

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## 24. Güneş Döngüsü Boyunca Meydana Gelen Jeomanyetik Fırtınaların Dağılımı

Fuat BAŞÇİFTÇİ\*

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı,  
Karaman*

(ORCID: [0000-0002-5791-0676](https://orcid.org/0000-0002-5791-0676))

---

### Öz

Jeomanyetik fırtına, genellikle gezegenler arası manyetik alandaki anormal koşullar ve çeşitli güneş aktivitelerinin neden olduğu güneş rüzgârı plazma emisyonları nedeniyle Dünya'nın manyetik alanında küresel bir bozulmadır. Jeomanyetik aktivitesi diğer döngülere göre en düşük seviyede olan 24. güneş döngüsüdür. Bu çalışmada 24. Güneş döngüsünde meydana gelen ve jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeğine göre belirlenen jeomanyetik fırtınaların dağılımı incelenmiştir. Ayrıca jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayısı veri olarak kullanılmıştır. 24. güneş döngüsünün maksimum aşaması olan 2014 yılında ortalama 113 güneş lekeleri sayısı gözlemlenmiştir. 24. döngü dönemi boyunca G ölçeğine göre toplam 381 jeomanyetik fırtına oluşmuştur. Bu fırtınaların %67.45' i G1, %25.46' sını G2, %4.72' si G3 ve %2.36' sını G4 düzeyinde meydana gelmiştir. Dst indis değerlerine göre %16.54' ü sakin, %32.28' i zayıf, %43.83' ü orta, %6.82' si güçlü ve %0.52' si şiddetli fırtına olarak belirlenmiştir. Kp indisine göre en güçlü fırtına 83 nT ile 22 Haziran 2015 ve 08 Eylül 2017 tarihlerinde, Dst indis değerine göre -223 nT ile 25 Haziran 2015 tarihinde gerçekleşmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Jeomanyetik fırtına, 24.güneş döngüsü, Dst, Kp, Güneş lekeleri sayısı.

---

## Distribution of Geomagnetic Storms Occuring During the 24th Solar Cycle

---

### Abstract

A geomagnetic storm is a global disturbance in the Earth's magnetic field, usually due to abnormal conditions in the interplanetary magnetic field and solar wind plasma emissions caused by various solar activities. It is the 24th solar cycle with the lowest geomagnetic activity compared to other cycles. In this study, the distribution of geomagnetic storms occurring in the 24th solar cycle and determined according to the G scale, which is a five-level system to indicate the severity of geomagnetic activity, was investigated. In addition, the Kp index, which is the geomagnetic storm index, the Dst index, which determines the intensity of the geomagnetic storm, and the average sunspot number in the solar cycle are used as data. An average of 113 sunspot numbers was observed in 2014, the maximum phase of the 24th solar cycle. During the 24th cycle period, a total of 381 geomagnetic storms occurred on the G scale. Of these storms, 67.45% occurred at the G1, 25.46% at the G2 level, 4.72% at the G3 level, and 2.36% at the G4 level. According to Dst index values, 16.54 percent were calm, 32.28% were weak, 43.83% were moderate, 6.82% were strong and 0.52% were severe storms. According to the Kp index, the strongest storm occurred with 83 nT on 22 June 2015 and 08 September 2017, and according to the Dst index value, on 25 June 2015 with -223 nT.

**Keywords:** Geomagnetic storm, Solar cycle 24, Dst, Kp, Sunspot number.

---

---

\*Sorumlu yazar: [fuatbasciftci@kmu.edu.tr](mailto:fuatbasciftci@kmu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 20.06.2021, Kabul Tarihi: 27.09.2021

## 1. Giriş

Güneş döngüsü, Güneş'in manyetik alanının yaklaşık olarak her 11 yılda bir geçtiği döngüdür. Güneş, elektrik yüklü sıcak gazdan oluşan devasa bir toptur. Bu yüklü gaz hareket ederek güçlü bir manyetik alan oluşturur. Güneş'in manyetik alanı, güneş döngüsü adı verilen bir döngüden geçer. Güneş'in manyetik alanı yaklaşık her 11 yılda bir tamamen tersine döner. Bu durum Güneşe ait kutupların (kuzey ve güney kutupları) yer değiştirdiğini gösterir [1]. Güneş döngüleri 1755 yılından beri düzenli olarak kayıt altında tutulmaktadır. Minimum aktivitenin gerçekleştiği 24. Güneş döngüsü Aralık 2008 ile Aralık 2019 yılları arasında kapsamaktadır.

Güneş lekeleri, güneş ve jeomanyetik rahatsızlıklarda önemli bir rol oynar [2]. Güneş lekeleri, Güneş'in iç kısmından yukarı doğru itilen yoğun manyetik akının bir sonucu olarak Güneş'in fotosferinde belirginleşen karanlık alanlardır. Ortalama güneş lekesi sayısı yaklaşık olarak her 11 yılda bir devir yapar [3].

Eski çağlardan beri bilinen güneşin yeryüzündeki karmaşık etkisi, güneşten gelen verileri inceleyerek ve modelleyerek güneş-dünya ilişkisinin anlaşılmasına katkıda bulunur [4, 5]. Bu karmaşık etkinin altında, her değişkenin kendi ayarlamasına sahip olduğu dinamik bir ilişki vardır [6-9]. 1808' de Alexander Von Humboldt, dünya çapında gözlemlenen jeomanyetik karışıklığa "jeomanyetik fırtına" adını vermiştir. İki yüzyıl sonra jeomanyetik fırtınaların incelenmesi hala bir araştırma konusudur [6, 10]. Bir jeomanyetik fırtına genellikle, plazma yoğun dinamik yapıya sahip güneşten kopan proton ve elektron yüklü parçacıkların, güneş rüzgarı vasıtasıyla dünyanın manyetik alanının yönünde ve büyüklüğünde önemli değişiklikler yapması nedeniyle oluşur [5, 11-15]. Jeomanyetik fırtınalar gibi tekrarlanan doğa olaylarının iyi bir şekilde tanımlanması, dinamiklerinin bazı bilinmeyen özelliklerini ortaya çıkarmaya yardımcı olabilir. Jeomanyetik fırtına, 1-3 gün süren Dünya yüzeyinden manyetokuyruğa kadar tüm manyetosferleri kapsayan tipik bir olaydır [16-20]. Dünyanın manyetik alanında meydana gelen bu tür rahatsızlıkların incelenmesi güneş-karasal ortamın dinamiklerini anlamak açısından önemlidir. Ayrıca bu tür jeomanyetik fırtınalar yaşamı tehdit eden güç kesintilerine, uydu hasarına, iletişim arızalarına ve seyir sorunlarına neden olabilir [21].

Jeomanyetik bozulmalar, biri Disturbance storm time (Dst) indisi [12, 22] ve Kp (gezegenel indis) [46] olmak üzere çeşitli indisler kullanılarak ölçülür. Kp indisi gezegenin manyetik etkilerini belirleyen ve güneş ışımından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir jeomanyetik fırtına indisi. 1932 yılından bugüne kadar sürekli olarak üretilmektedir. Kp, 13 subauroral gözlemlerde K indislerinin ağırlıklı ortalaması olarak alınmıştır. Kp indisi, ap indisinden elde edilen bir kuasilogaritmik gezegen indisi [15, 19, 23, 24]. Dünya çapında yer bazlı manyetometreler kullanılarak 3 saatlik aralıklarla türetilir [25]. Kp indeks değerleri "0" (çok sessiz) ile "9" (son derece rahatsız) arasında değişir. "0" ile "4" arasındaki Kp indisi çok düşükten durağan fırtınaya kadar olan kategorilere karşılık gelmektedir. Kp indisine ait diğer değerler "5" (zayıf fırtına) ve "9" (aşırı fırtına) arasında sınıflandırılır [26]. Hem gözlemlenen hem de tahmin edilen jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için G ölçeği adı verilen beş seviyeli bir sistem kullanılır. Bu ölçek, bir jeomanyetik fırtınanın ciddiyetini hızlı bir şekilde göstermek için kullanılmaktadır. G ölçeği G1' den G5' e kadar değişim gösterir. G1 en düşük düzey, G5 ise en yüksek düzeyi temsil eder. Fırtına seviyesinin altındaki koşullar G0 olarak isimlendirilir ancak bu değer yaygın olarak kullanılmamaktadır. Her G düzeyinin kendisiyle ilişkili belirli bir Kp değeri vardır. Bu, Kp değeri 5 için G1' den Kp değeri 9 için G5' e kadar değişir [27]. Jeomanyetik fırtınanın derecelerine karşılık G ölçeği ve Kp indis değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** G ölçeği ile Kp indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi

G Ölçeği	Kp indisi	Fırtına Etkisi
G0	4 ve altı	Fırtına Seviyesinin Altında
G1	5	Zayıf Fırtına
G2	6	Orta Şiddetli Fırtına
G3	7	Güçlü Fırtına
G4	8	Şiddetli Fırtına
G5	9	Aşırı Fırtına

Dst indisi, iyonosfer tabakasındaki değişimleri, manyetik fırtınayı ve seviyesini gösteren, 1 saatlik aralıklarla 4 gözlem istasyonundan alçak enlem manyetogramları kullanılarak elde edilen indistir [23, 25, 28, 29]. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordaki azalmasını ifade etmektedir. Dst indisindeki azalma jeomanyetik fırtına şiddetinin arttığına işaret eder. Dst indisinin birimi nanoTesla (nT)' dir [30, 31]. Jeomanyetik fırtınalar, Dst indisinin yoğunluğuna göre sınıflandırılır [32]. Dst indis değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.** Dst indisi sınır değerleri

Dst Aralığı (nT)	Fırtına Etkisi
$Dst_{min} \geq -30$	Sakin
$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$	Zayıf Fırtına
$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$	Orta Şiddette Fırtına
$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$	Güçlü (yoğun) Fırtına
$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$	Şiddetli (çok yoğun) Fırtına
$-350 \geq Dst_{min}$	Aşırı Fırtına

1957 sonra yapılan güneş döngülerindeki jeomanyetik fırtınaların istatistiksel dağılımları inceleyen çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Gupta ve Basu [33] 1965 yılında yaptıkları çalışmada, 1956-1963 yılları arasında meydana gelen olağanüstü güneş-karasal olayları araştırmış ve tüm olağanüstü güneş-karasal olay türlerinin en sık olarak ya yükselen ya da alçalan fazda veya bu fazların her ikisinde meydana geldiğine dikkat çekmişlerdir. Gonzalez ve ark. [34] 1990 yılında yaptıkları çalışmada, 1965-1985 yılları arasında meydana gelen yoğun jeomanyetik fırtınaların güneş döngüsü dağılımını incelemişlerdir. Bu fırtınaların değişkenliğinde baskın bir çift tepeli dağılımın var olduğuna dikkat çekmişler, bir tepe döngünün geç yükselen evresinde veya güneş maksimumunda ve diğeri döngünün erken alçalan evresinde meydana geldiği sonucuna varmışlardır. Li ve ark. [35] 2011 yılında yaptıkları çalışmada, 23. Güneş döngüsü sırasında meydana gelen büyük jeomanyetik fırtınaların özellikleri istatistiksel olarak araştırmışlardır. 23. Güneş döngüsü ile diğer güneş döngülerini karşılaştırdıklarında, fırtına sayısının maksimum yıllık güneş lekeli sayısına oranının  $Dst \leq -100$  nT veya  $Dst \leq -200$  nT' li fırtınalar için döngü 23'te en büyük olduğu bulunmuştur. Güneş lekeli sayısının azlığı göz önüne alındığında, 23. güneş döngüsünün manyetik aktivitesinin şiddetli olduğu sonucuna varmışlardır. Le ve ark. [36] 2012 yılında yaptıkları çalışmada, büyük jeomanyetik fırtınaların güneş döngüsü dağılımının analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaları, şiddetli (çok yoğun) jeomanyetik fırtınaları ve aşırı jeomanyetik fırtınaları incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaların yaklaşık %73' ünün güneş döngüsünün alçalan evresinde meydana geldiğini ve güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaların %83' ünün güneş döngüsü zirvesinden iki yıl önce ve ondan sonraki üç yıl içinde meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Selvakumaran ve ark. [37] 2016 yılında yaptıkları çalışmada, 23 ve 24. güneş döngülerinin ilk 77 ayında meydana gelen orta şiddette jeomanyetik fırtınaların güneş kaynağını ve gezegenler arası özelliklerini araştırmışlardır. 24. Güneş döngüsü, önceki döngü ile karşılaştırıldığında, şiddetli fırtınaların oluşumunda yaklaşık %80'lik bir azalma gösterirken, orta şiddetteki fırtınalarda bu oran sadece %40' tır. Orta şiddette fırtınaların meydana gelmesinde azalma olmasına rağmen, Dst dağılımının çok fazla farklılık göstermediğini tespit etmişlerdir. Bhoj ve ark. [38] 2017 yılında yaptıkları çalışmada, 23 ve 24. güneş döngüsünde güneş lekeli sayısı (SSN) ile orta dereceli jeomanyetik fırtınalar arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarında güneş lekeli sayılarının jeomanyetik fırtınaların incelenmesi için etkili bir parametre olmadığı sonucuna varmışlardır. Watari [39] 2017 yılında yaptığı çalışmada, 24. döngünün düşük jeomanyetik aktivitesinin özelliklerini araştırmak için güneş lekeli sayısı ve güneş rüzgârı verileriyle jeomanyetik faaliyetlerin uzun vadeli varyasyonlarının kapsamlı bir veri analizini gerçekleştirmiştir. Güneş ve güneş rüzgâr verilerini kullanarak 24. döngünün yükselen-maksimum evrelerindeki jeomanyetik fırtınaların güneş kaynaklarını belirlemiştir. İncelenen 24. Döngünün 1957' den bu yana son altı güneş döngüsü arasında en zayıf döngü olduğunu ve döngünün daha iyi anlaşılması için azalan-minimum evresindeki jeomanyetik aktivitenin sürekli olarak izlenmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Hajra [40] 2021 yılında yaptığı çalışmada, uzay çağında (1957' den sonra) en zayıf döngü olarak kabul edilen 24. Güneş döngüsünün 20'den 23'e kadar olan Güneş Döngüleri ile karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmıştır. 24. Güneş döngüsünün sadece solar aktivitede değil, aynı zamanda ortalama solar rüzgâr

parametrelerinde ve solar rüzgar-manyetosfer enerji eşleşmesinde de en zayıf olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmanın amacı, uzay araştırmaları çağında (1957' den sonra) gerçekleşen 24. Güneş döngüsünde (Aralık 2008 – Aralık 2019) meydana gelen jeomanyetik fırtınaların dağılımını incelemektir. İnceleme jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi, jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları temelinde yapılmıştır. Çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölümde kullanılan veriler ve bu verilerin temin edildiği adresler, 3. bölümde elde edilen bulgular ve tartışma, 4. bölümde sonuç verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan veriler şunlardan oluşmaktadır: Kp indisi ile beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları kullanılmıştır. 24. güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların G ölçeğine göre karşılıkları [41] adresinden güneş lekeleri, Dst indisi ve Kp indisinin değerleri NASA' nın Uzay Fiziği Veri Tesisine (Space Physics Data Facility-SPDF) bağlı Omniweb veri merkezinden [42] alınmıştır. 1957 yılından beri yayınlanmakta olan bir saatlik aralıklarla elde edilen Dst indisi bir manyetik fırtınanın yoğunluğunu karakterize etmek için kullanılmaktadır [35]. Çalışmada Kp indisinin gösteriminin daha iyi yapılabilmesi için her bir değer on ile çarpılarak ( $Kp*10$ ) gösterilmiştir.

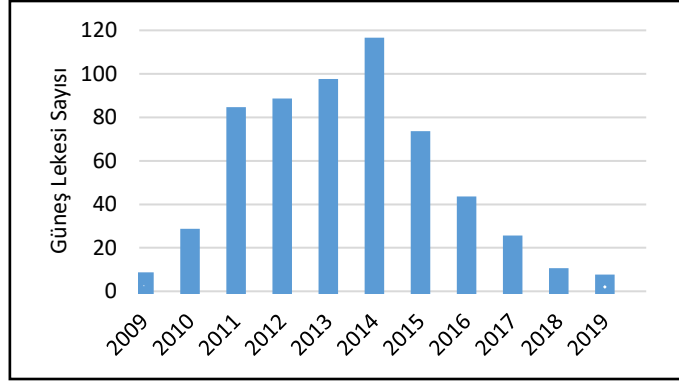
## 3. Bulgular ve Tartışma

Uzay havasının en önemli unsuru olan jeomanyetik fırtınalar hem güneş patlamaları hem de koronal kütle püskürmeleri ile ilişkilidir ve nihayetinde bunların hepsi güneş aktivitesine bağlıdır. Bu nedenle, bilim topluluğu, mevcut ve gelecekteki güneş aktivitesinin doğası hakkında daha fazla bilgi edinmek için Güneş'in etkinliğini sürekli olarak izlemektedir [43]. 11 yıllık güneş aktivitesi döngüsü çok uzun süredir çalışılmaktadır. Güneş lekeleri verilerinin muhtemelen eski Çinli gökbilimcilere kadar uzandığı bilinmektedir. Güneş döngüsü, güneş lekeleri sayısının maksimum olduğu bir maksimum tepe içerir ve bu tepenin periyodu güneş maksimum aktivite aşaması olarak adlandırılır [44].

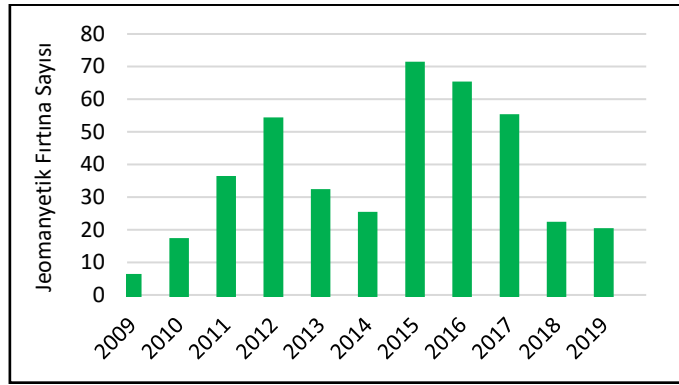
Bu çalışmada, Kp indisi, jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, çeşitli jeomanyetik gözlemleri tarafından kaydedilen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları ile 24. güneş döngüsü boyunca oluşan jeomanyetik fırtınaların analiz edilmesi için istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada elde edilen bulguların ve sonuçların uzay havası uygulamaları için pratik öneme sahip olacağına inanıyorum.

Yakın zamanda tamamlanan 24. Güneş Döngüsü, uzay araştırmaları döneminde, yani 1957' den sonra, büyüklük bakımından en zayıf olan döngüdür [39, 40]. En düşük fırtına sayısı 24. Güneş döngüsünde meydana gelmiştir. Önceki döngülere kıyasla orta şiddetteki fırtınalarda  $\approx$  %15–34, yoğun fırtınalarda  $\approx$  %49–75 azalma olmuştur [40]. Nisan 1954 ile Ekim 1964 yılları arasını kapsayan 19. Güneş Döngüsü en aktif döngüdür [45].

24. güneş döngüsünde güneş lekeleri sayılarının yıllık ortalama değerleri ve G ölçeğine göre jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllık dağılımı şekil 1 ve 2' de gösterilmektedir. Güneş döngüsü, güneş lekeleri sayılarının maksimum olduğu bir maksimum tepe içerir ve bu tepenin periyodu güneş maksimum aktivite aşaması olarak adlandırılır. Böylece, 24. güneş döngüsünün maksimum fazı 2014 yılı boyunca ölçülmüştür.



Şekil 1. 24. güneş döngüsü boyunca yılda ortalama güneş lekesi sayısı



Şekil 2. 24. güneş döngüsü boyunca G ölçeğine göre yılda toplam fırtınalı gün sayısı

Şekil 2' den 2009 yılında G ölçeğine göre 4 jeomanyetik fırtına meydana geldiği görülmektedir. Dst indis değerlerine göre bu fırtınalardan 2' si sakin, 1' i zayıf şiddette ve 1' i de orta şiddette fırtınalardır. Ayrıca, 2015 yılında en fazla sayıda jeomanyetik fırtınanın (69 jeomanyetik fırtına) meydana geldiği tespit edilmiştir. Tablo 1' de gösterilen G ölçeği değerleri ile tablo 2' deki Dst indisi sınır değerlerine göre 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllara göre sınıflandırılması tablo 3' te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** G ölçeği ve Dst indisine göre jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllara göre sınıflandırılması

Yıl	G Ölçeği					Dst indisi					
	G1	G2	G3	G4	G5	Sakin	Zayıf	Orta	Güçlü	Şiddetli	Aşırı
2009	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	0
2010	10	3	1	1	0	1	4	10	0	0	0
2011	21	10	2	1	0	3	9	18	4	0	0
2012	31	15	5	1	0	5	11	28	8	0	0
2013	21	6	2	1	0	2	8	17	3	0	0
2014	19	4	0	0	0	2	12	8	1	0	0
2015	43	18	5	3	0	8	17	37	5	2	0
2016	45	18	0	0	0	14	20	27	2	0	0
2017	37	12	2	2	0	16	24	11	2	0	0
2018	12	7	1	0	0	5	8	6	1	0	0
2019	16	2	0	0	0	5	9	4	0	0	0

Tablo 3 incelendiğinde 24. Güneş döngüsünde G ölçeğine göre 381 jeomanyetik fırtına meydana gelmiştir. Bu fırtınalardan 257' si G1 ölçeğinde, 97' si G2 ölçeğinde, 18' i G3 ölçeğinde, 9' u G4 ölçeğinde gerçekleşmiştir. Bu fırtınaların tablo 2' de verilen Dst indisi sınır değerlerine göre dağılımı; 63 sakin, 123 zayıf, 167 orta, 26 güçlü (yoğun), 2 şiddetli (çok yoğun) olarak gözlemlenmiştir. G ölçeğine ve Dst indisine göre farklı seviyelerdeki jeomanyetik fırtınaların toplam jeomanyetik fırtınalara oranı tablo 4 ve tablo 5' te gösterilmiştir.

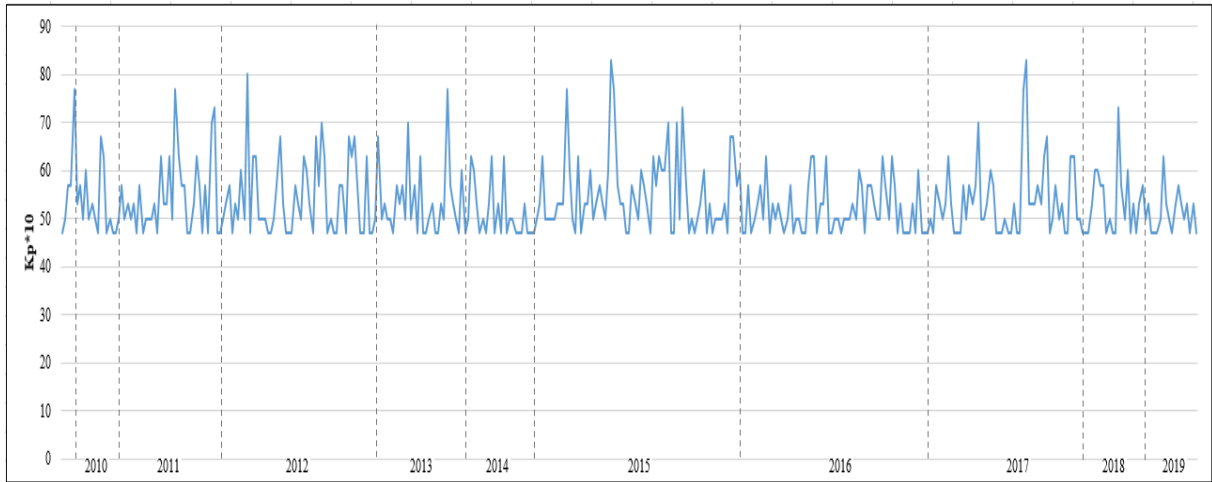
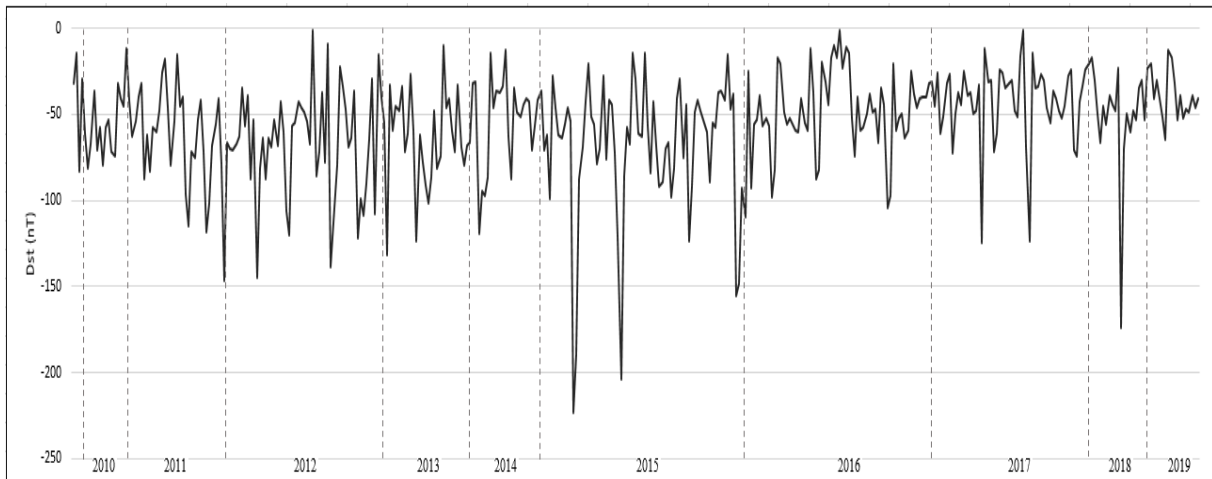
**Tablo 4. 24. Güneş döngüsünde G ölçeğine göre meydana gelen jeomanyetik fırtınaların oranı**

	G1	G2	G3	G4	G5
Fırtına Sayısı	257	97	18	9	0
Toplam	381				
Oran	%67.45	%25.46	%4.72	%2.36	-

**Tablo 5. 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Dst indis değerlerine göre oranı**

	Sakin	Zayıf	Orta	Güçlü	Şiddetli	Aşırı
Dst Değeri	$Dst_{min} \geq -30$	$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$	$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$	$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$	$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$	$-350 \geq Dst_{min}$
Fırtına Sayısı	63	123	167	26	2	0
Toplam	381					
Oran	%16.54	%32.28	%43.83	%6.82	%0.52	-

Tablo 4 ve 5 incelendiğinde 24. Güneş döngüsünde hem G ölçeğine göre hem de Dst indis değerlerine göre aşırı fırtına meydana gelmemiştir. Fırtınaların G ölçeğinde %67.45' i G1, %25.46' sını G2, %4.72' si G3 ve %2.36' sını G4 düzeyinde gözlemlenmiştir. Bu fırtınaların Dst indis değerlerine göre dağılımı %16.54' ü sakin, %32.28' i zayıf, %43.83' ü orta, %6.82' si güçlü (yoğun) ve %0.52' si şiddetli (çok yoğun) olarak belirlenmiştir. 24. güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Kp indisi ve Dst indisi değerlerine göre görünümü şekil 3 ve şekil 4' te gösterilmektedir.

**Şekil 3. 24. güneş döngüsü boyunca meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Kp indis değerlerinin gösterimi****Şekil 4. 24. güneş döngüsü boyunca meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Dst indis değerlerinin gösterimi**

Şekil 3 ve 4 incelendiğinde yıllara meydana gelen jeomanyetik fırtınaların en yüksek Kp değerleri ve en düşük Dst değerlerine göre fırtına aktiviteleri aşağıda sıralanmaktadır:

- 2009 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 57 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -83 nT (orta şiddetli fırtına)
- 2010 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -81 nT (orta şiddetli fırtına)
- 2011 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -147 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2012 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 80 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -145 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2013 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -132 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2014 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -119 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2015 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 83 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -223 nT (şiddetli (çok yoğun) fırtına)
- 2016 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -110 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2017 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 83 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -125 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2018 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 73 nT (G3 ölçeği, güçlü fırtına), en düşük Dst değeri -174 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2019 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -65 nT (orta şiddetli fırtına)

Şekil 3 ve 4' ten görülebileceği gibi 24. Güneş döngüsü boyunca Kp indisine göre 90 nT ve üzeri, Dst indisine göre  $D_{st_{min}} \leq -350$  seviyesinde olan aşırı jeomanyetik fırtına gerçekleşmemiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların dağılımı jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi ile jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeli sayılarına göre incelenmiştir. İncelenen 24. döngü döneminin jeomanyetik aktivitesi, 1957'den bu yana son altı güneş döngüsüne göre en düşük seviyede olanıdır. Yapılan araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- (1) İncelenen 24. döngü döneminin jeomanyetik aktivitesi, 1957' den bu yana son altı güneş döngüsüne nazaran en düşük seviyede olanıdır. 24. güneş döngüsünün maksimum aşaması 2014 yılı boyunca ölçülmüştür. 2014 yılında ortalama 113 güneş lekeli sayısı meydana gelmiştir. 2009-2013 ve 2015-2019 dönemleri ise güneş aktivitesinin minimum aşaması dönemleridir (Şekil 1).
- (2) 2009 yılında 4 jeomanyetik fırtınanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, maksimum jeomanyetik fırtına sayısının 2015 yılında meydana geldiği, 2014 yılının ise 24. güneş döngüsünün maksimumu olduğu, 2019 yılının ise 24. güneş döngüsünün alçalan evresindeki minimum güneş lekeli aktivitesini temsil ettiği bulunmuştur.
- (3) 24. güneş döngüsü dönemi olan Aralık 2008 ile Aralık 2019 tarihleri arasında G ölçeğine göre toplam 381 jeomanyetik fırtına oluşmuştur. Bu fırtınalardan 257' si G1 ölçeğinde, 97' si G2 ölçeğinde, 18' i G3 ölçeğinde, 9' u G4 ölçeğinde gerçekleşmiştir. G ölçeğine göre en düşük jeomanyetik fırtına 2009 (4 adet) yılında en fazla jeomanyetik fırtına 2015 (69 adet) yılında meydana gelmiştir (Şekil 2, Tablo 3).
- (4) 381 jeomanyetik fırtınanın tablo 1' de verilen Kp indis değerlerine göre en güçlü olanı 83 nT ile 22 Haziran 2015 ve 08 Eylül 2017 tarihlerinde meydana gelmiştir (Şekil 3).
- (5) Fırtınaların tablo 2' de verilen Dst indisine göre  $D_{st_{min}} \leq -200$  olan 2 adet şiddetli (çok yoğun) fırtına olduğu gözlenmektedir. 17 Mart 2015 ve 25 Haziran 2015 tarihlerinde gerçekleşen bu şiddetli fırtınaların Dst indis değerleri sırasıyla -223 nT ve -204 nT' dir (Şekil 4).

- (6) 24. Güneş döngüsü döneminde meydana gelen 381 jeomanyetik fırtınanın Dst indisi sınır değerlerine göre; 63' ü sakin, 123' ü zayıf, 167' si orta, 26' sı güçlü (yoğun), 2' si şiddetli (çok yoğun) olarak gözlemlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca bu döngü boyunca aşırı fırtına (G ölçeğine göre G5 seviyesi, Kp indisine göre 90 nT ve üzeri, Dst indisine göre  $Dst_{min} \leq -350$ ) seviyesinde bir jeomanyetik fırtına gerçekleşmemiştir (Şekil 3, 4).
- (7) Meydana gelen 381 jeomanyetik fırtınanın G ölçeğindeki dağılımı %67.45' i G1, %25.46' sı G2, %4.72' si G3 ve %2.36' sı G4 düzeyinde meydana gelmiştir (Tablo 4). Bu fırtınaların Dst indisi değerlerine göre %16.54' ü sakin, %32.28' i zayıf, %43.83' ü orta, %6.82' si güçlü (yoğun) ve %0.52' si şiddetli (çok yoğun) olarak oluştuğu gözlemlenmiştir (Tablo 5).

## Teşekkür

Yazar <https://www.spaceweatherlive.com> adresine ve Dünya Data Merkezi'ne teşekkür eder.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Nasa Science Space Place, 2021. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/en/> (Erişim Tarihi: 27.05.2021).
- [2] Liu Z., Zhang T., Wang H. 2021. Predicting sunspot numbers based on inverse number and intelligent fixed point. *Solar Physics*, 296 (5), 83.
- [3] Abdel-Rahman H.I., Marzouk B.A. 2018. Statistical method to predict the sunspots number. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 7 (2): 175-179.
- [4] Hanslmeier A. 2007. *The Sun and Space Weather*. Astrophysics and Space Science, second ed. (Springer e-book).
- [5] Koklu K. 2020. Mathematical analysis of the 09 March 2012 intense storm, *Advances in Space Research*, 66 (4): 932-941.
- [6] Gonzalez W.D., Josely J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T., Vasyliunas V.M. 1994. What is a geomagnetic storm?. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 99 (A4): 5771– 5792.
- [7] Stern D.P. 1996. A brief history of magnetospheric physics during the space age. *Reviews of Geophysics*, 34 (1): 1-31.
- [8] Saba F.M.M., Gonzalez W.D., Gonzalez A.L.C. 1997. Relationships between the AE, ap and Dst indices near solar minimum (1974) and at solar maximum (1979). *Annales Geophysicae*, 15 (10): 1265–1270.
- [9] Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Gonzalez A.L.C. 1999. Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Science Reviews*, 88: 529–562.
- [10] Kashcheyev A., Migoya-Orué Y., Amory-Mazaudier C., Fleury R., Nava B., Alazo-Cuartas K., Radicella S.M. 2018. Multivariable comprehensive analysis of two great geomagnetic storms of 2015. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123: 5000–5018.
- [11] Akasofu S.I. 1964. A Source of the energy for geomagnetic storms and auroras. *Planetary and Space Science*, 12 (9): 801-808.
- [12] Burton R.K., McPherron R.L., Russell C.T. 1975. An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst. *Journal of Geophysical Research*, 80 (31): 4204–4214.
- [13] Eroglu E. 2019. Modeling the superstorm in the 24th solar cycle. *Earth Planets Space*, 71: 26.
- [14] Eroglu E. 2020. Modeling of 21 July 2017 Geomagnetic Storm. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 5 (1): 33-49.
- [15] Inyurt S. 2020. Modeling and comparison of two geomagnetic storms. *Advances in Space Research*, 65 (3): 966-977.
- [16] Aksoy S., Tretyakov O.A. 2002. Study of a time variant cavity system. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 16 (11): 1535-1553.



- [17] Tretyakov O.A., Erden F. 2008. Temporal cavity oscillations caused by a wide band waveform. *Progress In Electromagnetics Research B*, 6: 183-204.
- [18] Eroglu E. 2011. Dalga kılavuzları boyunca geçici sinyallerin transferi. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 1-158.
- [19] Eroglu E., Aksoy S., Tretyakov O.A. 2012. Surplus of energy for timedomain waveguide modes. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29 (1): 409-506.
- [20] Eroglu E., Ak N., Koklu K., Ozdemir Z., Celik N., Eren N., 2012. Special functions in transferring of energy; a special case: “Airy function”. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30 (1): 719-726.
- [21] Rathore B.S., Kaushik S.C., Parashar K.K., Bhadoria R.S., Kapil P., 2011. Statistical study of geomagnetic storms and their classification during solar cycle-23. *International Journal of Physics and Applications*, 3 (1): 91-96.
- [22] Sugiura M. 1964. Hourly Values of Equatorial Dst for the IGY, *Annual International Geophysical Year*, Vol. 35 (New York: Pergamon), 9, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19650020355/downloads/19650020355.pdf>
- [23] De Canck M.H. 2007. Ionosphere Properties and Behaviors, *Antennex*, 119: 6-7.
- [24] Zolesi B., Cander L.R., 2014. *Ionospheric Prediction and Forecasting*, Springer Geophysics. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-240.
- [25] Yildirim O., Inyurt S., Mekik C. 2016. Review of variations in  $M_w < 7$  earthquake motions on position and TEC ( $M_w = 6.5$  Aegean Sea earthquake sample). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16 (2): 543-557.
- [26] Ulukavak M., Inyurt S. 2020. Seismo-ionospheric precursors of strong sequential earthquakes in Nepal region. *Acta Astronautica*, 166: 123-130.
- [27] The Kp-index, 2021. <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html> (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [28] Mosna Z., Sauli P., Santolik, O. 2007. Preparation of a Database for the Study of Scaling Phenomena in the Ionosphere, *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers*, 2: 86-92.
- [29] Cahyadi M.N. 2014. Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia. PhD Thesis, Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers.
- [30] Hunsucker R.D., Hargreaves J.K. 2003. *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [31] Sharma K., Dabas R.S., Sarkar S.K., Das R.M., Ravindran S., Gwal A.K. 2010. Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. *Journal of Geophysical Research*, 115 (A11): 4-9.
- [32] Loewe C.A., Prölss G.W., 1997. Classification and mean behavior of magnetic storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 102 (A7): 14209–14213.
- [33] Gupta M.K.D., Basu D. 1965. Solar-terrestrial events in relation to the phase of the solar cycle. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 27 (9): 1029-1032.
- [34] Gonzalez W.D., Gonzalez A.L.C., Tsurutani B.T. 1990. Dual-peak solar cycle distribution of intense geomagnetic storms. *Planetary and Space Science*, 38 (2): 181-187.
- [35] Li Q., Gao Y., Zhu P., Chen H., Zhang X. 2011. Statistical study on great geomagnetic storms during solar cycle 23. *Earthquake Science* 24: 365–372.
- [36] Le G., Cai Z., Wang H., Zhu Y. 2012. Solar cycle distribution of great geomagnetic storms. *Astrophysics and Space Science*, 339: 151–156.
- [37] Selvakumaran R., Veenadhari B., Akiyama S., Pandya M., Gopalswamy N., Yashiro S., Kumar S., Mäkelä P., Xie H. 2016. On the reduced geoeffectiveness of solar cycle 24: A moderate storm perspective. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121: 8188–8202.
- [38] Bhoj C., Prasad L., Pokharia M., Mathpal C., Mathpal R. 2017. Space weather association with sunspots and geomagnetic storms for solar cycle 23 (1996-2007) and Solar Cycle 24 (2008-2016). *Journal of Pure Applied and Industrial Physics*, 7 (4): 156–161.
- [39] Watari S. 2017. Geomagnetic storms of cycle 24 and their solar sources. *Earth Planets Space* 69, 70.

- [40] Hajra R. 2021. Weakest solar cycle of the space age: a study on solar wind–magnetosphere energy coupling and geomagnetic activity. *Solar Physics*, 296 (2): 33.
- [41] The aurora and solar activity archive, 2021. <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive.html> (Erişim Tarihi: 05.05.2021)
- [42] OMNIWeb, 2021. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> (Erişim Tarihi: 18.05.2021)
- [43] Kakad B., Kakad A., Ramesh D.S., Lakhina G.S. 2019. Diminishing activity of recent solar cycles (22 – 24) and their impact on geospace. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 9 A1.
- [44] Rathore B.S., Kaushik S.C., Bhadoria R.S. Parashar K.K., Gupta D.C. 2012. Sunspots and geomagnetic storms during solar cycle-23. *Indian Journal of Physics*, 86 (7): 563–567.
- [45] Silbergleit V.M. 2012. Probable values of current solar cycle peak. *Advances in Astronomy*, 2012 (Special Issue).
- [46] Bartels J. 1938. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung. *Zeitschrift für Geophysik*, 14: 68–78.