



X ve M Sınıfı Parlamaların Faz Zaman Aralıkları Boyunca Yarı-Periyodik Salınımların X-ışınlarında Araştırılması

Hasret Atasoy¹ *, Z. Funda Bostancı² 

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı, 34116, Beyazıt, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119, Beyazıt, İstanbul, Türkiye

Accepted: March 31, 2023. Revised: December 14, 2022. Received: November 13, 2022.

Özet

Güneş parlamalarının, aktif bölgeler ile ilişkili manyetik alanlarda depolanan muazzam bir enerjinin aniden serbest kalmasından kaynaklandığına inanılmaktadır. Güneş parlamalarının elektromanyetik tayf boyunca yapılan gözlemlerde yarı-periyodik salınımlar (Quasi-Periodic Pulsation – QPP) gösterdiği rapor edilmiştir. Çalışmada 24. Çevrim süresince gözlenen parlamalarda QPP'lerin sistematik araştırılması gerçekleştirilmiştir. GOES uydu serileri ve Fermi/GBM uydusu ile gözlenmiş M ve X sınıfı Güneş parlamalarının evrimi boyunca parlama faz zaman aralıkları dikkate alınarak QPP'lerin dinamik özellikleri detaylı araştırılması literatürdeki bazı belirsizliklere açıklık getirilerek periyot sonuçlarına bağlı olarak QPP'lerden sorumlu mümkün mekanizmalar irdelenmiştir.

Abstract

Solar flares are believed to result from the sudden release of an enormous energy stored in magnetic fields associated with active regions. It has been reported that solar flares show quasi-periodic pulsation (QPP) in observations made across the electromagnetic spectrum. The systematic investigation of signals consistent with QPPs in the study was carried out on a large sample (Cycle 24 Flares). A detailed investigation of the dynamic properties of QPPs, taking into account the flare phase time intervals during the evolution of M and X class solar flares observed with the GOES satellite series and Fermi/GBM satellite, will be clarified and some uncertainties in the literature will be clarified, and possible mechanisms responsible for QPPs will be discussed depending on the period results.

Anahtar Kelimeler: Sun, Solar flares, Quasi-Periodic Pulsations

1 Giriş

Güneş parlamaları, manyetik enerjinin aniden serbest kalması ile koronada ortaya çıkan güçlü patlamalardır. Aktif bölgeler ile ilişkili manyetik alanlarda depolanan muazzam bir enerjinin (10^{28} - 10^{32} erg) aniden serbest kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Benz 2008). Bir parlama süresince açığa çıkan enerji elektromanyetik tayf boyunca (radyo bölgesinden gama-ışın bölgesine) tüm frekanslarda gözlenerek, radyatif enerji, kinetik enerji, termal ve termal olmayan gibi çeşitli enerji formlarında yayınlanır (Shibata & Magara 2011).

Güneş parlamaları X-ışınlarında, GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) uydusu üzerindeki X-ışın dedektörünün 1-8 Å kanalında gözlenen maksimum emisyonlarına göre A, B, C, M veya X olarak sınıflandırılır. GOES sınıflarının 10^{-4} ile 10^{-8} Wm⁻² arasında değişen bir logaritmik ölçeklendirmesi vardır. X-sınıfı aralığı (en şiddetli parlamalar) dışında, her bir sınıf içinde 1'den 9'a kadar doğrusal bir ölçek vardır. 24. Güneş çevriminin en şiddetli parlaması X9.3 sınıfı bir güneş parlamasıdır.

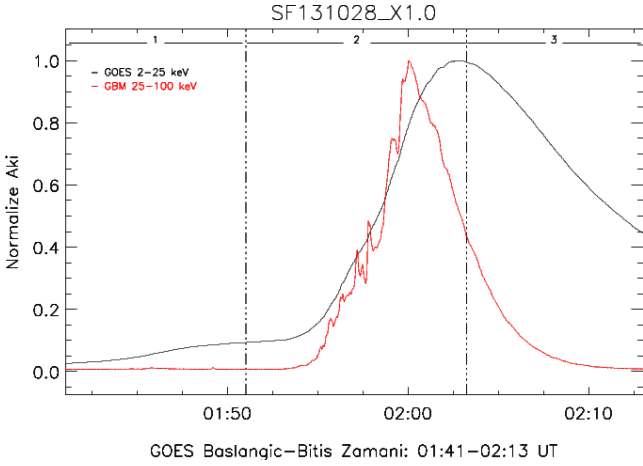
Parlamaların her ne kadar doğası ve sorumlu mekanizmaları tam olarak bilinmesede parlama emisyonun temelleri yaygın olarak kabul gören CSHKP (Carmichael 1964; Sturrock 1966; Hirayama 1974; Kopp & Pneuman 1976) standart parlama modeli ile tanımlanır. Çok sayıda parlama

gözlemlerinin incelenmesi sonucunda parlamaların üç ana faz gösterdiği bulunmuştur; enerjinin biriktiği ve parlamanın tetiklendiği parlama öncesi (*pre-flare*), manyetik alanın yeniden birleşmesi sonucunda manyetik alan çizgilerinde depolanan enerjinin serbest kalarak plazmanın ısınmasına ve parçacıkların rölativistik hızlara (termal olmayan enerjilere) ivmelenmesi durumu flare veya atımlı (*impulsive*) faz ve sonrasında oluşan post-flare yaylarında yumuşak X-ışınlarında termal emisyonun yayınlanarak parçacıkların ivmelenmesinin durduğu parlamanın bu son aşamasına kademeli azalan (*gradual*) faz olarak bilinmektedir (Benz 2017; Fletcher ve diğ. 2011).

Parlama fazları süresince yayınlanan enerji ivmelenen parçacıklardan kaynaklanan emisyon termal olmayan ve ısınan plazmadan kaynaklanan emisyon ise termal olarak adlandırılır. Termal olmayan ışınlar parlama yaylarının tepe noktası üzerinde ve kromosferde ayak noktaları civarında gözlenen sert X-ışınları bremsstrahlung süreciyle (alan çizgileri boyunca ivmelen parçacıkların yoğun maddeyle etkileşmesi) yayınlanmaktadır (Aschwanden 2005). Termal yumuşak X-ışın emisyonu, parlama öncesi ve sonrası oluşan ve kromosferden geçiş bölgesine kadar uzanan yay yapılarında ısınan plazmadan kaynaklanmaktadır. Şekil 1'de parlamaların termal yumuşak (<25 keV) ve termal olmayan sert (>25 keV) X-ışın ışık eğrilerinde parlama fazları gösterilmiştir.

Güneş parlamalarının çoklu dalga boyu gözlemleri sonucunda parlamaların ışık eğrilerinde yarı-periyodik salınımlar (QPP: quasi-periodic pulsation) gösterdiği rapor edilmiştir.

* hasretatsy@gmail.com



Şekil 1. 28 Ekim 2013'te gözlenen X1.0 sınıfı bir parlamanın GOES termal ve GBM termal olmayan enerjilerdeki ışık eğrileri. Parlamanın fazları grafik üzerinde dikey çizgilerle gösterilmiştir. 1: Parlama öncesi, 2: Atımlı, 3: Kademeli azalan faz.

Bu sınımların parlama emisyonunda periyodik şiddetin tüm dalgalıyolarını kapsayan değişimleri ve yayınlanan enerjinin bir özelliği olarak düşünülmektedir (Nakariakov & Melnikov 2009). Periyotları birkaç saniye ile birkaç dakika arasında değişmektedir (Aschwanden 1987; Fleishman ve diğ. 2002; Tan 2008; Foullon ve diğ. 2005). QPP'lerin oluşumundan sorumlu mekanizmanın ne olduğu hala belirsiz olmakla birlikte genellikle MHD (manyetohidrodinamik dalgalar) ve yeniden birleşme süreçleri ile ilişkilendirilirler. Ayrıca QPP'lerin oluşumunda birden fazla mekanizmanın da rol oynaması muhtemeldir. Dolayısıyla önerilen parlama modellerinin, gözlenen QPP zaman ölçeklerini de üretmesi gerekmektedir ki bu bağlamda bu parametre önemli bir kısıtlamadır. Bu bağlamda, mekanizma/mekanizmalar belirlendiği zaman QPP'ler, parlama enerjisi salınımından sorumlu fiziksel süreçler için benzersiz bir teşhis aracı olma umudunu taşımaktadır.

Bu çalışmada büyük bir örnek üzerinden Yer Sabit Yörüngeli Hareket Çevre Uydusu (Geostationary Operational Environmental Satellite – GOES) üzerindeki Güneş X-ışın Cihazı (Solar X-ray Sensor – XRS) ve Fermi Gama Işın Gözlemevi üzerindeki Gama Işın Patlama Monitörü (Gamma-ray Burst Monitor – GBM) uydusu teleskopları yüksek enerjili verileri kullanılarak X ve M sınıfı Güneş parlamalarının faz zaman aralıkları süreleri gözönünde bulundurularak termal ve termal olmayan enerji formlarında parlamaların QPP'lerin tespiti ile birlikte dinamik özellikleri literatürdeki belirsizliklerde dikkate alınarak irdelenmiştir.

2 Veri

Güneş parlamalarının termal ve termal olmayan akılarında QPP'leri araştırmak için parlamaların farklı dalgaboyu gözlemlerinin uydusu verilerine ihtiyaç vardır. Bu sebeple GOES uydusu serileri ve Fermi uydusu ile gözlenen parlama verileri kullanılmıştır. GOES uyduları, meteorolojik gözlemler yapmak amacıyla tasarlanmış olmasına rağmen Güneş X-ışın Cihazı (Solar X-ray Sensor – XRS) ile 0.5-4 Å (3.1-24.6 keV) ve 1-8 Å (1.6-12 keV) dalgaboyu aralıklarında kesintisiz olarak Güneş'in X-ışın akılarını ölçmektedir. Dolayısıyla, GOES'un yer

sabit yörüngede bulunması ve 2 s zaman çözünürlüğü ile birlikte bu çalışma için ideal bir kaynak arşivi sunmaktadır.

Fermi Gama-Işın Gözlemevi yüksek enerji astrofizikine katkı sağlamak amacıyla tasarlanmış olup yeryüzünden 565 km yükseklikte alçak bir yörüngede, dolanım periyodu 96 dk ve 25.6 derece eğim açısı ile dairesel yörüngede dolanarak 8 keV ile 300 GeV aralığında yüksek enerjili verileri kaydetmektedir. İki ana enstrümandan oluşmaktadır: 20 MeV - 300 GeV Geniş Alan Teleskopu (Large Area Space Telescope – LAT) ve 8 keV - 40 MeV Gama Işın Patlama Monitörü (Gamma-ray Burst Monitor – GBM). Bu çalışma için termal olmayan enerjilerdeki (25-100 keV) parlama gözlem verileri Fermi/GBM dedektörü CTIME verileri kullanılmıştır.

Çalışmada zaman aralığı, 24. Güneş çevrimini (11 Haziran 2008 - 26 Aralık 2019) içerecek şekilde sınırlandırılmıştır. Bu süre içerisinde GOES uydusunun XRT dedektörü 15239 parlama ve Fermi'nin GBM dedektörleri 5123 parlama gözlemiştir. Bu iki veri arşivindeki parlamaların ortak olanlar ve M ve X sınıfı olanlar belirlenmiştir. Daha sonra ışık eğrileri aşağıda listelenen kriterlere tabi tutulmuş ve analizleri yapılmıştır.

I. Işık eğrilerinin kontrolü: Uyduların Güney Atlantik Anomali'den geçişleri sırasında, Dünya tarafından örtülmesi veya veri kayıt hataları gibi sebeplerden dolayı veri eksiklikleri, ayrıca dedektörlerin ölü zamanından dolayı yüksek enerjilerdeki yığılmalar (*pile-up*) ve görüş alanındaki diğer X-ışın olayların izlerinin varlığı araştırılmıştır. Bu etkileri barındıran parlamalar analizlerde dikkate alınmamıştır. Böylece, termal enerji aralığında 766 parlama ve termal olmayan enerji aralığında 263 parlamaların bu çalışmadaki analizler için uygun olduğu belirlenmiştir.

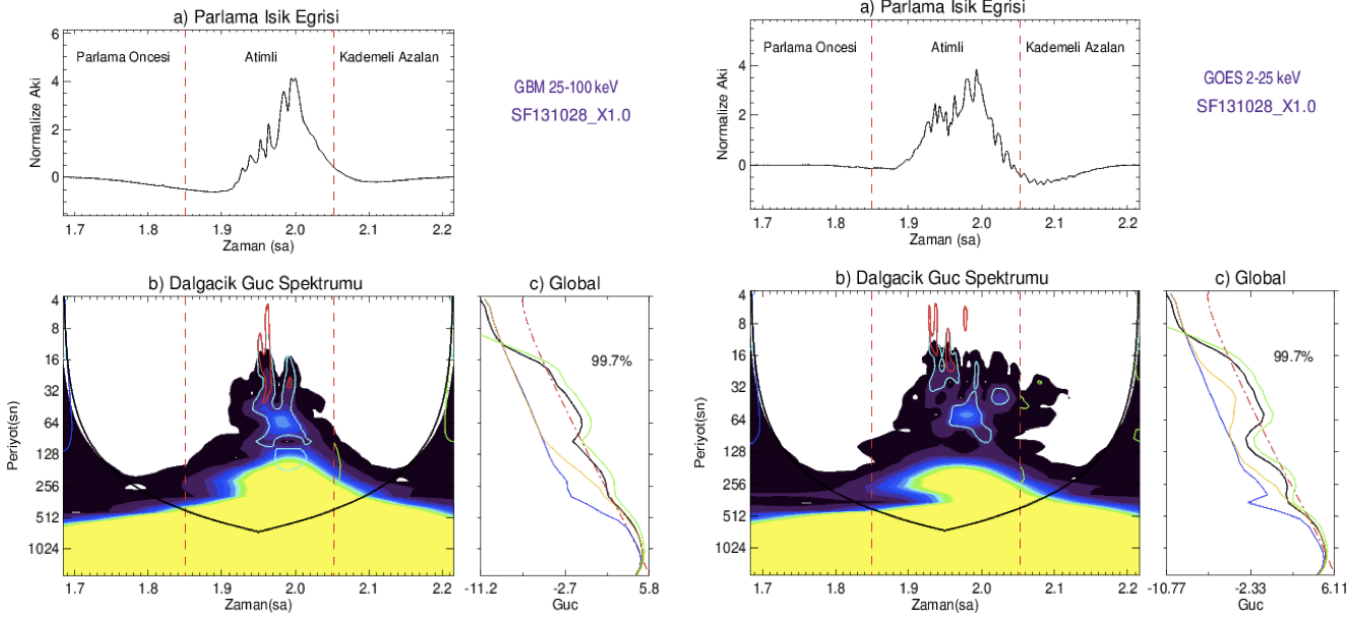
II. Termal enerjilerdeki parlama verilerinin türü: Yumuşak X-ışın verisinin zaman türevi genellikle termal olmayan (sert X-ışını veya mikrodalga) ışık eğrisine benzer bir dağılım göstermektedir. Neupert etkisi (Neupert 1968; Dennis ve Zarro 1993) olarak bilinen bu durumla yumuşak X-ışınlarında ince yapılar belirgin halde görülebilmektedir (Şekil 1).

III. Parlama faz zaman aralıklarının belirlenmesi: Parlama fazları ile yarı-periyodik salınımların oluşum zamanları arasında bir ilişki olup olmadığı araştırmak için 1-8 Å'da ışık eğrileri (Şekil 1) dikkate alınarak faz zaman aralıkları;

- Parlama öncesi fazının başlangıç zamanı GOES Katalog başlangıç zamanı,
- Atımlı fazı başlangıç zamanı maksimum akı değerinin %5'ine karşılık geldiği zaman,
- Kademeli azalan fazın başlangıç zamanı parlama akısının maksimum olduğu zaman,
- Kademeli azalan fazının bitişi GOES katalog bitişi zamanı olarak alınmıştır.

IV. Wavelet (Dalgacık) Analizi: Zaman analizinde (Torrence & Compo 1998) tarafından IDL programı ile geliştirilen wavelet kodu kullanılmıştır. Güç kanunu şeklindeki kırmızı gürültü spektrumunu dalgacık yazılımında bulunan oto-regresif modeli ile tanımlandı. Her bir parlamaların farklı enerji kanallarındaki ışık eğrilerinde QPP'lerin varlığı hem tüm parlama süresi hem de parlama faz süreleri ayrı ayrı dikkate alınarak oluşturulmuş ortalama güç spektrumlarında araştırılmıştır. Yarı-periyodik salınımların varlığı, dalgacık güç spektrumunda kırmızı-gürültü modelinin üzerinde %99.7 güvenilirlik seviyesinde tespit edilen güç olarak belirlenmiştir.

Şekil 2'de 28 Ekim 2013 tarihinde X1.0 sınıfı parlamaların GOES 2-25 keV (sağ) ve GBM 25-100 keV (sol) enerji



Şekil 2. 28 Ekim 2013'de gözlenen X1.0 sınıfı parlamasının GBM 25-100 keV (sol) ve GOES 2-25 keV (sağ) enerji aralığındaki ışık eğrisinin dalgacık analizi. (a) Parlamasının dalgacık analizinde kullanılan türevi alınmış ışık eğrisi. Turuncu dikey kesikli çizgi faz aralıklarını göstermektedir. (b) Morlet ana dalgacığı kullanılarak elde edilen lokal dalgacık güç spektrumu. X-ekseni zamanı y-ekseni periyodu göstermektedir. Kontürler, kırmızı gürültü modelinin üzerindeki %99.7 güvenilirlik seviyesinde gücü, çapraz çizgiler kenar etkilerinin önemli olduğu 'etki konisi' göstermektedir. (c) Global güç spektrumları; parlamasının toplam süresi boyunca (siyah çizgi), parlama öncesi faz süresince (mavi çizgi), atımlı faz süresince (yeşil çizgi) ve kademeli azalan faz süresince (turuncu). Kesikli çizgi gürültü modelinin üzerinde %99.7 güvenilirlik seviyesini gösteriyor.

aralığındaki zaman serisinin dalgacık analizi örnek olarak verilmiştir. GOES 2-25 keV termal enerji aralığındaki parlama ve atımlı faz süresince %99.7 güvenilirlik seviyesi üzerinde 20.12-80.49 s, 160.97-270.72 s benzer periyot aralığı sonuçları tespit edilirken parlama öncesi ve kademeli azalan faz süresince %99.7 güvenilirlik seviyesi üzerindeki periyotlar etki konisi maximum uzunluğundan fazla olduğundan dolayı periyot tespit edilememiştir. Benzer bir şekilde GBM 25-100 keV termal olmayan enerjilerde parlama ve atımlı faz süresince %99.7 güvenilirlik seviyesi üzerinde 16.92-64.12 s, 67.68-246.36 s benzer periyot aralığı sonuçları tespit edilirken parlama öncesi ve kademeli azalan faz süresince %99.7 güvenilirlik seviyesi üzerindeki periyotlar etki konisi maximum uzunluğundan fazla olduğundan dolayı periyot tespit edilememiştir.

3 Termal ve Termal Olmayan Enerjilerde Yarı-Periyodik Salınımların Periyot Dağılımları

M ve X sınıfı parlamasının termal ve termal olmayan enerji aralıklarında ışık eğrilerine uygulanan dalgacık analizi ile tespit edilen yarı periyodik salınımlar parlama ve parlama fazları dikkate alınarak dört periyot aralığına göre gruplandırılmıştır; 10-30, 30-60, 60-110, >110 s (Şekil 3). Termal enerji aralıklarında tüm parlama süresi dikkate alındığında 10-30 s, 30-60 s ile >110 s aralıklarında baskın (Çizelge 1'de verilen sonuçlar analiz edilen tüm parlamaları içermektedir. Genel dağılımlar göz önünde bulundurularak (Şekil 4) ve periyotlar gruplandırılarak (Şekil 3) elde edilen sonuçlarda 'baskın' olarak kastedilen ilgili aralıktaki belirgin parlama periyotlarının sıklıklarında periyotlar hakimken termal olmayan enerji aralığında ise 30-60 s ile >110 s arasındaki periyotların baskın olduğu dikkati çekmektedir. Parlama öncesi ve kademeli azalan fazda termal ve termal olmayan enerji aralıklarında 10-30

s periyotlar baskındır. Atımlı fazda ise termal enerjilerde 10-30 s, 30-60 s periyotlar görülürken termal olmayan enerji aralığında ise 10-30 s periyotların baskın olduğu görülmektedir.

Tüm parlama ve parlamasının üç fazı süresince gözlenen tüm QPP'lerin histogramlarında grafikler logaritmik aralıklı binlerle oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu dağılımları temsil eden ortalama değerler ise Çizelge 1'de verilmiştir. Şekil 4'te termal (solda) ve termal olmayan (sağda) enerji kanallarında, üstten alta doğru sırasıyla, parlama süresince, parlama öncesi, atımlı ve kademeli azalan fazda tespit edilen QPP'lerin histogramları sunulmuştur. Çalışma sonuçları incelendiğinde, parlama süresince, parlama öncesi ve atımlı fazlarda termal enerjilerde kısa periyotlar hakimken termal olmayan enerjilerde daha uzun periyotlar baskındır. Kademeli azalan fazda termal ve termal olmayan enerjilerde kısa periyotlar hakim olup kayda değer bir periyot değişimi görülmemiştir. Termal enerjilerdeki kısa periyotların hakim olmasının sebebi, termal sıcaklıktaki plazma ortamından (parlama öncesi filamenter yapı ve kromosferik parlama sonrası oluşan ilmek şeklindeki plazma yapısı) kaynaklanıyor olmasıdır.

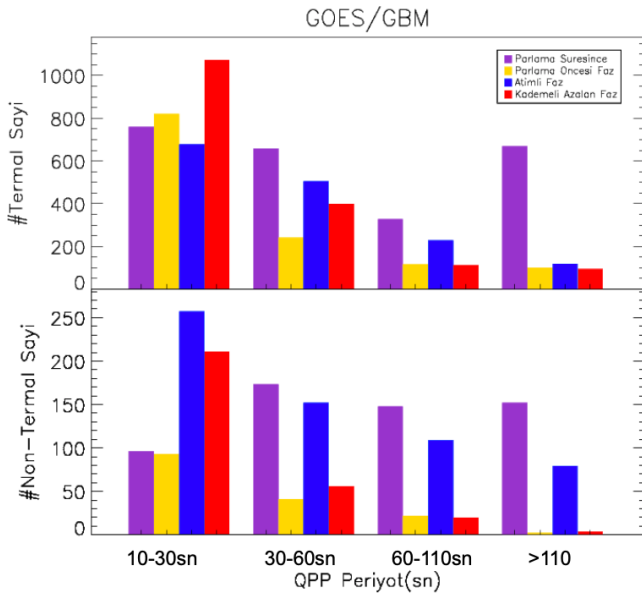
4 Tartışma ve Sonuç

11 Haziran 2008 ve 26 Aralık 2019 tarihleri arasında (24. Güneş Çevrimi), GOES ve Fermi/GBM ile gözlenen, sırasıyla, 766 ve 263 X ve M sınıfı parlamasının termal ve termal olmayan enerji aralıklarında parlamaların farklı fazları dikkate alınarak QPP'lerin sistematik araştırılması yapılmıştır.

Parlamalarda gözlenen QPP'lerin üretim mekanizmaları ya yeniden birleşme süreçleri ya da MHD dalga modlarıyla tanımlanmaktadır. Çalışmada, termal ve termal olmayan enerjilerde parlama süresince gözlenen 10-30 s ve 30-60 s'lik periyotlar ile parlama öncesi ve kademeli azalan fazlarda

Çizelge 1. Termal ve Termal Olmayan Enerji Aralıklarında X ve M Sınıfı Parlamaların QPP Sonuçları. Şekil 4'de verilen termal ve termal olmayan enerjilerde tespit edilen yarı periyodik salınımların log-normal dağılımını temsil eden ortalama değerler ve Şekil 3'de verilen dört farklı zaman aralığında gruplanan periyotların baskın olanların listesi.

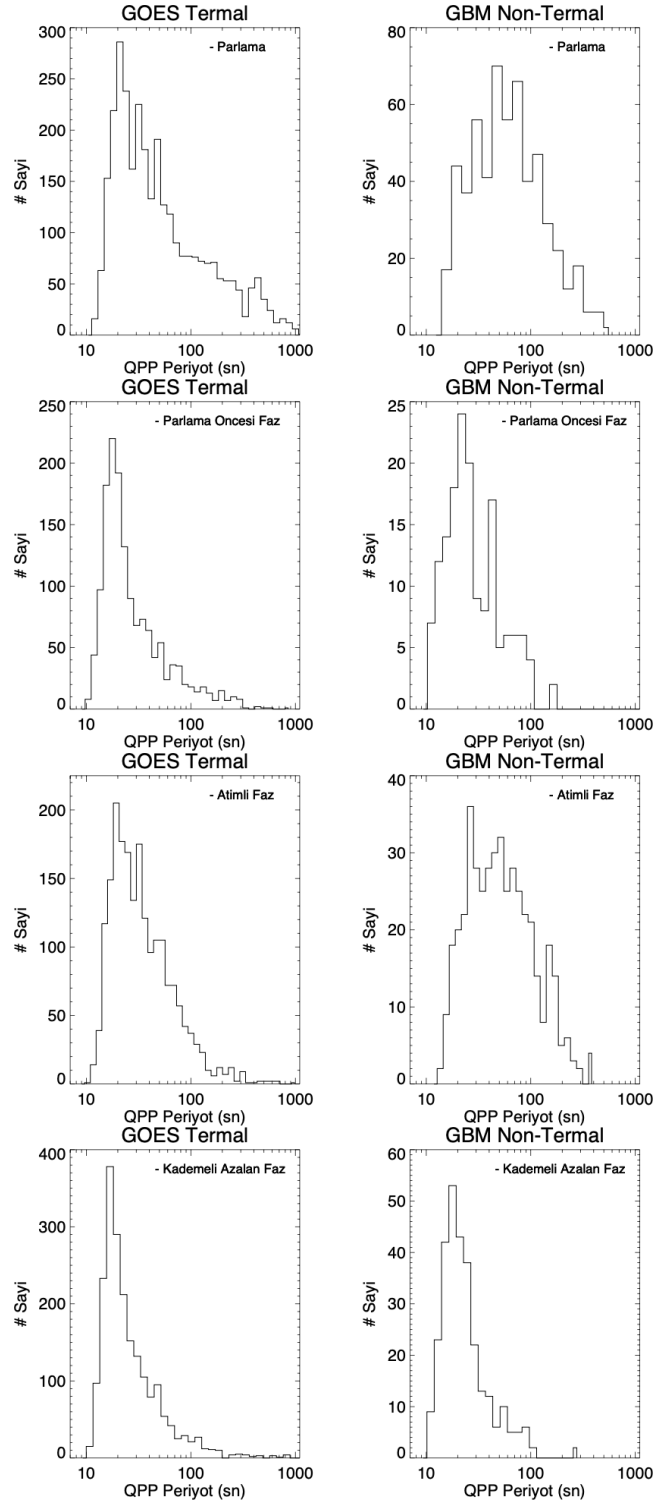
	Parlama Süresince	Parlama Öncesi Faz	Atımlı Faz	Kademeli Azalan Faz
Termal	21 s 10-30, 30-60, >110 s	17 s 10-30 s	19 s 10-30 s	17 s 10-30 s
Termal Olmayan	59 s 30-60, >110 s	22 s 10-30 s	26 s 10-30 s	18 s 10-30 s



Şekil 3. Termal ve termal olmayan enerji aralıklarında tespit edilen tüm QPP'lerin dört farklı zaman aralıklarında gruplanan periyot dağılımları.

gözlenen 10-30 s'lik periyotların genellikle parlama sonrası yay yapısında oluşan MHD hızlı ve yavaş sosis modlarıyla ilişkili olduğu düşünülmektedir (Dolla ve diğ. 2012; Simões ve diğ. 2015). Termal ve termal olmayan emisyonunda parlamaların atımlı fazında gözlenen 10-300 s arasındaki periyotların ise plazmanın ısındığı ve parçacıkların ivmelendiği yeniden birleşme süreçleri ile ilişkili olabileceği önerilmiştir (Simões ve diğ. 2015). Termal enerjilerde parlama süresince tespit edilen 110 s'den uzun periyotlar fotosferik dalgalar (p-modu) ile ilişkilendirilirken, termal olmayan emisyonunda tespit edilen 110 s'den daha uzun periyotlar MHD kink (enine) dalgalar ile ilişkilendirilmektedir (Kumar ve diğ. 2016; Sych ve diğ. 2015).

Yarı periyodik salınımların parlamalarda sık görülen olaylar olup olmadığı belirsizdir. Mikrodalga emisyonunda yapılan çalışmalarda, Kupriyanova ve diğ. (2013b) Güneş disk merkezi civarında gözlenmiş izole 12 parlamayı dikkate alarak, 10'unun



Şekil 4. X ve M sınıfı parlamaların termal ve termal olmayan enerji aralıklarında istatistiksel araştırmalarından tanımlanan QPP periyotlarının parlamaların süresince, parlama öncesi fazı, atımlı faz ve kademeli azalan faz histogramları

QPP gösterdiğini tespit etmişlerdir. Bu sonuç, QPP'lerin Güneş parlamalarının doğasında olabileceği ve QPP göstermeyen Güneş parlamaların ise nadiren gözlemlendiğini göstermektedir. Diğer taraftan, **Mossessian ve diğ. (2012)** 412 parlamada QPP araştırması yapmışlardır, örneklerinin sadece %10'unun QPP olarak sınıflanabilen zaman değişimleri gösterdiklerini tespit etmişlerdir. X-ışınlarında yapılan çalışmalarda ise, **Simões ve diğ. (2015)** 24. Güneş çevrimine ait GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) uydusuyla termal enerji aralığında gözlenmiş 35 X-sınıfı parlamayı analiz etmiş ve örneklerinin 28'inin (%80) atımlı faz süresince QPP gösterdiğini bulmuşlardır. Bu da QPP'lerin Güneş parlamalarında sık gözlenen olaylar olduğu sonucuna götürmektedir. Diğer yandan, **Inglis ve diğ. (2016)**, 2011-2015 yılları arasında GOES uydusu ile gözlenmiş 675 M ve X sınıfı parlamayı analiz etmişlerdir. Ayrıca, aynı dönem boyunca Fermi/GBM tarafından bu parlamalarla 15-25 keV enerji aralığında eş zamanlı gözlenmiş 261 parlama verisinin de analizini yapmışlardır. Araştırmacılar, GOES parlamalarının 202'sinin (%30) ve Fermi/GBM parlamalarının da 21'inin (%8) QPP gösterdiğini bulmuşlardır ve QPP'lerin Güneş parlamalarında sık gözlenen olaylar olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmamızda termal olmayan enerji aralığında 263 ve termal enerji aralığında 766 M ve X sınıfı parlamaların dalgacık dönüşümüyle zaman analizini yaptık. GOES termal enerjilerdeki parlamaların parlama süresince %89, parlama öncesi %60, atımlı %71, kademeli azalan fazda %82'sinde yarı periyodik salınımları tespit ettik. GBM termal olmayan enerjilerde ise parlama süresince %53, parlama öncesi %23, atımlı %46, kademeli azalan fazda %49'unda yarı periyodik salınımları gözledik. Dolayısıyla yarı periyodik salınımların termal enerjilerde daha sık gözlemlendiğini, Güneş parlamalarında QPP'lerin sık görülen olaylar olduğunu söyleyebiliriz.

QPP'lerin bir parlamanın tüm fazlarında tespit edilebilmektedir. Bazı durumlarda QPP'ler hem atımlı hem de kademeli azalan fazda gerçekleşirken (**Van Doorselaere ve diğ. 2011; Dolla ve diğ. 2012; Simões ve diğ. 2015**), diğer durumlarda ise QPP'ler sadece atımlı fazı (**Jakimiec & Tomczak 2012**) ya da kademeli azalan fazı (**Kane ve diğ. 1983**) boyunca gözlenirler. Bu çalışmada verilen sıklık yüzdelerini dikkate aldığımızda QPP'ler tüm fazlarda gözlenebilmektedir.

Bu çalışmada incelenen FERMI ve GOES uydusu verilerinin termal ve termal olmayan enerji aralıklarında yarı periyodik salınımların sonuçları raporlanmış ve literatür ile bir karşılaştırılması sunulmuştur. Genel olarak elde edilen sonuçlar literatürdekiler ile uyumlu olmakla birlikte gelecek çalışmalara bir öncülük edecek yeni problemlerin oluşmasına neden olmuştur. Çoklu dalga boyunda (sert X-ışın, yumuşak X-ışın, UV, radyo gibi) görülen QPP'ler arasında zaman gecikmeleri var mı? Parlama sınıfları, süreleri ile periyotlar arasında ilişki var mı? X sınıfından M, C, B ve A sınıflarındaki parlamalarda gözlenen QPP sonuçları bir farklılık gösterir mi? Gelecek çalışmalara öncülük edebilecek bu ve bunun gibi sorular çoklu dalgaboyları ve daha geniş enerji aralıklarında güncel veri setlerinin analizleriyle daha duyarlı tayin edilecek ve modellerin gözlemsel olarak sınanmasına fırsat verecektir.

Teşekkür

Bu çalışma, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'nın 117F010 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK, BİDEB-2211 programı kapsamında desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

- Aschwanden, M. J., 1987, *Solar Physics*, 111, 113-136.
 Aschwanden, M.J., 2005, *The Astrophysical Journal Letters*, 634, L193.
 Benz A. O., 2008, *LRSP*, 5, 1.
 Benz A. O., 2017, *LRSP*, 14, 2.
 Carmichael, H. 1964, in *Proc. AAS-NASA Symp., The Physics of Solar Flares*, ed. W. N. Hess, Vol. 50, 451.
 Chowdhury, P., Srivastava, A. K., Dwivedi, B. N., Sych, R., Moon, Y. J. 2015, , *Advances in Space Research*, 56, 2769-2778.
 Dennis, B. R., Zarro, D. M. 1993., *Solar Physics*, 146, 177-190.
 Dolla, L., Marqué, C., Seaton, D. B., Van Doorselaere, T., Dominique, M., Berghmans, D., Cabanas, C., De Groof, A., Schmutz, W., Verdini, A., West, M. J., Zender, J., Zhukov, A. N. 2012. , *The Astrophysical Journal Letters*, 749, 7.
 Fleishman, G. D., Fu, Q. J., Huang, G.L., Melnikov, V. F., Wang, M., 2002, *Astronomy and Astrophysics*, 385, 671-685.
 Fletcher L., Hudson H., Cauzzi G., Getman K. V., Giampapa M., Hawley S. L., Heinzel P., et al., 2011, *ASPC*, 448, 441.
 Foullon, C., Verwichte, E., Nakariakov, V. M., Fletcher, L. 2005. , *Astronomy and Astrophysics*, 440, 59-62.
 Hirayama, T. 1974, *SoPh*, 34, 323
 Huang, J., Tan, B., Zhang, Y., Karlický, M., Mészárosóvá, H. 2014. , *The Astrophysical Journal*, 791, 44.
 Inglis, A. R., Ireland, J., Dennis, B. R., Hayes, L., Gallagher, P. 2016. , *The Astrophysical Journal*, 833, 16.
 Kopp, R. A. & Pneuman, G. W. 1976, *SoPh*, 50, 85
 Kumar, P., Nakariakov, V. M., Cho, K. 2016. , *The Astrophysical Journal*, 822, 14.
 Kupriyanova, E. G., Melnikov, V. F., Nakariakov, V. M., Shibasaki, K. 2010. , *Solar Physics*, 267, 329.
 Mossessian, G., Fleishman, G. D. 2012. , *The Astrophysical Journal*, 748, 14.
 Nakariakov V. M., Melnikov V. F., 2009, *SSRv*, 149, 119.
 Neupert, W. M. 1968., *Astrophysical Journal*, 153, 59.
 Jakimiec, J., Tomczak, M. 2012. , *Solar Physics*, 278, 393-410.
 Kane, S. R., Kai, K., Kosugi, T., Enome, S., Landecker, P. B., McKenzie, D. L. 1983., *Astrophysical Journal*, 271, 376-387.
 Reznikova, V. E., Shibasaki, K. 2011., *Astronomy and Astrophysics*, 525, 7.
 Kupriyanova, E. G., Melnikov, V. F., Shibasaki, K. 2013b, , *Solar Physics*, 284, 559.
 Shibata K., Magara T., 2011, *LRSP*, 8, 6.
 Simões, P. J. A., Hudson, H. S., Fletcher, L. 2015. , *Solar Physics*, 290, 3625-3639.
 Sturrock, P. A. 1966, *Nature*, 211, 695
 Sych, R., Karlický, M., Altyntsev, A., Dudík, J., Kashapova, L. 2015. , *Astronomy and Astrophysics*, 577, 8.
 Tan, B., 2008, *Solar Physics*, 253, 117-131.
 Tomczak, M., Szafaroz, Z. 2014. , *Central European Astrophysical Bulletin*, 38, 111-122.
 Torrence C., Compo, G. P. 1998., *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 61.
 Van Doorselaere, T., De Groof, A., Zender, J., Berghmans, D., Goossens, M. 2011. , *The Astrophysical Journal*, 740, 8.
 Yu, Z., Thorstensen, J.R., Rappaport, S. ve diğ., 2019, *MNRAS*, 489, 1023

Access:

M23-0384: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)