuçları doğrulamaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmayı düzenleyen Ege Üniversitesi Gözlemevi Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Aulanier G., Démoulin P., Schrijver C. J., Janvier M., Pariat E., Schmieder B., 2013, *A&A*, 549, A66
- Berdyugina S. V., 2005, *Living Reviews in Solar Physics*, 2, 8
- Carrington R. C., 1859, *MNRAS*, 20, 13
- Dal H. A., Evren S., 2010, *AJ*, 140, 483
- Dal H. A., Evren S., 2011, *AJ*, 141, 33
- Dal H. A., Özdarcan O., 2018, *MNRAS*, 474, 326
- Dawson B., Trapp R., 2004, *Basic & Clinical Biostatistics 4/E* (EBOOK). LANGE Basic Science, McGraw-Hill Education, <https://books.google.com.tr/books?id=p6hu-qU2zpsC>
- Gershberg R. E., 1972, *Ap&SS*, 19, 75
- Gershberg R. E., 2005, *Solar-Type Activity in Main-Sequence Stars*. Springer, doi:10.1007/3-540-28243-2
- Gershberg R. E., Shakhovskaya N. I., 1983, *Ap&SS*, 95, 235
- Green S. B., Salkind N. J., Jones T. M., 1996, *Using SPSS for Windows; Analyzing and Understanding Data*, 1st edn. Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA
- Haisch B., Strong K. T., Rodono M., 1991, *ARA&A*, 29, 275
- Hodgson R., 1859, *MNRAS*, 20, 15
- Hoeksema J. T., 1995, *Space Sci. Rev.*, 72, 137
- Kamil C., Dal H. A., 2017, *Publ. Astron. Soc. Australia*, 34, e029
- Maehara H., et al., 2012, *Nature*, 485, 478
- Marcy G. W., Chen G. H., 1992, *ApJ*, 390, 550
- Motulsky H., 2007, *GraphPad Software*, 31, 39
- Pettersen B. R., 1991, *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 62, 217, *ADS*
- Schaefer B. E., King J. R., Deliyannis C. P., 2000, *ApJ*, 529, 1026
- Skumanich A., 1972, *ApJ*, 171, 565
- Spanier J., Oldham K. B., 1987, *An Atlas of Functions*. Taylor & Francis/Hemisphere, Bristol, PA, USA
- Stauffer J. R., 1991, in Catalano S., Stauffer J. R., eds, *NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C Vol. 340, NATO Advanced Science Institutes (ASI) Series C*. p. 117
- Strassmeier K. G., 2009, *A&ARv*, 17, 251
- Svalgaard L., Duvall T. L. J., Scherrer P. H., 1978, *Sol. Phys.*, 58, 225
- Yoldaş E., Dal H. A., 2021, *Rev. Mex. Astron. Astrofis.*, 57, 335

Access:

M22-0306: *Turkish J.A&A* — Vol.3, Issue 3.