

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ GÜNEŞ PATLAMASI ÜRETME
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Saliha EREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

2017

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ GÜNEŞ PATLAMASI ÜRETME
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Saliha EREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

(Bu tez Güneş Leke Gruplarının Patlama Üretme Potansiyellerinin ve Grupta Gözlenen İlişkili Değişimlerin Araştırılması isimli TÜBİTAK projesi tarafından 115F031 nolu proje ile desteklenmiştir.)

2017

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ GÜNEŞ PATLAMASI ÜRETME
POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Saliha EREN

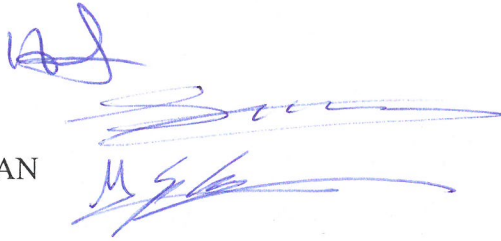
YÜKSEK LİSANS TEZİ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 23/1/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ali KILÇIK

Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Yrd. Doç. Dr. Murat KAPLAN



ÖZET

GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ GÜNEŞ PATLAMASI ÜRETME POTANSİYELLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Saliha EREN

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Ali KILÇIK
Ocak 2017, 86 Sayfa

Bu çalışmada, Güneş lekeleri, koronal kütle atımları ve jeomanyetik aktivite verileri analiz edilerek, Güneş leke sayıları (SSNs), Güneş leke alanları (SSAs), Güneş patlamaları, Koronal kütle atımları (CMEs) ve Jeomanyetik (Ap, aa, Kp, Dst ve Pc indeks) indeksler karşılaştırılmış ve aralarındaki ilişkiler araştırılmıştır.

Güneş lekeleri, literatürde en yaygın kullanılmasının yanı sıra, en uzun süreli gözlemsel veriye sahip olan güneş aktivite göstergesidir. Güneş leke sayıları ve güneş leke alanları gözlemlerinin yıllardır yapılması ve uzun dönemli verilerin var olması periyodik değişimlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada bu temel veriler ile birlikte güneş patlama sayıları, güneş patlama akıları ve 10.7 cm güneş radyo akısı gibi diğer güneş aktivite göstergeleri ile jeomanyetik aktivite indeksleri ve koronal kütle atımları arasında ilişkinin araştırılmasında çeşitli bilgisayar kodları kullanılmıştır. Pearson korelasyon analiz metodu kullanılarak tüm veriler arasındaki ilişkilerin derecesi ve yönü araştırılmıştır. Ortalama güneş leke grubu alanları ve her bir güneş leke grubuna ait flare üretme potansiyelleri arasındaki ilişkinin güvenilirliğini araştırmak için Student-t testi kullanılmıştır ($r = 0.996$, $t = 24.92$, $df = 5$, $p > 0.001$).

Yapılan analizler sonucunda, literatüre her bir güneş lekesinin flare üretme potansiyeli adını verdiğimiz tanım kazandırılmış. Böylece güneş lekelerinin sadece morfolojik sınıflandırması kullanılarak patlama üretme potansiyelleri (A grubu için 0.05, B grubu için 0.09, C grubu için 0.21, D grubu için 0.56, E grubu için 1.15, F grubu için 2.18, ve H grubu için 0.12) elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş lekeleri, Güneş leke alanları, Güneş patlamaları, Koronal kütle atımları, Jeomanyetik aktivite

JÜRİ: Doç. Dr. Ali KILÇIK (Danışman)
Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR
Yrd. Doç. Dr. Murat KAPLAN

ABSTRACT

INVESTIGATION OF FLARE PRODUCTION POTENTIAL OF SUNSPOT GROUPS

Saliha EREN

MSc Thesis in Space Sciences and Technologies

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ali KILÇIK

January 2017, 86 pages

In this study, Sunspots, Coronal Mass Ejections (CMEs) and geomagnetic activity data sets were analyzed and Sunspots Numbers (SSNs), Sunspot Areas (SSAs), solar flares, CMEs and geomagnetic indices (Ap, aa, Kp, Pc index) were compared and the relationships between them were investigated.

Sunspots are solar activity indicators that have the longest observed as well as the most commonly used data in the literature. The observations of Sunspot Numbers and Sunspot Areas have been made for years, and the existence of long-time data allows the periodic changes to be examined. In this study, we used various computer codes to investigate the relationship between these fundamental data and other solar activity indicators data such as the number of solar flares, flux of solar flares and 10.7 cm solar radio flux, geomagnetic activity indices and coronal mass ejections. The degree and direction of Relationship between all these indicators were investigated by using of Pearson correlation analysis method. To investigate the reliability of the relationship between average sunspot group area and flare production potential of each sunspot group Student t test was used ($r = 0.996$, $t = 24.92$, $df = 5$, $p > 0.001$).

As a result of the analyses, the new description that we called the flare production potential of sunspots was introduced to the literature. Thus, the probabilities of flare production potential with only using morphological classification of the sunspots were obtained (0.05 for A group, 0.09 for B group, 0.21 for C group, 0.56 for D group, 1.15 for E group, 2.18 for F group, and 0.12 for H group).

KEYWORDS: Sunspots, Sunspot areas, Solar flares, Coronal mass ejections, Geomagnetic activity

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ali KILÇIK (Supervisor)

Prof. Dr. Sacit ÖZDEMİR

Asst. Prof. Dr. Murat KAPLAN

ÖNSÖZ

Çağımızda teknolojinin gelişmesiyle birlikte uzayla ilgili çalışmalar hızlanmakta ve bu konuya verilen önem gün geçtikçe artmaktadır. Buna paralel olarak, Güneş fiziği üzerine yapılan araştırmalarda son zamanlarda hız kazanmıştır. Bu çalışma, Güneş aktivitesinin incelenmesi ve güneş aktivitesinin, Dünyamız ve yakın uzay çevresine etkilerinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Tez konumun seçiminde bana yol gösteren, çalışmalarım boyunca öneri, destek ve eleştirilerini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışmanım Sayın Doç. Dr. Ali KILÇIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım ile ilgili görüş ve önerileriyle bu çalışmaya katkıda bulunan ve desteklerini esirgemeyen Bulgaristan Bilimler Akademisi'nden Sayın Dr. Rositsa MITEVA'ya, Fransa Nice-Sofia-Antipolis Üniversitesi'nden Sayın Prof. Dr. M. Jean-Pierre ROZELOT'a ve Amerika New Jersey Teknoloji Enstitüsü'nden Sayın Prof. Dr. Vasyl YURCHYSHYN'e teşekkürü borç bilirim.

Yoğun çalışmalarım süresince benden yardım ve desteğini esirgemeyen, sabır ve sevgi ile her konuda yanımda olan, değerli dostum Nurdan KARAPINAR'a her şey için çok teşekkür ederim.

Aynı zamanda bu süreçte destek ve yardımları ile yanımda olan Fatih SAVAŞ başta olmak üzere, sevgili yüksek lisans arkadaşlarım Gürkan ASLAN, Nagihan ASLAN ve Selen OY'a, diğer tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak, tüm hayatım ve eğitimim boyunca benim yanımda olan, bana güvenen, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem, babam ve kardeşime çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİ ve KAYNAK TARAMALARI.....	4
2.1. Güneş, Güneş Sistemi ve Samanyolu Galaksisi içindeki Yeri.....	4
2.1.1. Güneş'in iç yapısı.....	7
2.1.2. Güneş'in atmosfer tabakaları.....	10
2.1.3. Güneş'in kimyasal bileşimi	14
2.1.4. Güneş lekeleri	15
2.1.5. Güneş leke aktivitesi ve güneş leke sayısı (SSN).....	17
2.1.6. Güneş leke çevrimleri	20
2.1.7. F 10.7 güneş radyo akısı	21
2.1.8. Güneş leke sınıflandırmaları.....	22
2.1.8.1. Cortie sınıflandırması	22
2.1.8.2. Zürih (Zurich) sınıflandırması	23
2.1.8.3. McIntosh sınıflandırması (Düzeltilmiş Zürih sınıflandırması).....	24
2.1.8.4. Mount Wilson manyetik sınıflandırması	27
2.1.9. Güneş leke alanları (SSA)	27
2.1.10. Güneş patlamaları (Solar Flares) ve sınıflandırmaları.....	28
2.1.10.1. Optik sınıflandırma.....	29
2.1.10.2. X-ışın sınıflandırması	30
2.1.11. Jeomanyetik aktivite indeksleri	31
2.1.12. Koronal kütle atımları (CME)	34
2.1.13. Güneş aktivitesinin dünya ve yakın uzay çevresine etkileri	35
3.MATERYAL VE METOT	37
3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler.....	37
3.1.1. Güneş leke grubu verileri.....	37

3.1.2. Jeomanyetik indeks verileri	37
3.1.3. Koronal kütle atımları (CME) verileri	38
3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	40
4.1. SSN,SSA ve Leke Gruplarının İncelenmesi	40
4.2. Güneş Leke Grubu Sayıları ve Leke Gözlem Sayılarının İncelenmesi.....	42
4.3. X-ışın Güneş Patlamalarının İncelenmesi	44
4.4. CME ve Jeomanyetik Aktivite İndekslerinin İncelenmesi.....	50
5. SONUÇ	57
6. KAYNAKLAR	59
7. EKLER	64
Ek 1: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/aa indeks).....	64
Ek 2: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/Kp indeks).....	65
Ek 3: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/Pc indeks).....	66
Ek 4: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/ 10.7 cm akı)	67
Ek 5: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/SSA).....	68
Ek 6: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/SSN).....	69
Ek 7: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/CME ivmesi).....	70
Ek 8: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/CME kütlesi).....	71
Ek 9: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/CME kinetik enerjisi)	72

ÖZGEÇMİŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Å	Angstrom
CaII K	Bir kez iyonize olmuş Kalsiyumun K çizgisi
D	Döteryum
e^+	Pozitron
γ	Gama
g	Yerçekimi sabiti
G	Gravitasyonel çekim sabiti
H	Hidrojen
He	Helyum
H α	Hidrojen alfa
M_r	Belirli r yarıçapı içerisinde bulunan kütle
P	Basınç
R_\odot	Güneş yarıçapı
R_z	Güneş leke sayısı
ρ	Yoğunluk
T	Sıcaklık
ν_e	Elektron nötrinosu

Kısaltmalar

AR	Aktif Bölge (Active Region)
CME	Koronal Kütle Atımı (Coronal Mass Ejection)
CACTUS	Bilgisayar Destekli CME İzleme (Computer Aided CME Tracking)
FUV	Uzak Moröte (Far Ultraviole)
ISSN	Uluslararası Güneş Leke Sayısı (International Sunspot Number)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NGDC	National Geophysical Data Center
SIDC	Solar Influences Data Analysis Center
SSA	Güneş Leke Alanı (Sunspot Area)
SSGA	Güneş Leke Grubu Alanı (Sunspot Group Area)
SSC	Güneş Leke Sayısı (Sunspot Count)
SSN	Güneş Leke Numaraları (Sunspot Number)
SXR	Yumuşak X Işını (Soft X-Ray)
SWPC	Space Weather Prediction Center
UKSSDC	UK Solar System Data Center

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneş'in yapısı (Numaralandırılmış yapılar: 1. Çekirdek, 2. Radyatif bölge, 3. Konvektif bölge, 4. Fotosfer, 5. Kromosfer, 6. Korona, 7.Güneş lekeleri, 8.Granüller.....	7
Şekil 2.2. Güneş merkezinden yüzeyine doğru sıcaklığın yarıçapla değişimi.....	9
Şekil 2.3. Güneş merkezinden yüzeyine doğru yoğunluğun yarıçapla değişimi ve Bu değişimin hava, su ve altın elementlerinin yoğunluklarıyla karşılaştırılması.....	10
Şekil 2.4. Güneş atmosferinde sıcaklık ve yoğunluğun yükseklik ile değişimi.....	11
Şekil 2.5. Bir Güneş lekesinin manyetik alan çizgileri.....	16
Şekil 2.6. Heinrich Schwabe tarafından 1826-1843 tarihleri arasında gözlemlenen güneş leke grupları. Bu veriler kullanılarak ilk kez güneş leke çevrimi tanımı yapılmıştır. [Kaynak: Heinrich, S.; 1844].....	17
Şekil 2.7. Aylık ortalama güneş leke sayıları.....	19
Şekil 2.8. 1874-2000 yıllarını kapsayan kelebek diyagramı, 1976'ya kadar olan veriler Royal Greenwich Gözlemevi'nden, 1977-1985 yılları arasındaki veriler eski Sovyetler Birliği'nden, 1986'dan itibaren ise Wilson Güneş Gözlemevi'nden alınmıştır. Çevrim numaraları, her çevrimin üst kısmında işaretlenmiştir [Kaynak: Solanki ve ark.2008].....	20
Şekil 2.9. 10.7 cm Güneş radyo akısı (F10.7)'nin zamanla değişimi	21
Şekil 2.10. Cortie Güneş leke sınıflandırması.....	22
Şekil 2.11. Zürih Güneş leke sınıflandırması.....	23
Şekil 2.12. McIntosh (düzeltilmiş Zürih) leke sınıflandırması.....	25
Şekil 2.13. Güneş leke alanlarının (11-24 Güneş çevrimleri) yıllara göre değişimi (1875–2013). [Kaynak: Wilson, R. M., 2014]	28
Şekil 2.14. Güneş patlamalarının 0.5-4 Å ve 1-8 Å dalga boyu aralığındaki GOES X-Işın akısına göre sınıflandırılması. Her bir sınıf kendi içerisinde 9 alt sınıfa ayrılmaktadır. (C1-C9, M1-M9, X1-X9). Şekilde 3 şiddetli ve 1 çok şiddetli patlama sınıfı görülmektedir X4, X6, M4 ve X20. ¹	31

¹ <http://www.spaceweather.com>

Şekil 2.15. 1991-2014 yıllarını kapsayan Ap jeomanyetik aktivite indeksi verileri. Noktalı çizgi ham Ap, düz çizgi düzeltilmiş Ap değerlerini ve yatay çizgi de eğilim çizgisini ifade etmektedir ²	33
Şekil 2.16. 8-30 Kasım 2003 günlerini kapsayan Dst jeomanyetik aktivite indeksi verilerini içermektedir ³	33
Şekil 2.17. Pc indeksin 1970-2010 yılları arasındaki zamansal değişimi.....	34
Şekil 2.18. Koronal kütle atımının (CME) yapısı.....	35
Şekil 4.1. Güneş leke sayılarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi.....	40
Şekil 4.2. Güneş leke alanlarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi.....	41
Şekil 4.3. 1996-2014 yıllarını kapsayan Zürih güneş leke gruplarının ortalama leke alanlarına göre dağılımı [Kaynak: Eren ve ark. 2017a].....	41
Şekil 4.4. Güneş leke grubunda bulunan leke sayılarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi.....	42
Şekil 4.5. Güneş leke gruplarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki kelebek diyagramı.....	43
Şekil 4.6. Güneş leke gruplarında üretilen X-ışın güneş patlamaları (C+M+X sınıfı) enerjilerinin 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi.....	44
Şekil 4.7. Günlük toplam güneş patlaması sayısının aylık ortalamasının farklı güneş patlama sınıflarına ait (C, M, X ve C+M+X) zamansal değişimi. Bütün verilerin 12 adımda yürüyen ortalaması alınmıştır. Yatay kesikli çizgiler Uluslararası Güneş Leke sayısının (ISSN) sırasıyla 1. ve 2. maksimumlarıdır.....	45
Şekil 4.8. Günlük toplam güneş leke sayıları (SSCs), güneş leke grubu alanları (SSGAs) ve X-ışın güneş patlaması sayısının aylık ortalamasının zamansal değişimi. Bütün verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve SSGA verileri aynı ekseninde ifade edebilmek için 100'e bölünmüştür. [Kaynak: Eren ve ark. 2017a].....	46

² <http://www.swpc.noaa.gov>

³ <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir>

Şekil 4.9. Her bir Zürih sınıfı güneş lekesinde gözlenen güneş patlamalarının yüzdelik dağılımı (solda), Zürih sınıfı güneş leke gruplarının güneş patlaması üretme potansiyelleri (sağda). [Kaynak: Eren ve ark. 2017a].....	47
Şekil 4.10. Zürih güneş leke gruplarının ortalama alanları ile güneş patlaması üretme potansiyelleri arasındaki ilişki [Kaynak: Eren ve ark. 2017a].....	49
Şekil 4.11. CME ivmelerinin zamansal değişimi.....	51
Şekil 4.12. CME kütlelerinin zamansal değişimi.....	51
Şekil 4.13. CME kinetik enerjilerinin zamansal değişimi.....	52
Şekil 4.14. CME kinetik enerji ve flare enerjilerinin zamansal değişimi. Şekilde kesikli çizgi CME enerjilerini ifade ederken, düz çizgi de flareler enerjilerini göstermektedir. Her iki veri setinin de 12 adımda yürüyen ortalaması kullanılmıştır.....	52
Şekil 4.15. Farklı sınıflara ait (C, M ve X) aylık ortalama güneş patlaması sayıları ile dört ayrı kategoriye ayrılan güneş leke sayılarının karşılaştırılması. Kısa dönemli dalgalanmaları ortadan kaldırmak amacı ile verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve bütün veri setlerini aynı grafikte göstermek amacıyla yeniden ölçeklendirilmiştir. [Kaynak: Eren ve Kilcik. 2017b].....	53
Şekil 4.16. Her bir sınıfa ait (C, M ve X) X-ışın güneş patlaması ile jeomanyetik Ap ve Dst indekslerin zamansal değişimi. İlişkinin görsel hale getirilmesi için bütün veri setlerine 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve yine aynı amaçla Dstindeks -1 ve X-ışın güneş patlamaları sırasıyla 8, 40 ve 200 ile çarpılmıştır. [Kaynak: Eren ve Kilcik 2017b].....	54
Şekil 4.17. Pc, Dst, aa, Kp jeomanyetik aktivite indeksleri ile toplam X-ışın güneş patlamalarının (C+M+X sınıfı) zamansal değişimi. Şekilde düz siyah çizgi ile ifade edilen Pc, gri düz çizgi Dst, kesikli çizgi Kp, gri noktalı aa ve en altta görülen noktalı kesikli çizgi ise toplam flareleri ifade etmektedir. Kısa dönemli dalgalanmaları ve uzun dönemli değişimleri ortadan kaldırmak amacı ile verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmıştır ve bütün veri setlerini aynı ölçekte göstermek amaçlanarak yeniden ölçeklendirilmiştir.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Güneş'e ait gözlemsel bilgiler.....	4
Çizelge 2.2. Güneşin yörünge özellikleri.....	5
Çizelge 2.3. Güneşin fiziksel özellikleri.....	5
Çizelge 2.4. Güneşin dönme özellikleri.....	6
Çizelge 2.5. SSN ile güneş aktivitesindeki değişim.....	18
Çizelge 2.6. Güneş patlamalarının optik sınıflandırması.....	30
Çizelge 2.7. Güneş patlamalarının X-Işın sınıflandırması.....	30
Çizelge 2.8. Jeomanyetik fırtınaların büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılan Ap ve Kp indeks.....	32
Çizelge 4.1. Her bir Zürih sınıfı güneş leke grubunda gözlenen güneş patlaması sayıları ve her bir grubun güneş patlaması üretme potansiyeli.....	48
Çizelge 4.2. Güneş leke grubu kategorileri ile farklı sınıflardaki X-ışın güneş patlamalarının ilişki dereceleri [Kaynak: Eren, ve Kılçık 2017b].....	54
Çizelge 4.3. ISSN, SSN, SSA, güneş patlamaları. CME ve Jeomanyetik aktivite indekslerinin birbirleri ile olan ilişkisi.....	56

1. GİRİŞ

Güneş, Samanyolu Gökadasındaki yaklaşık 200 milyar yıldızdan biridir. Orta büyüklükte ve orta parlaklıkta bir yıldız olan Güneş, diğer yıldızlar gibi merkezinde meydana gelen nükleer reaksiyonlar sonucunda çevresine ısı ve ışık yayar. Güneş Sistemi'nin ana cismi olup, tek başına Güneş Sistemi kütesinin % 99.8' ini içerir, dolayısıyla tüm sistemin kütle çekim dengesi Güneş'in kontrolündedir. Sistemdeki geri kalan kütle güneş sistemindeki gezegenler, bu gezegenlerin uyduları, asteroidler, gök taşları, kuyruklu yıldızlar ve kozmik tozlardan oluşur.

Güneşten gelen ısı ve enerji, Dünya üzerinde yaşamın var olmasını ve devamlılığını sağladığından, canlılar açısından ayrı bir öneme sahiptir. Bir yıldız olarak Güneş, Dünya'ya en yakın yıldızdır. Yani, bütün canlıların var olabilmesi ve canlı hayatının devam edebilmesi için Güneş'e ihtiyaçları vardır.

Astrofizik açısından bakıldığında, Güneş bize en yakın yıldız olması nedeniyle büyük öneme sahiptir ve detaylı bir şekilde incelenebilmesi mümkün olan tek yıldızdır. Güneş atmosferi ve yüzeyi ayrıntılı bir şekilde görülebildiğinden, daha detaylı çalışmalar yapmak mümkündür. Diğer yıldızları bu denli ayrıntılı gözleyip, bilimsel olarak inceleyemediğimizden Güneş bir doğal astrofizik laboratuvarı görevi görür.

Yıldızlararası gaz ve toz bulutunun bir tedirginlik sonucu uyarılarak, çökmesiyle meydana gelen Güneş, içe doğru yerçekimi kuvveti ve dışa doğru basınç kuvvetinin dengeye ulaşması sonucunda nükleer füzyon ile enerji üretmeye başlamıştır. Genç galaktik küme yıldızları tipindeki yıldızlar Popülasyon I yıldızları, daha yaşlı ve küresel küme yıldızları tipindekiler de Popülasyon II yıldızları olarak adlandırılır (Baade 1957). Popülasyon III yıldızları ise evrende ilk oluşan yıldızlar olarak bilinmekte ve gözlemsel olarak keşfedilememiş yıldızlardır. Bir Popülasyon I yıldızı olan Güneş'in, önceki iki kuşağın kalıntılarından oluştuğu bilinmektedir (Popülasyon II, III). Süpernova gibi enerjili ölü dev yıldızların patlamaları esnasında atılan gaz, erken yıldız popülasyonlarının içerdiği ağır elementler ve erimiş hafif elementleri içerir. Daha sonra yıldızlararası ortamda bu gazın yığılması ile Güneş ortaya çıkmıştır. Güneş kütlece, 73.46% Hidrojen, 24.85% Helyum ve 1.69% Ağır elementlerden oluşan kozmik bir bileşime sahiptir.⁴

Güneş'in içi boyunca standart yıldız modellerinde kullanılan hidrostatik dengenin olduğu kabul edilmektedir. Hidrostatik dengede gravitasyonel çekim kuvveti yıldız maddesini radyal olarak içe doğru sıkıştırırken, gaz basıncından meydana gelen basınç gradyenti de bu kuvvete zıt yönde yıldızın çökmesini engellemektedir (Denklem 1.1).

$$dP / dr = -G M_r \rho_r / r^2 \quad (1.1)$$

Burada (M_r), belirli bir r yarıçapı içerisinde bulunan kütle, (G), gravitasyon sabitidir. Yoğunluk (ρ), basınç (P) ve sıcaklık (T) Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru gidildikçe azalmaktadır. Radyasyon basıncı özellikle, çok büyük yıldızlarda baskın bir

⁴ solarsystem.nasa.gov

rol oynamaktadır. Ayrıca, elektron basıncı beyaz cücelerde ve nötron dejenerasyonu basıncı da nötron yıldızlarının çökmesini engeller.

Güneş sabit bir yıldız olmayıp yayınladığı enerji periyodik olarak değişmektedir. Bu değişimlerin en iyi göstergesi güneş lekeleridir ve gözlenen güneş lekelerinin sayısı birkaç günden binlerce yıla kadar olan periyodik değişimler gösterir. Güneşte meydana gelen tüm bu değişimler güneş aktivite değişimleri olarak bilinir. Bu değişimler Güneş'in kendi eksenini etrafında dönme periyodu olan 27 günden, yaklaşık 11 yıl süren güneş çevrimi, bu zamana kadar yaşanan tüm Güneş minimumları (Maunder, Spörer, Oort vb.) dahil olmak üzere güneşten gelen enerjinin değişkenliğinin bir göstergesidir. Tüm bu değişkenlikler ise uzun yıllar süren Güneş gözlemleri sonucu elde edilen veri setlerinin analiz edilmesi sonucunda bulunmuştur.

Güneş lekeleri en yaygın kullanılan ve en uzun süreli gözlemsel veriye sahip olan güneş aktivite göstergesidir. Güneş leke sayıları ve güneş leke alanları gözlemlerinin yıllardır yapılması ve uzun dönemli verilerin var olması periyodik değişimlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra çeşitli elementlerin izotoplarının kullanılması ile çok daha uzun dönemli güneş aktivite tahmini yapılabilmekte ve yine uzun dönemli periyodik değişimler araştırılabilmektedir (Vasiliev ve Dergachev 2011). Daha kısa gözlemsel veriye sahip olan, Güneş patlaması sayısı, güneş patlama indeksi (flare index) (Ataç ve Özgüç 2006, Temmer ve ark. 2003), ve güneş ışıması (solar irradiance) (Lean 2000 ve Pap 2002) verilerinden ise kısa dönemli periyodik değişimler elde edilebilmektedir.

Güneş aktivitesinde meydana gelen değişimler dünyanın manyetik alanı ile birlikte Dünya ve yakın uzay çevresini de çeşitli şekillerde etkilemektedir. Örneğin, kutup ışıklarının gözlenmesi, haberleşmelerde kesintiler olması, vs. Güneş aktivitesinde meydana gelen değişimlerin dünya ve yakın uzay çevresini etkilemesi hem leke çevrimlerinin, hem de güneş lekelerinin daha iyi anlaşılmasını gerekli kılar. Jeomanyetik etkiye sahip temel güneş olayları güneş patlamaları ve koronal kütle atımları (CMEs)'dirler. Jeomanyetik etkiye sahip bu olaylar, basit leke gruplarında (A, B, C ve H) çok fazla meydana gelmezken, genellikle kompleks gruplarda (D, E, F) meydana gelirler. Bu davranışın 2011 yılında bulunmuş olması ve henüz hakkında çok fazla bilgi bulunmaması konu ile ilgili detaylı çalışma yapılmasının önemini arttırmaktadır (Kılçık ve ark., 2011a,b).

Bu çalışma ile farklı leke gruplarının zamansal davranışları incelenerek, güneşte meydana gelen patlamalar, koronal kütle atımları gibi dünyanın manyetik alanını yakından etkileyen aktif güneş olayları detaylı olarak araştırılacaktır.

Yine bu çalışma kapsamında, her bir leke grubuna ait veriler ile flare üretme potansiyelleri ve olasılıkları elde edilerek literatüre kazandırılacaktır. Elde edilen bulguların, jeomanyetik aktivite indeksleriyle ilişkisi incelenerek, aktiviteyi en iyi temsil eden leke grupları belirlenecektir. Farklı leke gruplarında üretilen güneş patlamaları ile jeomanyetik aktivite arasında elde edilebilecek iyi bir ilişkinin varlığı, doğrudan güneş aktivitesinin dünya üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasına, dolayısıyla da jeomanyetik fırtınaların daha doğru tahminine götürür. Bu sonuç da, jeomanyetik

etkilerden korunmak için gerekli tedbirleri etkili şekilde ve zamanında alabilmemize olanak tanıyabilir.

2. KURAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK TARAMALARI

2.1. Güneş, Güneş Sistemi ve Samanyolu Galaksisi içindeki Yeri

Güneş, G2V tayf türüne ait, sarı renkte cüce bir anakol yıldızdır ve yaklaşık 200 milyar civarında yıldız barındıran Samanyolu galaksisinin spiral kollarından (Sagittarius) biri üzerinde yer almaktadır. Güneş'in yarıçapı 695.700 km, Dünya'ya uzaklığı yaklaşık 149.600.000 km'dir ve bu uzaklık 1 Astronomi Birimi (AB) olarak adlandırılmaktadır. Güneş'in çapı ortalama olarak yeryüzünün 109 katı, Jüpiter'in ise 10 katıdır. Güneş'in kütlesi $1,988 \times 10^{30}$ kg, Dünya kütlesinin 333.000 katı, Jüpiter'in kütlesinin ise 1.000 katıdır. Güneş, galaksi merkezinden yaklaşık 25000 ışık yılı ve galaksi ekvatorial düzleminden 20 ışık yılı uzaklıkta yer almaktadır. (Eisenhauer, ve ark. 2003) Güneş'in, Samanyolu galaksisindeki hızı ise yaklaşık 220 km/s olarak bilinmektedir. Yani tam bir turu yaklaşık 235 milyon yılda tamamlamaktadır ve bu Güneş Sistemi'nin gökadasal yılı olarak adlandırılmaktadır. Güneşe ait gözlemsel bilgiler Çizelge 2.1., yörünge bilgileri Çizelge 2.2, fiziksel özellikleri Çizelge 2.3. ve dönme özellikleri Çizelge 2.4.'te verilmektedir.

Güneş'in galaksi içerisindeki konumu, Dünya üzerindeki yaşamın oluşmasına da büyük ihtimalle etken olmuştur. Yörüngesi yaklaşık olarak daireseldir ve kabaca spiral kollarla aynı hıza sahiptir.

Güneş Sistemi'nin galaksideki yakın çevresi, yerel yıldızlararası bulut olarak bilinmektedir, aynı zamanda bu bölge galaksi merkezinin yıldızlarla dolu bölgesinden daha uzaktır. Güneş'in yıldızlararası uzayda izlediği yol Lyra takımyıldızının en parlak yıldızı olan Vega' nın bulunduğu yöndedir. Güneş'e 10 ışık yılı uzaklıktaki alanda yıldız sayısı azdır. Güneş'e en yakın olanı ise 4.4 ışık yılı uzaklıktaki Alpha Centauri üçlü yıldız sistemidir. 11.9 ışık yılı uzaklıkta (3,7 parsek) bulunan Tau Ceti ise Güneş'e en benzer tekil yıldızdır (Tayf türü: G8.5 V, Sıcaklığı: 5344 K, Yaşı: 5,8 my) (Teixeira ve ark. 2009).

Çizelge 2.1. Güneşe ait gözlemsel bilgiler

Gözlemsel Bilgiler	
Ortalama uzaklık (Dünya'dan)	$1,496 \times 10^{11}$ m 8,31 dakika (ışık yılı olarak)
Görünür parlaklık (V)	-26,74m
Mutlak parlaklık	4,83m
Tayf türü	G2V
Metaliste	$Z = 0,0177$
Açısal çap	31,6' - 32,7'

Çizelge 2. 2. Güneşin yörünge özellikleri

Yörünge Özellikleri	
Ortalama uzaklık (Samanyolu merkezinden)	$\sim 2,5 \times 10^{20}$ m 26.000 ışık yılı
Galaktik periyod	$2,25-2,50 \times 10^8$ yıl
Hız	$\sim 2,20 \times 10^5$ m/s (Gökada merkezi çevresinde yörünge üzerinde) $\sim 2 \times 10^4$ m/s (yakınlarda bulunan yıldızların ortalama hızına göreceli olarak)

Çizelge 2. 3. Güneşin fiziksel özellikleri

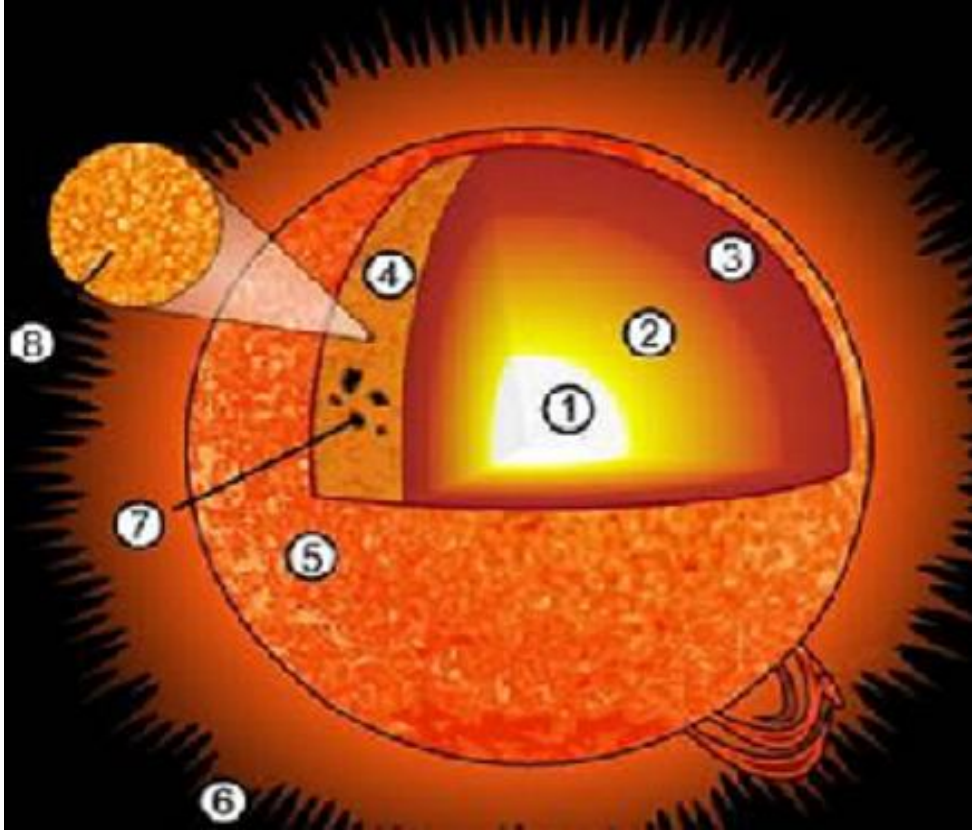
Fiziksel özellikler	
Ortalama çap	$1,392 \times 10^9$ m Dünya'nın 109 katı
Ekvator yarıçapı	$6,955 \times 10^8$ m
Ekvator çevresi	$4,379 \times 10^9$ m
Basıklık	9×10^{-6}
Yüzey alanı	$6,088 \times 10^{18}$ m ² Dünya'nın 11.900 katı
Hacim	$1,4122 \times 10^{27}$ m ³ Dünya'nın 1.300.000 katı
Kütle	$1,9891 \times 10^{30}$ kg Dünya'nın 332.946 katı
Ortalama yoğunluk	$\approx 1,409 \times 10^3$ kg/m ³
Diğer yoğunluklar	Çekirdek: $1,5 \times 10^5$ kg/m ³
	Alt Fotosfer: 2×10^{-4} kg/m ³
	Alt Kromosfer: 5×10^{-6} kg/m ³
	Ortalama Korona: 10×10^{-12} kg/m ³

(Çizelge 2. 3. devamı)

Ekvator'da yüzey çekimi	274,0 m/s ²
	27,94 g
Kurtulma hızı (yüzeyden)	617,7 km/s Dünya'nın 55 katı
Etkin yüzey sıcaklığı	5.778 K
Korona sıcaklığı	~5×10 ⁶ K
Çekirdek sıcaklığı	~15,7×10 ⁶ K
Işınım gücü (Lsol)	3,846×10 ²⁶ W
	~3,75×10 ²⁸ lm
	~98 lm/W etkin lüminosite
Ortalama Işık Şiddeti (Isol)	2,009×10 ⁷ W m ⁻² sr ⁻¹

Çizelge 2. 4. Güneşin dönme özellikleri

Dönme Özellikleri	
Eksen eğikliği	7,25°(ekliptik düzleme) 67,23°(galaktik düzleme)
Sağ açıklık (Kuzey kutbunun)	286,13° 19 s 4 d 30 sn
Dik açıklık (Kuzey kutbunun)	+63,87° 63°52' Kuzey
Yıldızıl dönme periyodu (16° enlemde)	25,38 gün 25 g 9 s 7 dk 13 sn
	(ekvatorda) 25,05 gün
	(kutuplarda) 34,3 gün
Dönme hızı (ekvatorda)	7,284 ×10 ³ km/s



Şekil 2.1. Güneş'in yapısı (Numaralandırılmış yapılar: 1.Çekirdek, 2.Radyatif bölge, 3.Konvektif bölge, 4.Fotosfer, 5.Kromosfer, 6.Korona, 7.Güneş lekeleri, 8.Granüller)

2.1.1. Güneş'in iç yapısı

Şekil 2.1'de 1, 2 ve 3 olarak numaralandırılmış bölgeler olarak gösterilen Güneş'in iç bölümleri merkezden yüzeye doğru şu şekilde sıralanmıştır.

Çekirdek: Çekirdek, Güneş'in en iç kısımdaki %10'luk bölümüdür ve Güneş kütlelerinin %34'lük kısmını içermektedir. Güneş çekirdeğinin sıcaklığı yaklaşık 15 milyon Kelvin (K) derece ve yoğunluğu da 150gr/cm^3 'dür. Nükleer tepkimeler bu bölgede gerçekleşmektedir. Üzerindeki katmanların etkisi ve gravitasyonel çekim kuvvetinin büyüklüğü nedeniyle çekirdek çok sıcak ve yoğundur. Bu aşırı sıcaklık ve yoğunluk nükleer füzyonun gerçekleşmesine olanak sağlamaktadır. Güneş'te üretilen füzyon enerjisinin neredeyse tamamı bu bölgede üretilmektedir. Burada enerji üretimi iki şekilde gerçekleşmektedir. Bunlardan ilki ve Güneş'te üretilen enerjinin büyük bir kısmından sorumlu olan proton-proton zincir reaksiyonları (Denklem 2.1., 2.2., 2.3) diğeri ise CNO (Karbon-Azot-Oksijen) çevrimidir. Proton-proton zincir reaksiyonları;



şeklinde yazılabilir. Burada H^1 Hidrojen, D^2 Döteryum, He^3 Helion, He^4 Helyum çekirdeğini, ν_e elektron nötrinosu, γ gama ışınımı, e^+ pozitron ve e^- elektronu simgeler. Bu reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan enerji konvektif bölgenin tabanına kadar radyasyon yoluyla taşınmaktadır. Merkezden çıkan bir fotonun yüzeye ulaşması için (Güneş yarıçapının 700.000 km olduğunu düşünürsek) yaklaşık 2.5s gibi bir süreye gereksinim olmalıdır. Fakat bu kadar kısa sürede merkezde üretilen bir fotonun yüzeye ulaşması gerçekte pek mümkün değildir. Bunun sebebi radyatif bölgenin çok sıcak ve aynı zamanda da çok yüksek yoğunluğa sahip olmasından dolayı fotonların düz bir şekilde yol alamamaları, sürekli olarak başka parçacıklarla çarpışarak saçılmalarıdır. Merkezden çıkan bir foton, yoğun ortamın etkisiyle bir süre sonra soğurur. Soğurucu elektron, uyarılmış bir enerji düzeyinde saniyenin 100 milyonda biri kadar süre kalır ve fotonu tekrar rastgele bir doğrultuda salar. Hemen ardından foton tekrar soğurur, sonra tekrar salınır. Bu süreç, foton yüzeye ulaşmaya kadar sürekli olarak devam etmektedir. Bunun sonucunda bu salma-soğurma sayısı hesaplanarak bir fotonun yüzeye ulaşması için gerekli sürenin 10 milyon yılı bulabileceği belirtilmektedir⁵.

Radyatif bölge: Radyatif bölge, Güneş'in merkezinden yarıçapının yaklaşık %70'ine kadar uzanmaktadır. Enerji aktarımı ışınım yoluyla olmaktadır. Ortamın yoğunluğu, 20 g/cm³ (yaklaşık altının yoğunluğu)'den 0.2 g/cm³ (suyun yoğunluğundan çok daha az)'e kadar azalır (Şekil 2.3.). Fotonlar ışık hızında ilerlemelerine rağmen milyonlarca yılda geçiş katmana ulaşır. Çekirdek ile radyatif bölgenin konvektif bölgeden farklı dönmesi nedeniyle radyatif bölge ile konvektif bölge arasında geçiş bölgesi (tachocline) vardır. Güneş'in manyetik alanı bu bölgede üretilmektedir (Stix 2004, Miesch 2005).

Geçiş bölgesi: Geçiş bölgesi (tachocline) Radyatif bölge ile Konvektif bölge arasındaki bölgedir. Konvektif bölge, kutuplarda dönme hızı daha yavaş ve ekvatorunda daha hızlı olan diferansiyel dönme yapan normal bir sıvı gibi dönmektedir. İç kısımdaki radyatif bölge ise tıpkı katı bir cisim gibi dönmektedir. İçeriye doğru gidildikçe dönme hızı kabaca orta enlemlerdeki dönme hızına eşittir. Helyosismoloji ile yapılan ölçümlerde geçiş bölgesinin Güneş'in merkezinden 0.7 güneş yarıçapı (R_{\odot}) uzaklıkta ve 0.04 R_{\odot} kalınlığında olduğu bilinmektedir. Bunun anlamı, iki farklı dönme profiline sahip iki alanın arasında kalan bu alanda çok büyük bir kesilme profili vardır ve bu büyük ölçekli manyetik alanlar oluşturabilmenin tek yoludur. Geçiş bölgesinin geometrisi ve genişliği güneş dinamo modellerinin oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Konvektif bölge: Yıldız konveksiyonu genellikle yıldız içindeki plazmanın kütle hareketinden oluşmaktadır. Konveksiyon akımı hareketi genellikle daireseldir ve ısıtılmış plazmanın yukarıya, soğutulmuş plazmanın da aşağıya doğru hareketinden ileri gelmektedir. Akışkan içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farklarından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden konveksiyon doğabilmektedir.

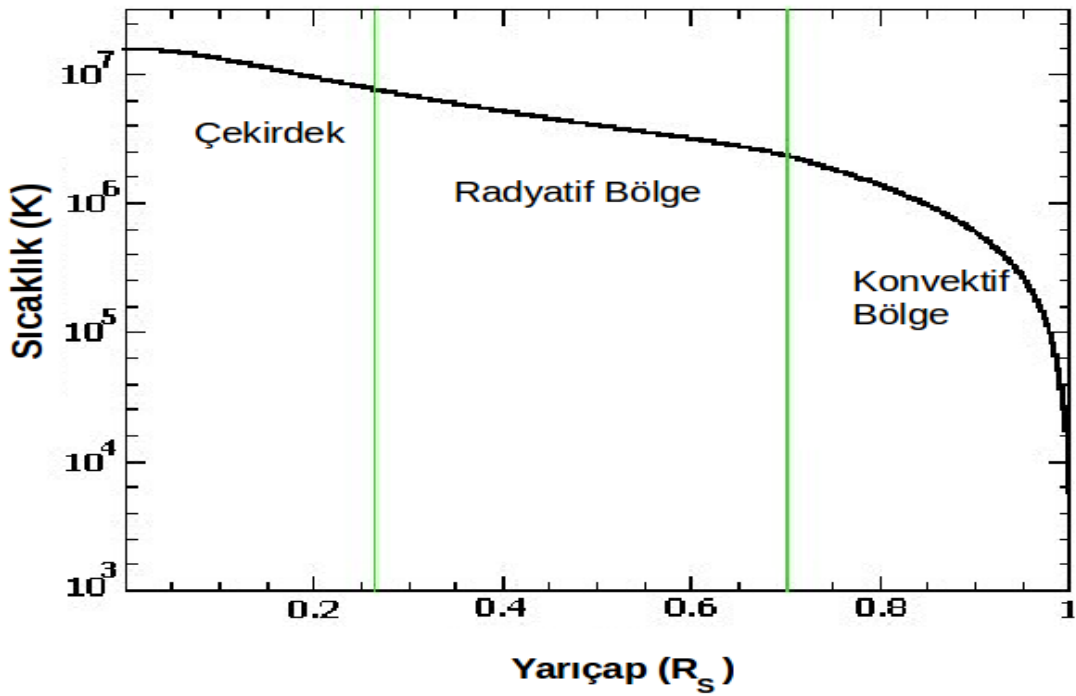
Schwarzschild kriterine göre, yüksek sıcaklığa sahip konveksiyon hücresi yavaşça yükselmeye başlayacak ve yükseldikçe kendini ilk harekete başladığı ortamdan daha düşük basınç ortamında bulacaktır. Bunun sonucu olarak gaz paketi genişleyip, soğuyacaktır. Eğer yükselen konveksiyon hücresi artık yeni ortamından daha düşük

⁵ sunearthday.nasa.gov/2007/location/ttt_sunlight.php

sıcaklığa sahipse, ortamdaki daha yüksek yoğunluğa da sahip olacaktır ve onun yukarı doğru hareketine etki eden kaldırma kuvveti bir süre sonra yetersiz kalacağından geldiği ortama hızla batmasına neden olacaktır. Bununla birlikte sıcaklık gradyenti (yıldızın merkezinden yüzeyine doğru sıcaklığın yarıçapla değişimi) yeteri kadar dik ise ya da plazma çok yüksek bir ısı kapasitesine (genişlemeye bağlı olarak yavaşça değişen sıcaklık) sahip ise, yükseldikçe genişleyip soğusa bile yeni ortamından daha sıcak ve düşük yoğunluğa sahip olacaktır. Bu kaldırma kuvveti, konveksiyon hücresinin yükselmeye devam etmesine neden olmaktadır. Yıldızda bu olayların yaşandığı bölgeye konveksiyon bölgesi adı verilmektedir.

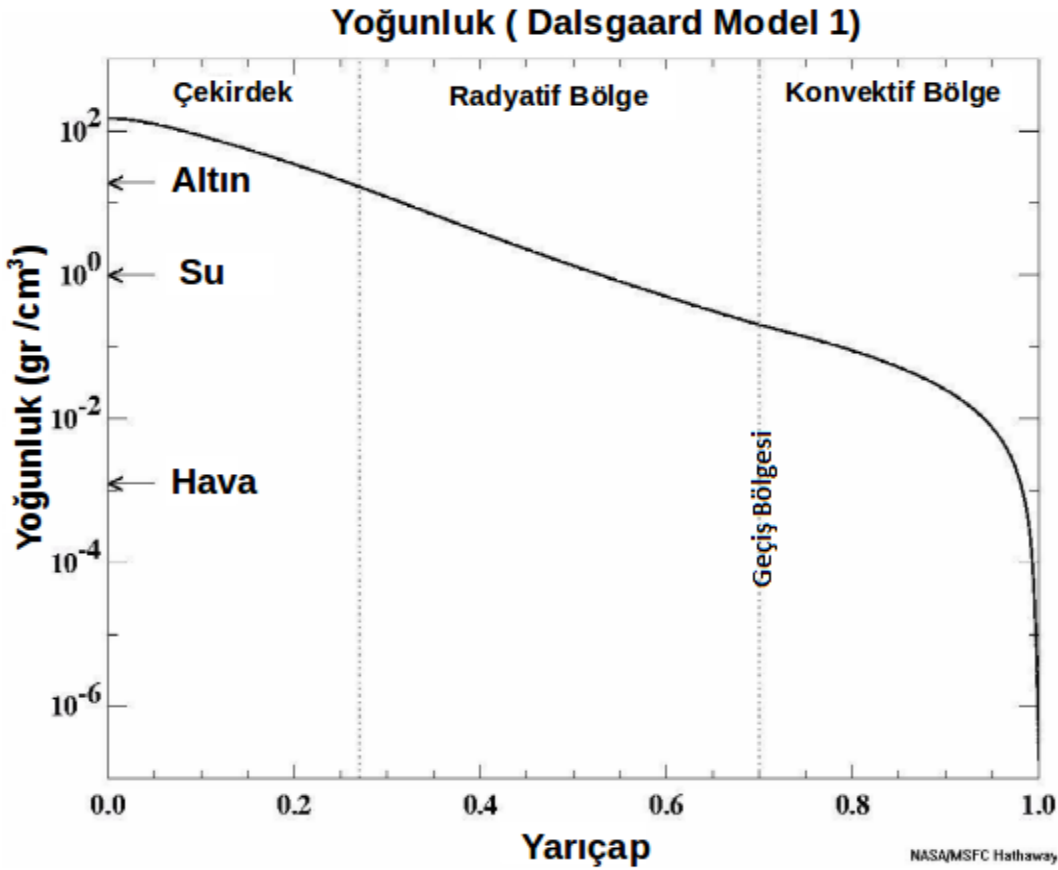
Şekil 2.2.'de Güneş'in iç kısmı boyunca sıcaklık ve yoğunluğun yükseklikle değişimi görülmektedir.

Güneş'te de enerji taşınımının farklı büyüklük ve derinlikteki kararsız dairesel madde hareketleri (konveksiyon) ile olduğu bölgeye konvektif bölge adı verilmektedir. Konvektif bölgede radyatif bölgenin tavanından, en alt atmosfer tabakası olan fotosferin tabanına kadar enerji konveksiyon yoluyla taşınmaktadır.



Şekil 2.2. Güneş merkezinden yüzeyine doğru sıcaklığın yarıçapla değişimi⁶

⁶ <http://solarscience.msfc.nasa.gov>



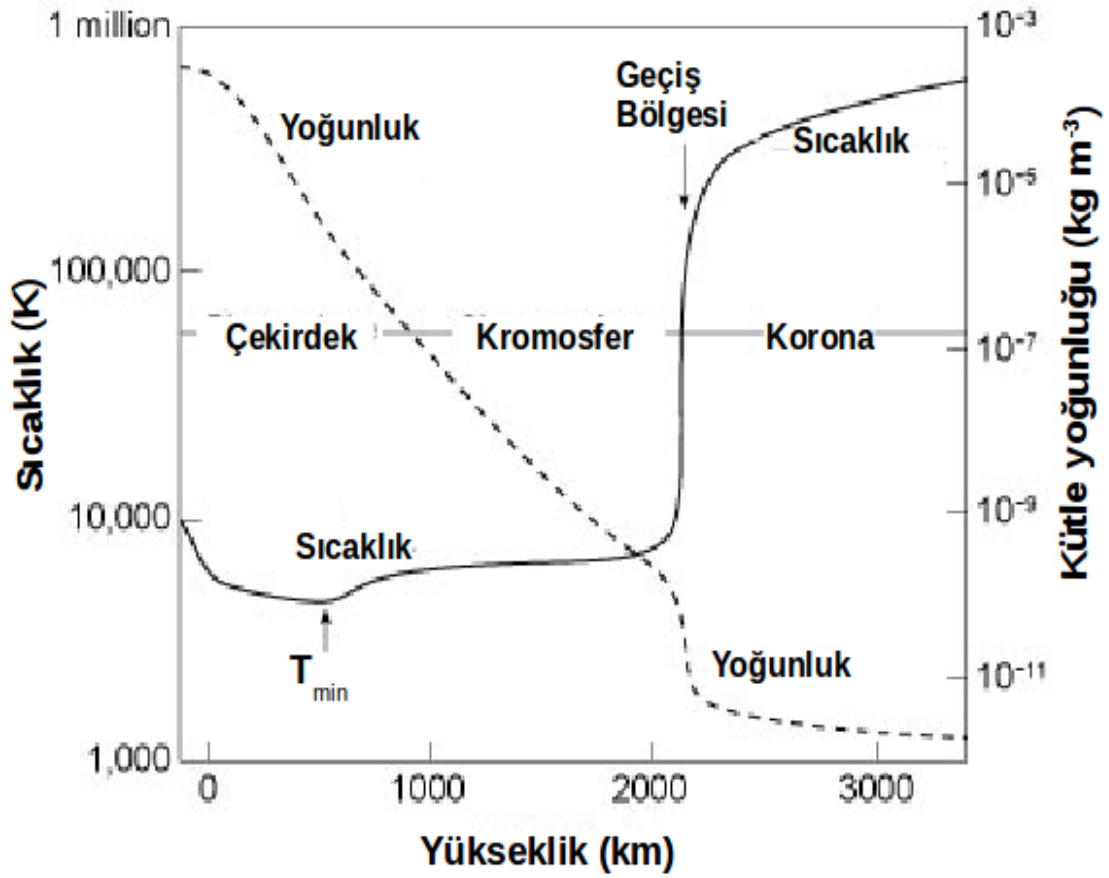
Şekil 2.3. Güneş merkezinden yüzeyine doğru yoğunluğun yarıçapla değişimi ve bu değişimin hava, su ve altın elementlerinin yoğunluklarıyla karşılaştırılması⁷

2.1.2. Güneş'in atmosfer tabakaları

Güneş'in atmosferinden elektromanyetik spektrumun, radyo dalgalarından, γ ışınlarına kadar çok geniş bir bölgede ışınım yayılmaktadır. Bunun sonucu olarak, farklı dalga boylarında, farklı atmosfer tabakaları ve bu tabakalardaki farklı yapılar gözlenmektedir.

Lokal termodinamik denge ve hidrostatik denge koşulları sonucu oluşan Güneş'in atmosferi farklı fiziksel olayların meydana gelmesi ve farklı yapıların gözlenmesi göz önünde bulundurularak dört ayrı bölgede incelenebilir.

⁷ <http://solarscience.msfc.nasa.gov>



Şekil 2.4. Güneş atmosferinde sıcaklık ve yoğunluğun yükseklik ile değişimi

Fotosfer: Kelime anlamı olarak fotosfer Güneş'in ışık küresi demektir. Güneş'in en alt atmosfer tabakası olduğundan güneş yüzeyi olarak da adlandırılmaktadır. Fotosferin kalınlığı yaklaşık 500 km olduğundan ince bir tabaka olduğu söylenebilir. Fotosferde sıcaklık yükseklikle azalmaktadır (Şekil 2.4.). Bu atmosfer tabakası, diğer atmosfer tabakalarına göre doğrudan görülen tek tabakadır ve opaklığı nedeniyle beyaz ışıktaki gözlenmektedir. Fotosfer tabakasından tüm dalga boylarında enerji salınmaktadır ve Güneş radyasyonunun büyük bir kısmı buradan yayınlanmaktadır.

Fotosfer tabakasındaki gözlenen başlıca yapılar:

I. Granüller: Yüksek çözünürlüklü bir teleskop ile gözlem koşullarının çok iyi olduğu durumda fotosfer tabakası gözlemlendiğinde, neredeyse Güneş'in tüm yüzeyinde gözlenen, şekil itibari ile bulgura benzeyen yapılar gözlenmektedir ki bu yapılar, granül olarak isimlendirilmektedir. Granüller fotosferin tabanında yani Güneş yüzeyinde yer almaktadırlar. Boyutları ortalama 1-2 yay saniyesi ve yaşam süreleri de 7-8 dakika civarındadır. Granüller tekrar eden döngülere sahiptirler. Sıcak plazma bu hücreli yapılar aracılığıyla fotosferde belirli bir yüksekliğe kadar ulaşmakta ve hücrenin etrafına yayılıp soğuduktan sonra fotosferin tabanına geri dönmektedir. Bahsedilen sıcaklık farkı

bu hücrelerin merkezlerinin daha sıcak yani daha parlak, kenarlarının ise daha soğuk yani daha sönük olması durumunu doğurmaktadır. Bu döngülerin sürelerinin yaklaşık olarak 30 dakika olduğu bilinmektedir (Bahng ve Schwarzschild, 1961).

II. Süper Granüller: Fotosferik manyetik alanın diğer bölgelere göre daha yoğun olduğu ve en az üç granül hücresinin birleşiminden meydana gelen yapılardır.

III. Fotosferik Plaj Alanları: Beyaz ışık gözlemlerinde, kenar kararmasının bir sonucu olarak diskin kenarlarında gözlenen ve 100-200 Gauss manyetik alan şiddetine sahip bölgelerdir. Genellikle $-30/+30^\circ$ enlemleri arasında gözlenmektedirler. Yeni oluşmaya başlamış bir aktif bölgede, fotosferin altından çıkan manyetik akının atmosferi ısıtması sonucu parlak bir alan oluşmasına sebep olur. Manyetik alanın yoğunluğuna bağlı olarak, bu bölgede bir kaç gün içerisinde bir aktif bölge oluşabilir.

VI. Güneş Lekeleri: Teleskopun icadından bu yana gözlenen ve güneş diskine nazaran daha koyu renkte gözükten bölgelerdir. Güneş lekelerinin koyu görünmesinin sebebi burada yoğunlaşan manyetik alandan dolayı sıcak plazmanın bu katmana tam olarak çıkamamasıdır. Güneş fotosferinde manyetik alan yaklaşık 1 Gauss civarındayken lekelerde bu değer yaklaşık bir kaç bin Gauss'tur. Güneş lekelerine, Bölüm 2.1.4'te daha ayrıntılı olarak değinilecektir.

Kromosfer: Fotosfer tabakasının hemen üzerinde yer alan ve yaklaşık 2000 km kalınlığındaki atmosfer tabakasına kromosfer (renkküre) adı verilmektedir. Yoğunluk fotosferin tabanına oranla yükseklik arttıkça hızlı bir şekilde düşmektedir. Sıcaklık ise bunun tam tersine hızlı bir şekilde artış gösterir. Üst kromosfer tabakasında yüksek sıcaklık nedeni ile birlikte Hidrojen neredeyse tamamen iyonize olmuş şekilde bulunmaktadır.

Kromosfer tabakasında gözlenen başlıca yapılar:

I. Güneş Patlamaları: Güneş yüzeyinde gözlenen çok ani parlaklık artışlarıdır. Güneş patlamaları, genellikle güneş lekeleri civarında gözlenirler. Patlamaların şiddeti ani olarak maksimuma ulaşmakta ve daha sonra yavaş bir şekilde azalmaktadır. Güneş yüzeyinde bazen aylarca patlama gözlenmezken (aktivitenin minimum olduğu dönem) bazen de bir günde onlarca patlama (aktivitenin maksimum olduğu dönem) görülebilmektedir. Güneş patlamalarına Bölüm 2.1.9. da ayrıntılı olarak değinilecektir.

II. Filamentler: $H\alpha$ (6563 Å)' da Güneş diskine bakıldığında manyetik alan lupları ve bunların üzerinde bulunan düşük yoğunluktaki Güneş maddesi olarak gözlenmektedirler. Filamentler disk üzerinde koyu ince uzun şeritler olarak gözlenirler ve disk kenarında gözlemlendiğinde ise prominens olarak adlandırılırlar. Yaşam süreleri birkaç günden birkaç haftaya kadar değişebilir. Filamentler genellikle kararlı yapıya sahiptirler ve güneş patlamaları ile ilişkilidirler. Manyetik alanları türlerine göre 10- 100 Gauss arasında değişmektedir. Bu yapılar en iyi $H\alpha$ ve $CaII$ H ve K çizgilerinde gözlenmektedirler.

III. Kromosferik Ağlar: Bu yapılar genellikle aktif bölgeler civarındadırlar ve yüksek çözünürlüklü teleskoplar ile gözlenebilirler. Alt kromosferde gözlemlendiğinde daha küçük

yapılar halindeyken, üst tabakalara doğru genişlikleri artmaktadır. Yaşam süreleri çevrelerinde bulunan süper granüller ile aynı ve yaklaşık 20 saat civarındadır (Simon ve Leighton 1964). Güneş'in ultraviyole bölgede yayınladığı radyasyonun çoğu bu parlak yapılardan ileri gelmektedir. Kromosferik ağları H α ve CaII H ve K çizgilerinde gözlemek mümkündür.

VI. Kromosferik Plaj Alanları: Güneş diskinin H α gözlemlerinde gözlenen parlak ağ şeklinde alanlar kromosferik plaj alanları olarak adlandırılmaktadır ve genellikle leke gruplarının etrafındaki parlak bölgeler olarak bilinmektedirler. Plaj alanlarının, 11 yıllık Güneş Çevrimi ve leke oluşumu ile ilişkili olduğu bilinmektedir.

Geçiş bölgesi: Geçiş bölgesi, Güneş atmosferinde, kromosfer ve korona arasındaki bölgedir. Moröteyi algılayabilen teleskoplar kullanarak uzaydan görülebilir. Geçiş bölgesi güneş atmosferinde birbiriyle ilgisiz fakat önemli geçişlerin bulunduğu bölgedir.

- Alt katmanda, kütle çekimi çoğu yapının şeklini belirleme eğilimi gösterir; böylece genellikle Güneş'in katmanlarında oluşan yatay yapılar (güneş lekesi gibi) açıklanabilir; yukarı katmanda ise, dinamik güçler yapı şekillerinin çoğuna hakimdir, böylece geçiş bölgesi belirli bir yüksekliğe göre net olarak tanımlanamayan bir katmandır.
- Alt katmandaki madde, spektral çizgilerle ilgili olarak belirli renklere opaktır. Böylece geçiş bölgesinin altında oluşan çoğu spektral çizgi, kızılötesi, görünür ve yakın mor öte bölgede soğurma hatları oluştururken, geçiş bölgesinin üstünde oluşan çoğu çizgi uzak mor öte (FUV) ve X-ışınlarında emisyon çizgileri olarak görülmektedir. Bu durum, geçiş bölgesindeki radyatif enerji transferini çok karmaşık hale getirir.
- Alt katmanda, gaz basıncı ve akışkan dinamikleri genellikle yapıların hareketine ve şekline hakimken; yukarıda, manyetik kuvvetler yapıların hareketine ve şekline hakimdir. Geçiş bölgesi, değerlerinin hesaplanmasındaki zorluklar, benzer bir yapıya rastlanmaması ve karmaşık elektrodinamiği nedeniyle tamamen incelenememektedir

Helyum iyonizasyonu, koronanın oluşumunun kritik bir parçasıdır. Güneş maddesi, yalnızca içerisindeki helyumun kısmen iyonize olacağı kadar sıcak olduğunda madde; hem karacisim ışınımı hem de helyum Lyman sürekliliğine doğrudan bağlanma yoluyla çok etkili bir şekilde soğur. Bu durum üst kromosferde muhafaza edilir ve buradaki denge sıcaklığı on binlerce Kelvindir. Herhangi bir manyetik kırılma ile sıcaklık biraz daha arttığında helyum tamamen iyonize olur. Bu noktada Lyman sürekliliğinde artık çift olma durumu devam edemez ve radyasyon etkili bir şekilde yayılamaz bu da sıcaklığın neredeyse bir milyon Kelvin'e (korona sıcaklığı) yükselmesine sebep olur. Bu olaya sıcaklık felaketi denir ve kaynayarak buharlaşan suya benzeyen bir faz geçişine benzetilmektedir; güneş fizikçileri daha tanıdık bir işleme benzetme yoluyla buharlaşma sürecine atıfta bulunurlar (Mariska, 1986).

Geçiş bölgesi, TRACE uydusundaki uzak mor öte (FUV) görüntülerde koyu renkteki güneş yüzeyinin üzerindeki sönük bir hale olarak görülmektedir.

Korona: Hacimsel olarak Güneş'ten çok daha büyük, sınırları net olarak bilinmeyen en üst atmosfer tabakası korona olarak adlandırılmaktadır. Güneş rüzgarı ile ortalama sıcaklığı 2 milyon K iken sıcak bölgelerde 20 milyon K'e ulaşmaktadır. Korona'nın sıcaklığının teorik olarak hesaplanabilmesine rağmen bu yüksek sıcaklığın nedeni manyetik yeniden bağlanmaların olduğu düşünülmekte fakat hala tam olarak bilinmemektedir. Alt atmosfer tabakalarından gelen büyük kütlelerdeki plazma koronadan dışarı doğru, gezegenler arası uzaya atılmaktadır.

Korona, Güneş çevriminin maksimum dönemlerinde ekvatorda daha şişkin ve kutup bölgelerinde daha basık bir hal almaktadır. Çevrimin minimumunda da neredeyse dairesel bir yapıya sahip olur. Bu da koronanın yapısını, Güneş'in manyetik alanının belirlediğini göstermektedir.

Korona gözlenen başlıca yapılar:

I. Koronal Delikler: X-ışın gözlemlerinde Güneş diski üzerinde gözlenen civarına göre genellikle koyu renkli ve karanlık bölgelerdir. Koronal delikler açık manyetik alan sonucu oluşan bölgeler olup, bu bölgelerden madde kolaylıkla uzaya kaçtığından, Güneş rüzgarının kaynağı olarak gösterilmektedir. Güneş çevriminin maksimumlarında daha küçük, minimumlarında daha büyük ve daha alt enlemlerde görüldüğünden, koronal delikler güneş çevrimi ile ilişkilidir (Bravo ve Stewart, 1997).

II. Koronal Luplar: Genellikle Güneş lekeleri civarlarında ve aktif bölgelerde gözlenen yapılardır. Güneş'in alt korona ve geçiş bölgesinin temel yapısı koronal lupları oluşturur. Güneş yüzeyinde bulunan kapalı manyetik alanların bükülmesi sonucunda meydana gelmektedirler. Koronal lupların ayak uçları genellikle güneş lekeleri üzerinde bulunduğundan, koronal lupların sayısının doğrudan güneş çevrimi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir (Froment ve ark., 2015).

III. Helmet Streamer Yapılar: Genellikle güneş lekeleri ve aktif bölgeler üzerlerinde uzanan miğferimsi yapılar olarak bilinmekte ve beyaz ışık korona gözlemleri ve tam güneş tutulmalarında ayrıntılı bir şekilde gözlenmektedirler. Kapalı manyetik alan sonucu oluşan ve manyetik alan çizgileri arasında sıkışmış güneş maddesi olarak da ifade edilebilirler.

2.1.3. Güneş'in kimyasal bileşimi

Güneşi oluşturan elementlerin kimyasal bolluklarına bakıldığında, Güneş'in büyük bir kısmının Hidrojenden oluştuğu görülmektedir. İkinci sırada Helyum ve daha sonra da ağır elementler olarak adlandırdığımız Karbon, Azot, Oksijen, Neon, Magnezyum, Silisyum, Kükürt ve Demir elementleridir. Bu elementlerin kütlece oranları şu şekildedir;

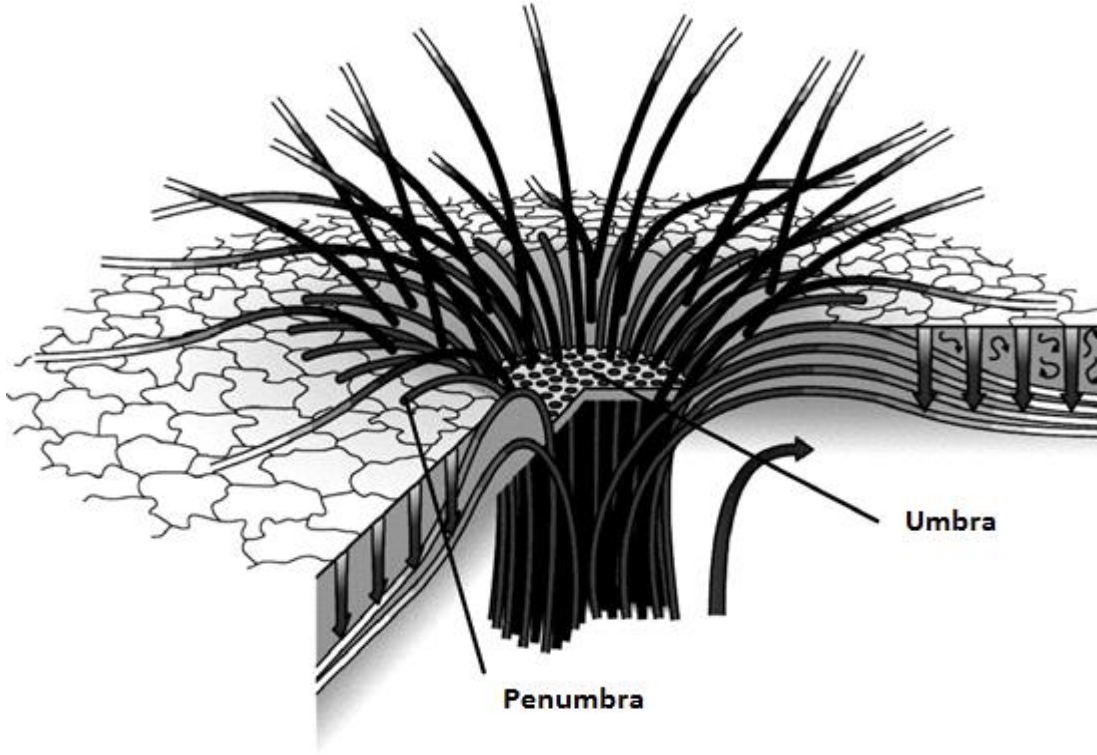
Hidrojen: %73.46^[8],
Helyum: %24.85^[4],
Ağır elementler: %1.69^[4].

Güneş'te bulunan elementlerin yarıçapa göre dağılımları da farklıdır. Güneş'in merkezinde kütle çekiminin fazla olmasından dolayı ağır elementlere burada rastlanırken, Hidrojen gibi hafif elementler Güneş'in dış bölgelerine doğru dağılım göstermiştir. Helyum'un Güneş içerisindeki dağılımı zamanla hızlandığından özel olarak ilgi çekmektedir. Güneş atmosferinde rastlanan yüksek sıcaklık nedeniyle bolluğu çok az olan bazı uçucu elementler (Lityum, Berilyum ve Bor) dışında Güneş'in kimyasal bileşimi, Güneş Sisteminin oluşumundaki kimyasal bileşimi ile aynı kabul edilebilir.

2.1.4. Güneş lekeleri

Güneş lekeleri, Güneş'in fotosfer tabakasında gözlenen ve diferansiyel dönmenin bir sonucu olarak, manyetik alanın bazı bölgelerde sıkışıp, yoğunlaşması ile ortaya çıkmaktadırlar. Yoğun manyetik alan, sıcaklığın eşit bir şekilde dağılamamasına neden olmaktadır ve bu yüzden güneş lekeleri çevreleri ile kıyaslandığında daha koyu renkte görülmektedirler. Fotosfer'in etkin sıcaklığı 5780 K iken, güneş lekelerinin sıcaklığı 2700-4200 K civarındadır. Bu bölgelerin soğuk olmasının nedeni, manyetik kuvvetlerin, alt tabakadaki konveksiyon bölgesinde bulunan sıcak gazların yukarıya çıkmasını engellemesidir. Karacisim ışımasındaki gibi, lekelerin ışık şiddeti de sıcaklığın dördüncü kuvveti ile orantılıdır. Güneş lekelerini fotosferden ayırıp uzayda başka bir alana koyma imkanımız olsaydı, bu lekeler Ay'dan daha parlak görünürlerdi. Bununla birlikte, fotosferdeki ortalama manyetik alan şiddeti 1 Gauss iken gelişmiş güneş lekelerinde bu değer bir kaç bin Gauss'u bulabilmektedir. Güneş lekeleri genellikle iki farklı kısımdan meydana gelmektedir. Bunlardan ilki umbra (gölge) adı verilen ve lekenin merkezinde yer alan koyu bölgedir. Umbrada manyetik alan çizgileri neredeyse yüzeye diktir. İkincisi ise leke merkezinin dışında kalan daha açık renkli bölge olup penumbra (yarı gölge) adını alır. Bu bölgede manyetik alan çizgileri yüzeye doğru eğilmiştir (Şekil 2.5.).

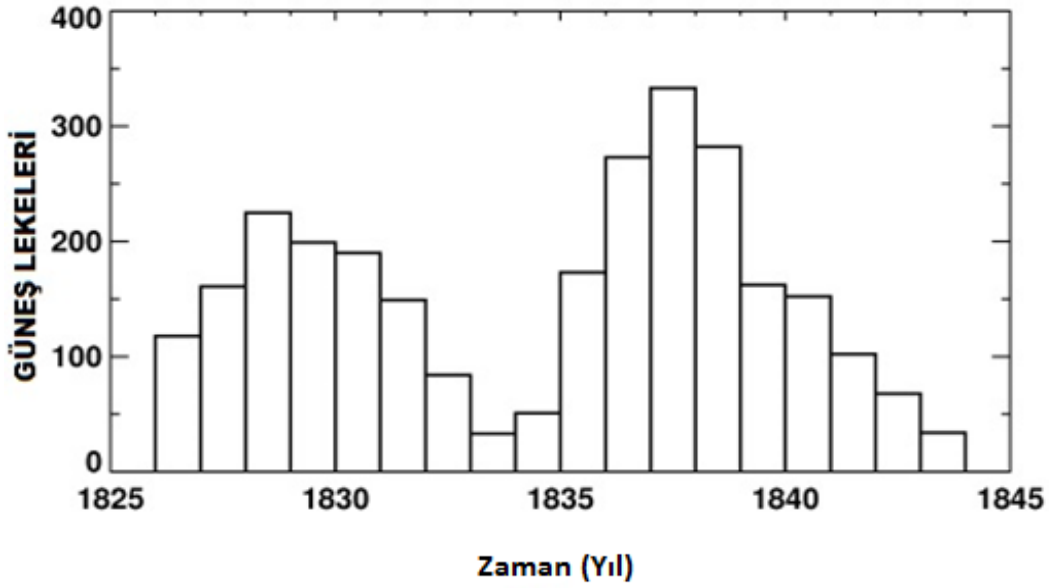
⁸ Eddy, John (1979)



Şekil 2.5. Bir Güneş lekesinin manyetik alan çizgileri

Güneş lekeleri, genellikle zıt manyetik polariteye sahip çiftler olarak görünür ve sayıları yaklaşık 11 yıllık güneş döngüsüne bağlı olarak değişir. Güneş lekelerinin boyutları, ortalama olarak Dünya'nın iki katı büyüklüğündedir. Güneş lekeleri, ilk olarak fotosferde koyu renkli bir nokta şeklinde belirirler. 6-7 gün içerisinde ya gelişip büyümekte ya da kaybolmaktadırlar. Güneş lekeleri çoğunlukla çok sayıda lekeden meydana gelirler. Hatta büyük leke gruplarının içerdiği leke sayıları 100'ü bulmaktadır. Leke gruplarının ömürleri ise birkaç günden birkaç aya kadar süren zaman aralığında değişmektedir.

Güneş leke kayıtları Çinli astronomlar tarafından M.Ö. 360'lı yıllarda tutulmaya başlanmıştır. 1600'lü yıllardan (teleskobun icadı) itibaren düzenli bir şekilde gözlenmektedirler. Güneş lekelerinin zamana bağlı olarak oluştuğu, değiştiği, ortadan kaybolduğu ve tekrar görüldüğü fark edilmiştir. Lekelerin kaybolması ve daha sonra tekrardan ortaya çıkması, Güneş'in kendi eksenini etrafında döndüğünün ve aynı zamanda yapısının da aynı kalmayıp, değişken olduğunun kanıtıdır. İlk olarak Rudolf Wolf, güneş lekelerini ayrıntılı ve sistematik bir şekilde gözleyerek lekelerin periyodik değişim gösterdiğini farketmiştir, fakat bu çalışmalarını ileriye götürememiştir. 1716'da Gustav Spörer güneş lekelerinin 70 yıllık bir periyotla değiştiğini öne sürmüştür. Daha sonra Edward Walter Maunder bu çalışmaların ışığında güneş lekelerinin periyodik olarak değiştiğini ve gözlemsel veriler ile güneş lekelerinin 1645 ile 1717 yılları arasında neredeyse tamamen kaybolduğunu literatüre kazandırmıştır. Bu dönem, kutup ışıklarının da kaybolması ile Güneş aktivitesinin çok az olduğu anlamına gelen Maunder Minimumu olarak anılmaktadır.



Şekil 2.6. Heinrich Schwabe tarafından 1826-1843 tarihleri arasında gözlemlenen güneş leke grupları. Bu veriler kullanılarak ilk kez 11 yıllık güneş leke çevrimi tanımı yapılmıştır. [Kaynak: (Schwabe, H.; 1844)]

Güneş leke sayılarındaki değişiklikleri ilk olarak Heinrich Schwabe gözlemlemiş ve 1844 yılında yayınlamıştır (Schwabe, H., 1844) (Şekil 2.6). Joseph Henry (1848) ise Güneş ile güneş lekeleri arasında sıcaklık farkını ilk kez aletle ölçen bilim insanıdır (Hellemans, A. ve Bunch, B., 1988). Bu gözlemlerden sonra Wolf (1848) gözlenen günlük toplam güneş leke sayısını ve toplam grup sayısını dikkate alarak, Wolf sayısı veya rölatif sayı tanımını aşağıdaki Denklem 2.5. ile vermiştir;

$$R_z = k (10g + s) \quad (2.5.)$$

Burada k gözlemevi, alet ve gözlemciye bağlı hataları gidermek için kullanılan düzeltme katsayısı, g güneş leke grubu sayısı ve f ise bu gruplarda bulunan toplam leke sayısıdır (Tribble, A.; 2003).

2.1.5. Güneş leke aktivitesi ve güneş leke sayısı (SSN)

Güneşte gözlenen periyodik değişimler kısa, orta ve uzun vadeli olarak ayrılmıştır. Kısa süreli değişimler, aktif bölgelerin veya manyetik alan yapılarının rotasyonu ile ilgilidir (Mursula ve Zieger, 1996; Ivanov ve Obridko, 2002; Nayar ve ark., 2001, 2002). Dönme periyodundaki belirsizlikler aktif bölgenin yaşam süresi, enlemsel ve boylamsal uzanımlarına bağlıdır. Orta vadeli değişimler, başlıca güneş dinamosu, manyetik akı çıkışı ve Dünya'nın güneş etrafındaki dönmesi ile ilişkili olarak 154 gün, 180 gün, 1 yıl ve 1.3 yıldır. Genellikle uzun vadeli değişimler, büyük ölçekli güneş manyetik alanının evrimiyle ve güneş leke çevrimi (dipol çevrimi, küresel güneş çevrimi) ile ilişkili olarak gözlemlenir. Güneş diski üzerinde gözlenen güneş lekelerinin

sayısı 27 günlük rotasyon periyodundan, aylar (154 gün), yıllar (11 veya 22 yıllık Schwabe veya Hale çevrimleri) (Şekil 2.8.) ve hatta yüz yıllar (205 yıllık Suess çevrimi) sürebilen geniş bir yelpaze içinde olabilir (Rieger ve ark. 1984; Bai 2003; Braun ve ark. 2005; Kılçık ve ark. 2010, 2014a, vd). Wolf sayıları da denilen günlük güneş leke sayıları, her gün için bu gruplardaki lekelerin sayısı ve günlük gözlenen toplam grup sayısı da hesaba katılarak yukarıda verilen (2.1.4.1.) formül ile hesaplanır. Bu denkleme göre hesaplanan günlük rölatif sayı kullanılarak aylık ve yıllık güneş leke sayısı elde edilir. Bu bağtıda tüm güneş lekeleri aynı ağırlığa/öneme sahiptir. Oysa ki, A grubu lekeler en basit lekeler olup leke evriminin başlangıcını ifade ederken, F grubu bir leke ise leke evriminin en gelişmiş halini ve kompleks lekeleri temsil eder. Dolayısıyla da günlük leke sayısı hesabında A grubu bir leke ile F grubu bir lekenin aynı ağırlığa sahip olması pek mantıklı görünmemektedir. Nitekim, Kılçık ve ark. (2011a) güneş leke gruplarını basit ve karmaşık olmak üzere iki gruba ayırmışlar ve iki grubun bir çevrim boyunca farklı davranış sergilediğini bulmuşlardır. Yapılan çalışmanın en önemli bulgusu, kompleks grupların hem güneş aktivitesini hem de jeomanyetik aktiviteyi basit gruplardan çok daha iyi temsil ediyor olmasıdır (Kılçık ve ark. 2011b). Elde edilen sonuçlara göre, kompleks gruplar güneş patlamaları, CME aktivitesi, leke alanları, jeomanyetik Ap ve Dst indekslerinde meydana gelen değişimleri basit gruplardan çok daha iyi yansıtmaktadır. Bu bulgular o yıldan itibaren birçok çalışma tarafından doğrulanmıştır (Lefevre ve Clette 2011; DeToma ve ark. 2013 vd). Ancak konu ile ilgili henüz birçok eksik ve tamamlanması gereken kısım vardır (her bir leke grubunun güneş patlamaları, CME'leri üretme potansiyeli, jeomanyetik aktivite ile ilişkileri, vb).

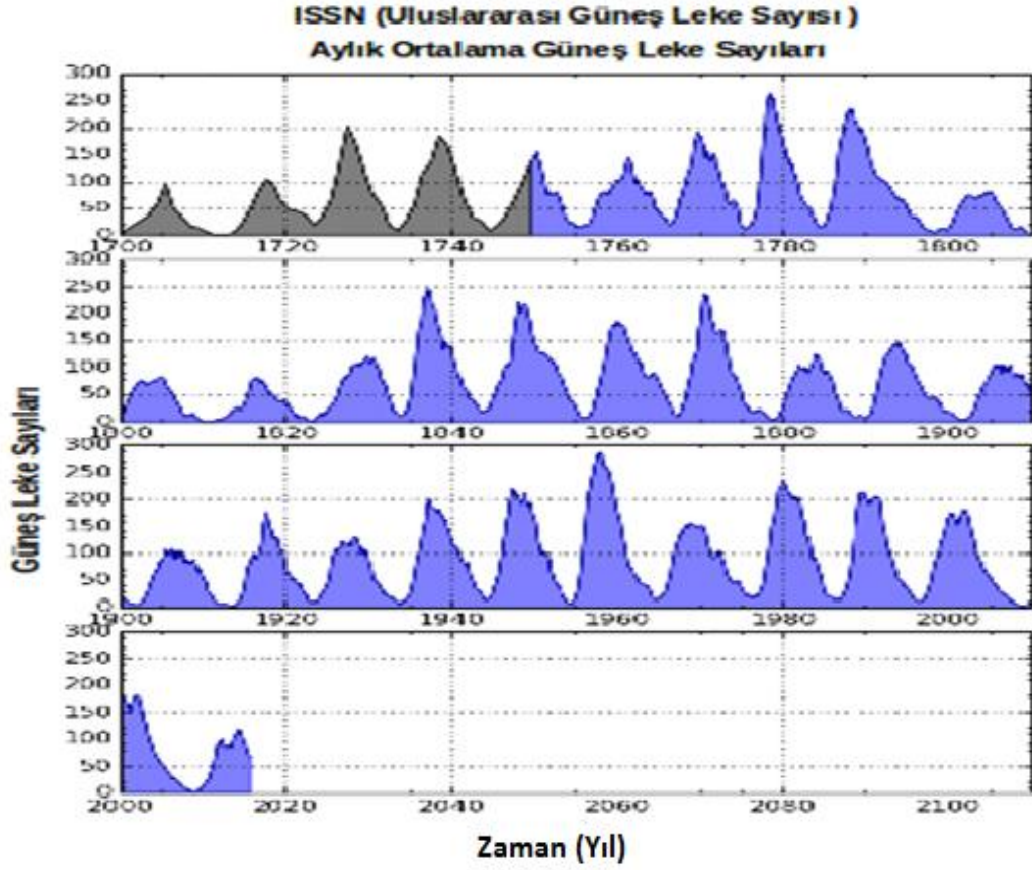
Çizelge 2.5.'de Güneş leke sayısındaki değişimlerin, Güneş aktivitesini ne şekilde etkilediği görülmektedir.

Çizelge 2.5. SSN ile güneş aktivitesindeki değişim

SSN	Güneş Aktivitesi
>250	Aşırı
150-250	Çok Yüksek
80-150	Yüksek
40-80	Orta
20-40	Düşük
0-20	Çok Düşük

Kılçık ve ark. (2014a,b) 23 ve 24. Güneş çevrimleri boyunca (1996 – 2014) güneş lekelerinin kompleks ve basit ayrımını lekelerin zamansal evrimini de dikkate alarak daha da geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarda leke gruplarını basit (A, B), orta (C), büyük (D, E, F) ve son (H) olmak üzere dört alt gruba ayırarak periyodik ve zamansal değişimlerini incelemişlerdir. Analizler sonucunda farklı alt grupların farklı periyodik davranış sergilediği, 23. Güneş leke çevriminin gerçekten anormal bir çevrim olduğu ve 24. Güneş leke çevriminde güneş aktivitesinin tekrardan daha zayıf bir çevrimle

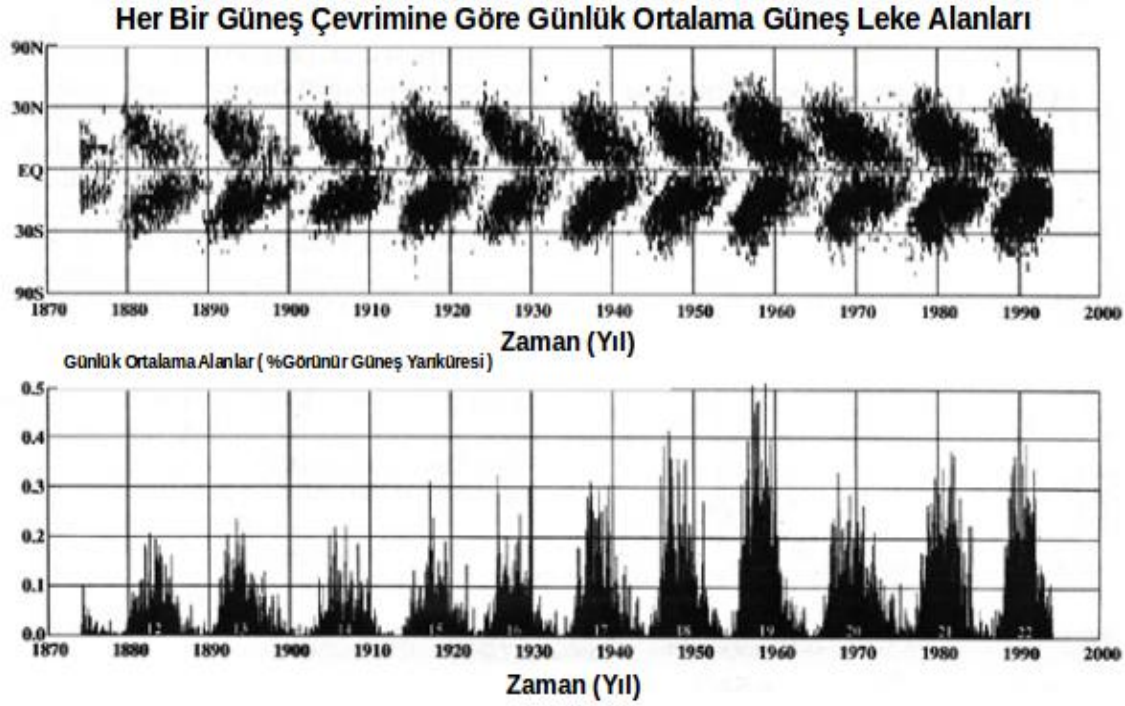
normale döndüğü sonuçlarını elde etmişlerdir. Bu bulgular 23. Güneş çevriminin azalma kolunda patlama aktivitesindeki artışın sebebinin açıklanmaktadır.



Şekil 2.7. Aylık ortalama güneş leke sayıları ⁹

Ayrıca, Güneş lekelerinin konumlarının zamana göre grafiği çizdirildiğinde Şekil 2.7' de gösterilen, kelebek diyagramı adı verilen ve leke çevrimlerine göre lekelerin enlemsel olarak nasıl bir dağılım gösterdiğini belirten diyagram elde edilmektedir.

⁹ <http://www.sidc.be/silso/yearlyssnplot>



Şekil 2.8. 1874-1996 yıllarını kapsayan kelebek diyagramı, 1976'ya kadar olan veriler Royal Greenwich Gözlemevi'nden, 1977-1985 yılları arasındaki veriler eski Sovyetler Birliği'nden, 1986'dan itibaren ise Wilson Güneş Gözlemevi'nden alınmıştır. Çevrim numaraları, her çevrimin üst kısmında işaretlenmiştir. [Kaynak: Solanki ve ark. 2008]

2.1.6. Güneş leke çevrimleri

Güneş leke sayıları ve diğer Güneş aktivite göstergelerinin analizleri ile farklı Güneş leke çevrimleri literatüre kazandırılmıştır. Bunlardan en çok kullanılanlar aşağıda ifade edilmektedir;

Schwabe Çevrimi: Güneş lekeleri verilerinin uzun dönemli değişimleri incelendiğinde güneş leke sayılarının yaklaşık 11 yıla denk gelen bir periyodik değişim gösterdiği fark edilmiştir. Bu 11 yıllık çevrimin minimum zamanlarında çok az hatta bazen hiç leke gözlenmezken, maksimum zamanlarında ise yüzlerce leke gözlenebilir. Çevrimin başlarında lekeler yüksek enlemlerde görülürken, çevrim ilerledikçe lekeler ekvatora doğru kayar ve bu kural Spörer yasası olarak bilinir. Lekeleri 11 yıllık çevrim gösterdiği Heinrich Schwabe tarafından bulunduğu için bu çevrime Schwabe Çevrimi adı verilmiştir.

Hale Çevrimi: Güneş lekeleri manyetik kutuplara sahiptir. Güneş lekelerinin manyetik polariteleri her güneş çevriminde değişmektedir. Bir Güneş çevriminde eğer leke negatif manyetik kutuplu ise bir sonraki çevrimde pozitif manyetik kutba sahip olur. George E. Hale ve Kaliforniya Mount Wilson Gözlemevi'ndeki arkadaşları 1915 yılında lekelerin manyetik kutuplarını inceleyip, lekelerin Güneş'in ekvatoruna göre

aşağı yukarı paralel olarak dizildiklerini ve her leke çiftinin de zıt manyetik kutba sahip olduğunu göstermişlerdir. Bir çevrim boyunca öncü lekeler buldukları yarıkürenin polaritesine sahipken bir sonraki çevrimde her iki yarıküredeki öncü lekelerin kutupları değişen yarıküre polaritesine bağlı olarak değişmektedir. Böylece her 22 yılda bir aynı yarıküredeki lekeler aynı polariteye sahip olur ve bu çevrim 22 yıllık Hale çevrimi veya manyetik çevrim olarak isimlendirilir.

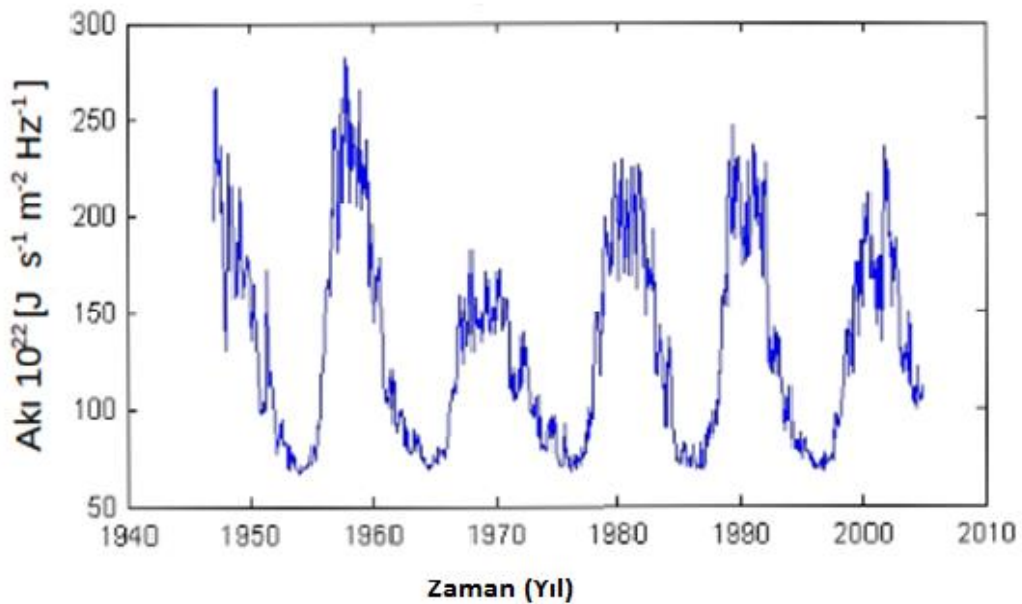
Gleissberg Çevrimi: 11 yıllık Schwabe çevriminin uzun yıllar boyunca incelenmesiyle, çevrimlerdeki maksimumların da periyodik bir değişim gösterdiği ve bu değişimin 70-100 yıllık sürede gerçekleştiği bulunmuştur.

Suess Çevrimi: 70 yıl süren minimum boyunca ağaç halkaları incelenmiş ve bu ağaçların söz konusu dönemde dikkat çekecek oranda Karbon 14 (C^{14}) izotopu içerdiği bulunmuştur. Aynı zamanda bu, o dönemde Dünya'ya ulaşan kozmik ışınların daha fazla olduğu anlamına gelmektedir. Güneş leke sayıları ile bu halkalar incelendiğinde 210 yıl civarında bir güneş çevrimi olduğu ortaya konmuş ve çevrime de Suess çevrimi adı verilmiştir.

2.1.7. F 10.7 Güneş radyo akısı

F 10.7 cm radyo akısı, Güneş'in atmosfer tabakaları olan kromosfer ve alt korona kaynaklıdır. Yayınlanan akı, güneş lekeleri sayısı ile her gün değişmekte ve böylece Güneş çevrimini takip etmektedir.

Şekil 2.9.' da, tüm Güneş disk üzerinde 2800 MHz veya 10.7 cm dalga boyunda güneş radyo akısının aylık ortalama değişimi görülmektedir. Bu değere F10.7 akısı adı verilir ve sürekli ölçümlerden temin edilir. F10.7 değeri dünya atmosfer modeli için bir girdi parametresi olarak kullanılır.



Şekil 2.9. 10.7 cm Güneş radyo akısı (F10.7)'nin zamanla değişimi

2.1.8. Güneş leke sınıflandırmaları

2.1.8.1. Cortie sınıflandırması

İlk sınıflandırma 19. yüzyılın başlarında Stonyhurst College Gözleminde yapılan, yıllarca süren gözlemler sonucu elde edilen 3500 adet güneş lekeleri çizimine dayanmaktadır. Bu sınıflandırma gözlenen güneş lekelerinin şekillerinden oluşturulan modeller ile yapılmıştır. Bu sınıflandırmayı yapan Cortie (1901)'nin amacı farklı durumdaki güneş leke gruplarını şekilsel olarak tanımlamak ve güneş leke grubunun evrim aşamalarını araştırmaktır. Cortie'nin tanımladığı ve Şekil 2.10.'de gösterilen güneş leke grupları şu şekildedir:

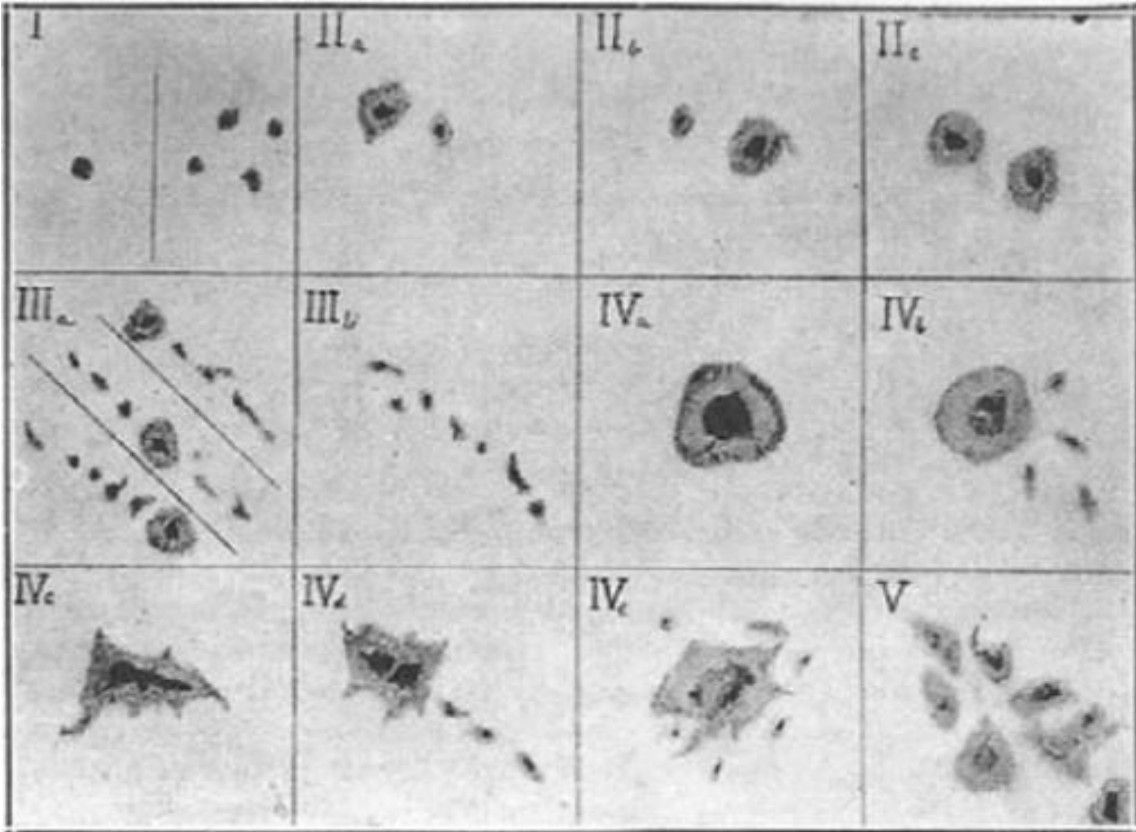
Tip I: Tek bir leke ya da küçük lekeler grubu

Tip IIa: Öncü lekenin esas alındığı iki lekeden oluşmuş bir leke grubu

Tip IIb: Artçı lekenin esas alındığı iki lekeden oluşmuş bir leke grubu

Tip IIc: İki lekenin birlikte esas alındığı iki lekeden oluşmuş bir leke grubu

Tip IIIa: İyi tanımlanmış öncü lekeler bulunduran bir leke grubu



Şekil 2.10. Cortie Güneş leke sınıflandırması [Kaynak: Carrasco ve ark., 2015]

Tip IIIb: İyi tanımlanan öncü lekelerden bağımsız ve düzensiz umbrayla birlikte penumbbralı lekeler bulunduran bir leke grubu

Tip IVa: Düzenli sınırları olan tek bir leke grubu

Tip IVb: Düzenli sınırları olan bir leke ve küçük yoldaşlar içeren bir leke grubu

Tip IVc: Düzensiz sınırlara sahip olan tek bir leke grubu

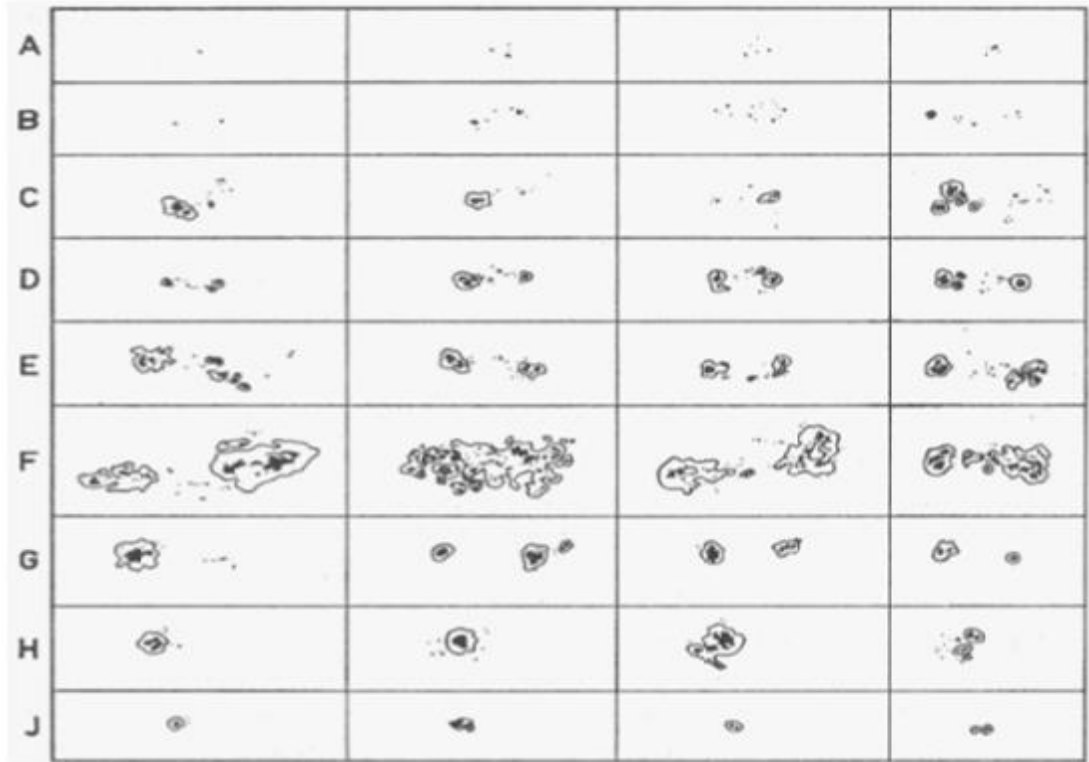
Tip IVd: Düzensiz sınırları olan bir leke ve dizi halinde küçük yoldaşlar içeren bir leke grubu

Tip IVe: Düzensiz sınırlara sahip bir leke ve dizi halinde olmayan küçük yoldaşlar içeren bir leke grubu

Tip V: Büyük lekeler içeren düzensiz bir leke grubu

2.1.8.2. Zürih (Zurich) sınıflandırması

Cortie'nin geliştirdiği leke sınıflandırmasının Waldmeier (1938) tarafından geliştirilmesi ile elde edilen Zurich sınıflandırması, dünyada en çok bilinen ve kabul gören sınıflandırmadır. Bu sınıflandırma güneş leke gruplarının morfoloji ve evrim aşamalarını tanımlamaktadır. Waldmeier'in Şekil 2.11.'de gösterilen dokuz ayrı kısımda incelediği leke sınıfları şu şekildedir:



Şekil 2.11. Zürih Güneş leke sınıflandırması [Kaynak: Bray ve Loughhead, 1964]

Tip A: Bir ya da daha fazla penumbrasız lekeden oluşan tek kutuplu bir leke grubu.

Tip B: Penumbrasız leke gruplarından oluşan çift kutuplu bir leke grubu.

Tip C: penumbrasız bir leke içeren çift kutuplu bir leke grubu.

Tip D: Penumbralı ana leke bulunduran ve boylamsal uzanımı 10° 'den az olan bir leke grubu.

Tip E: Penumbralı ana leke bulunduran ve boylamsal uzanımı 10° ile 15° arasında olan bir leke grubu.

Tip F: Büyük çift kutuplu ve boylamsal uzanımı 15° 'den büyük olan bir leke grubu.

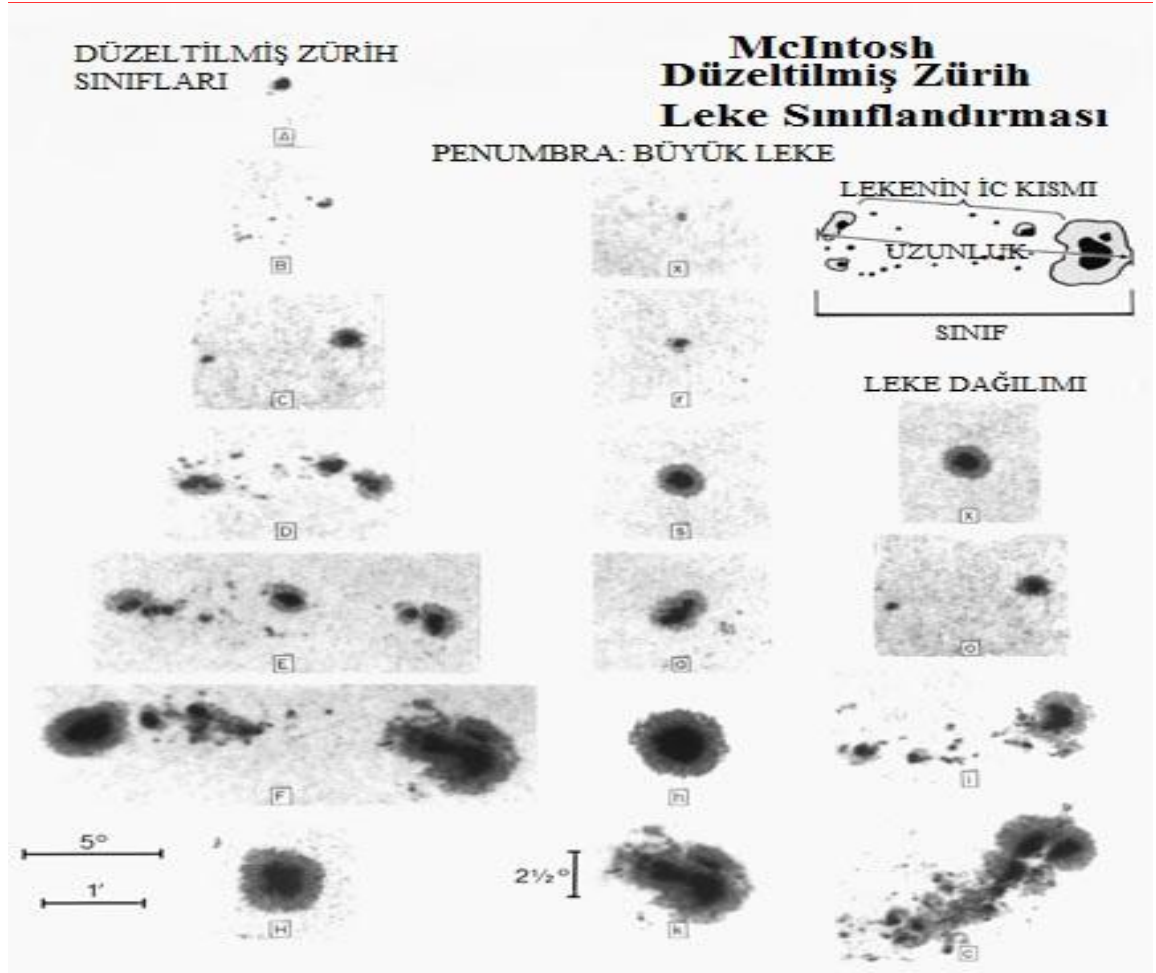
Tip G: Penumbralı ana lekeler arasında küçük leke bulundurmayan ve boylamsal uzanımı 10° 'den büyük olan bir leke grubu.

Tip H: Penumbralı tek bir lekeden meydana gelen ve boylamsal uzanımı 2.5° 'den büyük bir leke grubu.

Tip J: Penumbralı tek bir lekeden meydana gelen ve boylamsal uzanımı 2.5° 'den küçük bir leke grubu.

2.1.8.3. McIntosh sınıflandırması (Düzeltilmiş Zürih sınıflandırması)

Her iki sınıflandırmanın da leke alanları, güneş patlamaları gibi diğer güneş aktivite göstergeleriyle düşük korelasyon göstermesi bu sınıflandırma sistemlerinin yeniden gözden geçirilerek iyileştirilmesini gerekli kılmıştır. Leke sınıflandırmasındaki bu eksiklikler McIntosh tarafından mevcut Zürih sınıflandırmasının modifiye edilmesiyle büyük ölçüde giderilmiştir (McIntosh, 1990). Halen günümüzde de kullanılan bu sınıflandırma temel olarak üç parametreye dayandırılmıştır. Şekil 2.12.'de gösterilen ve bu tez çalışmasında da kullanılan birinci parametre güneş leke gruplarının morfolojileri ve evrimini, ikinci parametre gruptaki en büyük lekeyi ve üçüncü parametre de grup içerisindeki leke dağılımını tanımlar.



Şekil 2.12. McIntosh (düzeltilmiş Zürih) leke sınıflandırması [Kaynak: McIntosh, 1990]

Birinci parametreye göre leke grupları *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* ve *H* olmak üzere yedi sınıfa ayrılmıştır. Bunlar:

A, penumbrası olmayan tek kutuplu leke grubudur, leke evriminin ilk aşamasını ya da en son aşamasını temsil eder.

B, grup içerisindeki hiçbir lekede penumbra bulundurmeyen çift kutuplu bir leke grubudur.

C, grup içerisinde penumbrası bulunan öncü ya da artçı lekeye sahip, çift kutuplu leke grubudur.

D, boylamsal uzanımları $\ell \leq 10^\circ$ olan her iki tarafında da penumbralı lekeler bulduran, çift kutuplu leke grubudur.

E, boylamsal uzanımları $10^\circ < \ell \leq 15^\circ$ arasında olan her iki tarafında da penumbraya sahip lekeler içeren, çift kutuplu leke grubudur.

F, boylamsal uzanımları $\ell > 15^\circ$ den büyük olan her iki tarafında da penumbraya sahip lekeler içeren, çift kutuplu leke grubudur.

H, penumbraya sahip tek kutuplu leke grubudur. Leke evriminin son aşamasını ifade eder.

İkinci parametreye göre lekeler *x*, *r*, *s*, *a*, *h* ve *k* olmak üzere altı sınıfa ayrılır ve *x*'den *k*'ya en büyük lekenin penumbrasının durumunu ve lekenin boyutunu tanımlar. Buna göre *x* penumbraya sahip olmayan lekeyi tanımlarken, *k* çok gelişmiş kompleks penumbralı lekeyi tanımlar.

x, Penumbra bulandırmayan leke (A veya B grubu).

r, Büyük lekeyi çevreleyen, parçalı ve ilkel penumbraya sahip leke. Bu penumbra, tamamlanmamış, granülden ziyade ipliksi, olgun bir penumbradan daha parlak ve lekenin umbrasından uzaklığı 3 yay saniyesinden küçüktür. İkel penumbra, lekenin oluşumu esnasında veya evriminin son aşamasına görülebilir.

s, (Zürich sınıfındaki J gibi) En büyük leke, gelişmiş, koyu renkli, ipliksi, sınırlarda kısmen düzensiz dairesel veya elips şeklinde penumbraya sahiptir. Penumbranın çapı 2.5° ya da daha küçüktür.

a, Küçük ve asimettir. Büyük lekenin penumbrası düzensiz sınırlara sahip ve içinde birden fazla umbra bulundurur. Penumbranın çapı 2.5° ya da daha küçüktür.

h, Büyük ve simettir (Zürich sınıfındaki H gibi). Penumbra yapısal olarak 's' ile aynı, ancak çapı 2.5° 'den büyüktür. Bundan dolayı alanı da 250 güneş yarıküresinin milyonda birine (MSH) eşit ya da daha büyüktür.

k, Büyük ve asimettir. Penumbra yapısal olarak 'a' ile aynı, ancak çapı 2.5° 'den büyüktür. Bu nedenle alanı, 250 MSH'ye eşit ya da daha büyük olmalıdır.

Üçüncü parametre olan ara leke dağılımına göre leke grupları *x*, *o*, *i* ve *c* olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Burada *x* ara leke dağılımının olmadığı durumu gösterirken, *c* de kompleks ara leke dağılımını tanımlar.

x, Tek kutuplu gruplar için tanımsızdır (A sınıfı ve H).

o, Açık kategoridir. Eğer öncü leke ile artçı leke arasında birkaç çok küçük leke varsa, leke bu şekilde sınıflandırılmaktadır. E ve F grupları 'Açık' kategorisindeki lekelerdir ve Zürich sınıflandırmasındaki G ile de eşdeğerlerdir.

i, Ara kategoridir. Öncü ve artçı leke arasında yatan sayısız leke bulandıran ve bu ara lekelerin hiçbirinde gelişmiş penumbra bulandırmayan leke grubudur.

c, Kompleks kategoridir. Öncü ve artçı leke arasında yatan sayısız leke bulandıran ve bu ara bölgede gelişmiş penumbraya sahip en az bir iç leke bulandıran leke grubudur.

Kompleks dağılımın bir uç örneği bütün lekelerin sürekli bir penumbral alan ile sarılı olmasıdır.

Bu üç parametrenin art arda eklenmesiyle (*Axx*, *Fkc* gibi) gözlenen her bir leke grubu sınıflandırılır.

2.1.8.4. Mount Wilson manyetik sınıflandırması

Güneş lekeleri, Kaliforniya'daki Mount Wilson Gözlemevi tarafından belirlenen kurullarla manyetik karakterine göre sınıflandırılmıştır. Bu sınıflandırma:

Alfa (α): Tek kutuplu leke grubu.

Beta (β): Pozitif ve negatif manyetik kutupların ikisine birden sahip olan ve kutupları belirgin bir şekilde ayırt edilebilen leke grubu.

Gama (γ): Düzensiz dağılım gösteren, kompleks ve kutupları belirgin bir şekilde ayrılamayan, pozitif ve negatif kutupların ikisine de sahip bir leke grubu.

Beta-Gama: Çift kutuplu ve fazlasıyla kompleks olmasına rağmen zıt kutupların arası bir çizgi gibi belirgin olan leke grubu.

Delta: Belirteç olarak umbrası 2° 'den küçük ve penumbrası ile ters polariteye sahip çift kutuplu manyetik sınıf belirten leke grubu.

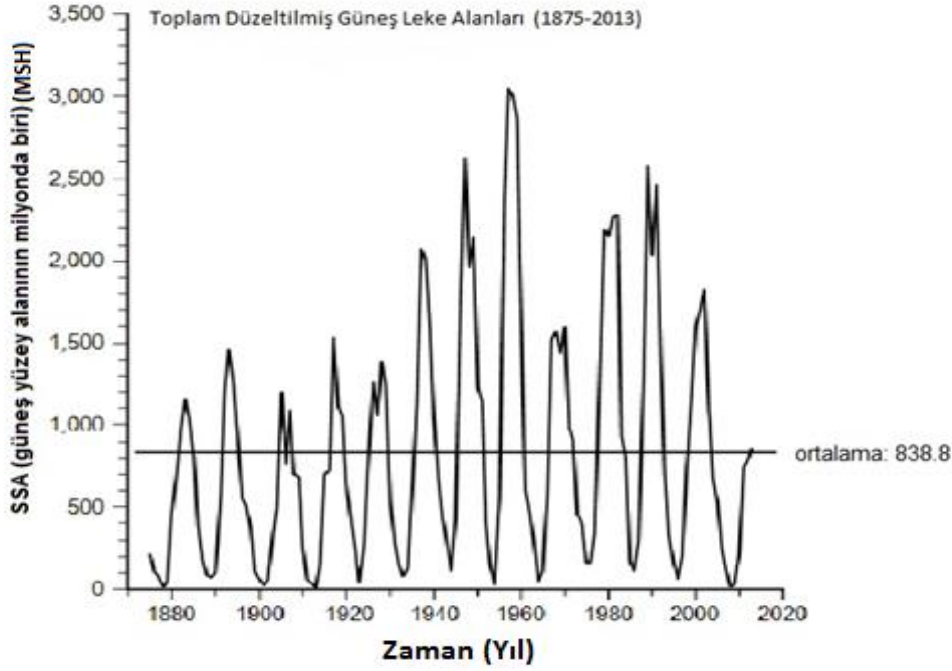
Beta-Delta: Genel olarak beta manyetik sınıfına ait fakat bir ya da daha fazla delta sınıfına ait leke de içeren leke grubu.

Beta-Gama-Delta: Genel olarak beta-gama manyetik sınıfına ait fakat bir ya da daha fazla delta sınıfına ait leke de içeren leke grubu.

Gama-Delta: Genel olarak gama manyetik sınıfına ait fakat bir ya da daha fazla delta sınıfına ait leke de içeren leke grubu.

2.1.9. Güneş leke alanları (SSAs)

Güneş leke alanları (SSAs) bir gün boyunca görünen Güneş diskinin tamamındaki güneş lekelerinin toplam alanlarıdır. SSA birim olarak Güneş yüzey alanının milyonda biridir (in millionths of a solar hemisphere "MSH"). Güneş leke alanları, güneş aktivitesine bağlı olarak çevrimden çevrime farklılık göstermektedir (Şekil 2.13.). Güneş leke alanlarının zamana göre grafiği çizdirildiğinde, güneş leke sayılarına benzer bir diyagram elde edilmektedir.



Şekil 2.13. Güneş leke alanlarının (11-24 Güneş çevrimleri) yıllara göre değişimi (1875–2013). [Kaynak: Wilson, R. M., 2014]

2.1.10. Güneş patlamaları (Solar Flares) ve sınıflandırmaları

Güneş patlamaları (solar flares) güneş diski üzerinde gözlenen ani parlamalardır. Güneş atmosferinde biriken manyetik enerji serbest kaldığında güneş patlaması gerçekleşmektedir. Bir güneş patlaması ile milyonlarca dereceye kadar ısıtılmış plazma güneşin manyetik alanını yenerek, uzaya gönderilir. Manyetik enerjinin serbest kalmasıyla elektronlar, protonlar ve ağır çekirdekleri de içeren parçacıklar, Güneş atmosferinde ısıtılır ve ivmelendirilir. Bu radyasyon, uzun dalga boylarında radyo dalgaları, optik bölge boyunca ve kısa dalga boylarında X-ışınları ve gama ışınları da dahil olmak üzere neredeyse tüm elektromanyetik spektrum boyunca yayılır. Patlama esnasında yayınlanan tipik enerji miktarı 10^{27} erg mertebesinde olup, şiddetli patlamalarda bu enerji miktarı 10^{32} erg mertebesine kadar çıkabilmektedir. Bu enerji kıyaslama yapıldığında, bir volkanik patlamadan 10 milyon kat daha büyük ya da aynı anda patlayan milyonlarca 100 megatonluk hidrojen bombasına eşdeğerdir.

Literatüre kayıtlı ilk güneş patlaması 1 Eylül 1859 tarihinde gerçekleşen patlamadır. Richard C. Carrington ve Richard Hodgson birbirlerinden bağımsız olarak beyaz ışıktaki güneş lekelerini incelerken, bu patlamayı kaydetmişlerdir. Genel olarak, Güneş patlamaları üç aşamada gerçekleşmektedir;

Bunlardan ilki olan haberci (öncü) aşama, tetiklenen manyetik enerjinin serbest bırakıldığı aşamadır. Yumuşak X-ışın emisyonu bu aşamada tespit edilmektedir.

İkinci ya da itkisel aşama olarak bilinen aşama da radyo dalgaları, sert X-ışınları ve gama ışınlarının yayınlandığı, elektronların ve protonların 1MeV'dan daha yüksek hızlara sahip olduğu aşamadır.

Üçüncü aşama ise kademeli olarak yumuşak X-ışınları birikiminin tespit edildiği bozunma aşamasıdır.

Güneş patlamaları Güneş'in korona adı verilen ve düşük yoğunluktaki gazlardan oluşan en dış atmosfer tabakasına doğru uzanır. Normalde bir kaç milyon Kelvin derece sıcaklığa sahipken, patlama esnasında sıcaklık 10-20 milyon Kelvin dereceye, hatta patlamanın şiddetine göre 100 milyon Kelvin dereceye kadar ulaşabilir. Güneş patlamaları aktif bölge adı verilen ve yumuşak X-ışınlarında yapılan korona gözlemlerinde görülen, manyetik alanların bağlandığı parlak halkasal yapılarda gözlenmektedir. Patlamaların görülme sıklığı da Güneş aktivitesine bağlı olarak değişmektedir. Güneş aktivitesinin maksimum olduğu dönemlerde güneş patlaması sayısı artarken, aktivitenin minimum olduğu zamanlarda güneş patlaması sayısı düşmekte hatta bazen hiç patlama gerçekleşmemektedir.

Güneş patlamaları optik ($H\alpha$) ve X-ışın ($1 - 8 \text{ \AA}$) olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar.

2.1.10.1. Optik sınıflandırma

$H\alpha$, 6563 \AA dalga boyunda gözlenen patlamalar 1930'lu yıllardan itibaren, patlamanın şiddeti ve patlamanın olduğu alanın büyüklüğü dikkate alınarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar:

Patlama şiddetine göre; sönük (f), orta (m) ve parlak (b) olmak üzere üç ana grup vardır. Bu parlaklık seçimi gözlemci tarafından yapılmaktadır.

Patlamanın olduğu alanın büyüklüğüne göre ise;

Çizelge 2.6.'da görüldüğü gibi S, en küçük boylamsal uzanıma sahip olan, alt güneş patlaması (subflare) olarak da bilinen patlamalardır. 1, 2, 3 ve 4 ise büyüklüğü boylamsal uzanımının artmasına bağlı olarak artan patlamalardır.

Çizelge 2.6. Güneş patlamalarının optik sınıflandırması

Alan (derece kare)	Alan (10^{-6} güneş A)	Sınıf	İlgili Güneş Patlaması (SXR Sınıfı)
≤ 2.0	≤ 200	S	C2
2.1-5.1	200-500	1	M3
5.2-12.4	500-1200	2	X1
12.5-24.7	1200-2400	3	X5
> 24.7	> 2400	4	X9

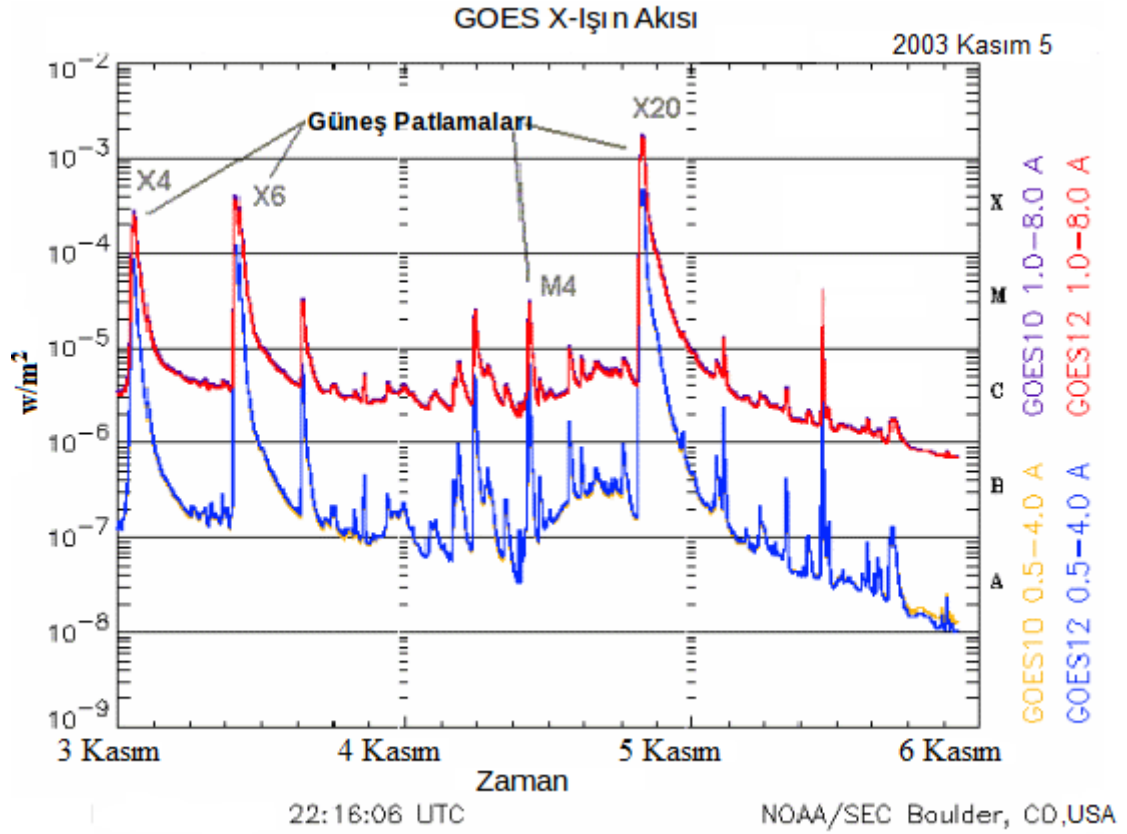
Bu iki parametre dikkate alınarak güneş patlamaları $H\alpha'$ da her bir alan aralığı için üç farklı şekilde olmak kaydıyla toplam 15 farklı şekilde sınıflandırılırlar (Sf, 1m, 4b, gibi) (Maris ve Popescu 2004). Burada en güçlü patlama 4b olarak verilirken, en zayıf patlama da Sf şeklinde gösterilmektedir (Zirin, H. 1988).

2.1.10.2. X-ışın sınıflandırması

X-ışınlarında ise güneş patlamaları yayınladıkları maksimum X-ışın akısına göre; A, B, C, M ve X olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmaktadırlar.

Çizelge 2.7. Güneş patlamalarının X-ışın sınıflandırması

Sınıf	Maksimum Akı Aralığı (0.1-0.8 nm)	
	mks birimi ($W m^{-2}$)	cgs birimi ($erg cm^{-2}s^{-1}$)
A	$\Phi < 10^{-7}$	$\Phi < 10^{-4}$
B	$10^{-7} \leq \Phi < 10^{-6}$	$10^{-4} \leq \Phi < 10^{-3}$
C	$10^{-6} \leq \Phi < 10^{-5}$	$10^{-3} \leq \Phi < 10^{-2}$
M	$10^{-5} \leq \Phi < 10^{-4}$	$10^{-2} \leq \Phi < 10^{-1}$
X	$10^{-4} \leq \Phi$	$10^{-1} \leq \Phi$



Şekil 2.14. Güneş patlamalarının 0.5-4 Å ve 1-8 Å dalga boyu aralığındaki GOES X-ışın akısına göre sınıflandırılması. Her bir sınıf kendi içerisinde 9 alt sınıfa ayrılmaktadır. (C1-C9, M1-M9, X1-X9). Şekilde 3 şiddetli ve 1 çok şiddetli patlama sınıfı görülmektedir X4, X6, M4 ve X20.¹⁰

Çizelge 2.7.'de gösterilen patlama sınıflarından her birinde yayınlanan enerji miktarı bir öncekinin 10 katıdır, yani B grubu bir patlama A grubunun 10 katı, C grubu B'nin 10 katı, M grubu C'nin 10 katı ve X grubu da M'nin 10 katıdır (Fletcher, ve ark, 2011). Ayrıca her bir sınıf da kendi içinde 9 alt sınıfa ayrılır (Ör: M9). Sadece X grubu patlamalarda bu alt grup sayısı 9'dan fazladır (Ör: X21). Bazı kaynaklarda X10'dan büyük patlamalar Z sınıfı olarak da gösterilmiştir.

Şekil 2.14.'de 3-6 Kasım 2003 tarihleri arasında gerçekleşen bazı şiddetli X-ışın patlamalarının akıları görülmektedir.

2.1.11. Jeomanyetik aktivite indeksleri

Dünyaya ulaşan güneş rüzgarının şiddeti hep aynı değildir ve güneş aktivitesine bağlı olarak değişmektedir. Bu değişimler Dünya'nın manyetik alanında birçok değişiklik meydana getirmektedir. Şiddetli güneş rüzgarları manyetosferin ön kısmına çarptığında bu bölümü sıkıştırır ve manyetik alan çizgilerinin yapısında değişiklikler meydana getirir. Bu olaya jeomanyetik fırtına adı verilmektedir.

¹⁰ <http://www.spaceweather.com>

Jeomanyetik aktivite indeksleri çok karmaşık olan Dünya'nın manyetik alanının değişkenliğini karakterize etmek, basitleştirmek ve jeomanyetik fırtınaları ifade etmek için türetilmişlerdir. Her bir indeks dinamik jeomanyetik alanı farklı bir yönden ya da farklı zaman çerçevesinden karakterize eder.

Jeomanyetik aktiviteyi açıklamak için kullanılan başlıca indeksler:

Kp İndeks; K-indeksi gezegensel jeomanyetik fırtınaların büyüklüğünü karakterize etmek için kullanılmaktadır. Yerel jeomanyetik alanın en fazla tedirginlik gösteren yatay bileşeninden türetilmiş 3 saatlik bir indeks ifade etmektedir. Kp indeksi 0 (çok sakin) ile 9 (son derece rahatsız) arasında değişen yarı-logaritmik bir indekstir.

A İndeks; 8 tane K indeksinin günlük ortalaması alınarak elde edilen, Fredericksburg, VA (orta enlem) ve College, AK (yüksek enlem) jeomanyetik gözlemlerinde gözlenen 24 saatlik indeks ifade eder. A-indeks değerleri 0 ile 400 (çok sakin-son derece rahatsız) arasında değişmektedir.

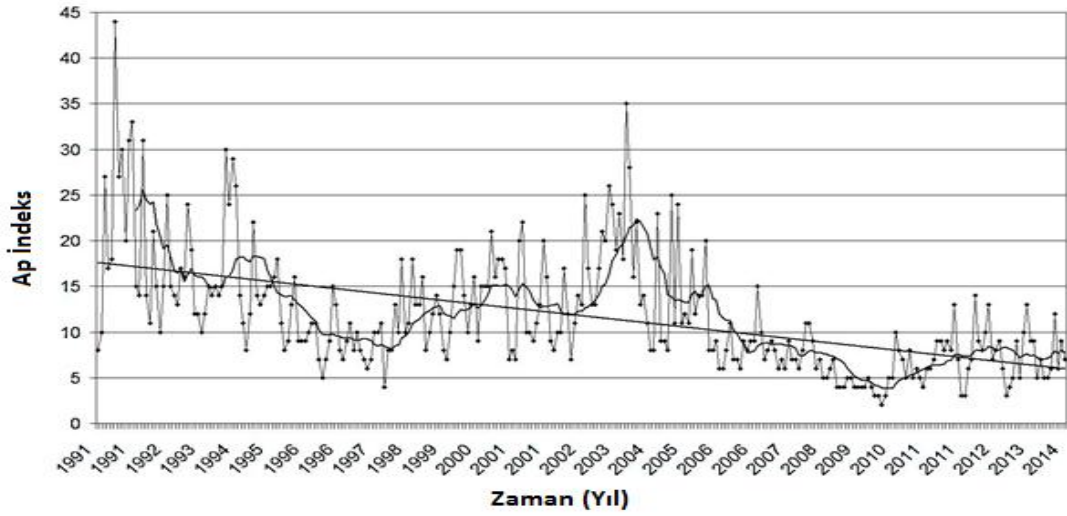
Çizelge 2.8. Jeomanyetik fırtınaların büyüklüğünün belirlenmesinde kullanılan Ap ve Kp indeks

Kategori	A-indeks Aralığı	Tipik Değerleri
Sessiz	$0 \leq A_p < 10$	Genellikle Kp indeksleri $>2+$ yok
Tedirgin	$10 \leq A_p < 20$	Genellikle Kp indeksleri $>3+$ yok
Aktif	$20 \leq A_p < 35$	Bir kaç 4 Kp indeksleri
Küçük Fırtına	$35 \leq A_p < 60$	Çoğunlukla 4 ve 5 Kp indeksleri
Orta Fırtına	$60 \leq A_p < 100$	Bazı 6 Kp indeksleri
Güçlü Fırtına	$100 \leq A_p < 160$	Bazı 7 Kp indeksleri
Şiddetli Fırtına	$160 \leq A_p < 310$	Bazı 8 ve 9 Kp indeksleri
Aşırı Şiddetli Fırtına	$310 \leq A_p$	Bazı 9 Kp indeksleri

Çizelge 2.8.'de Jeomanyetik fırtınaların büyüklüğünü ifade eden ve Space Weather Prediction Center (SWPC) tahmini gezegensel A-indeksine dayanarak tanımlanan değerler görülmektedir. Eğer indeks 35'e eşit ya da daha büyükse, fırtına devam etmektedir.

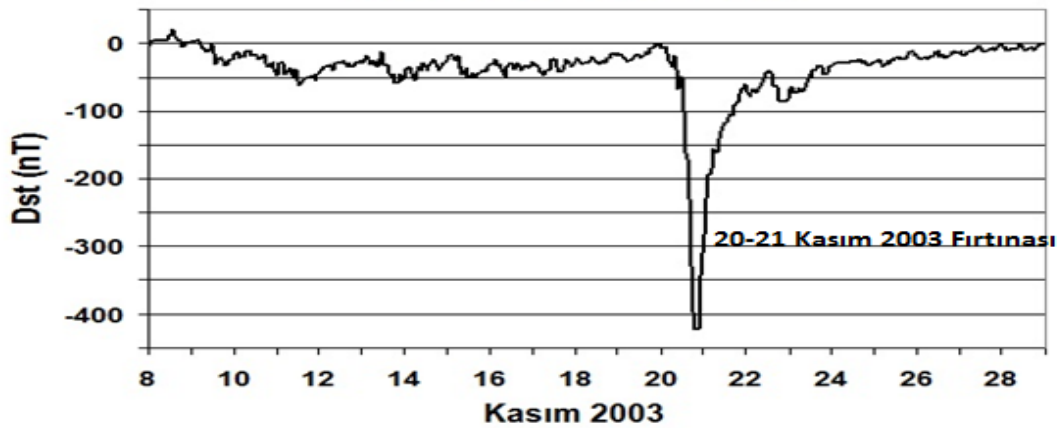
Ap İndeks: Jeomanyetik aktivitenin küresel olarak günlük ortalama değerine Ap indeks adı verilmektedir. Ap indeks, Dünya yüzeyinde, iki yarı kürede bulunan, birbirine zıt enlemlerdeki 13 ayrı gözlemevinden ölçülen 3 saatlik, sekiz adet Kp indeksin günlük ortalaması alınarak hesaplanmaktadır (Mayaud, 1980). Şekil 2.15.'de verilen Ap indeks, güneş aktivitesinin sakin olarak tanımlanan zaman dilimlerinde 0, aktivitenin

maksimum olduğu dönemlerde ise maksimum 400 olmak üzere 0 ile 400 arasında değişen değerlere sahiptir.



Şekil 2.15. 1991-2014 yıllarını kapsayan Ap jeomanyetik aktivite indeksi verileri. Noktalı çizgi ham Ap, düz çizgi düzeltilmiş Ap değerlerini ve yatay çizgi de eğilim çizgisini ifade etmektedir¹¹.

Disturbances Storm Time (Dst) İndeks: Dst indeks, küresel simetrik olarak, her iki yarım kürede de ekvator civarında bulunan yer gözlemcileri tarafından ölçülen saatlik jeomanyetik aktivitenin yatay bileşenindeki tedirginliklerdir ve bu indeks 1957'den bu yana saatlik olarak yayınlanmaktadır. Şekil 2.16.'da gösterilen Dst indeks, özellikle büyük manyetik fırtınalar esnasında, ekvatorial halka akımlarının manyetik alanın yatay (H) bileşeninde yarattığı tedirginlikler hakkında bilgi vermektedir.

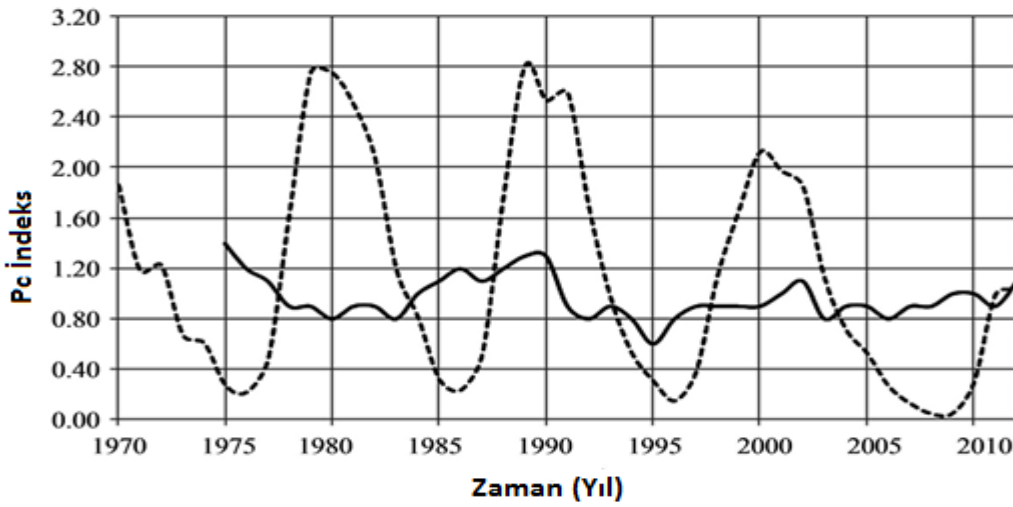


Şekil 2.16. 8-30 Kasım 2003 günlerini kapsayan Dst jeomanyetik aktivite indeksi verilerini içermektedir¹².

¹¹ <http://www.swpc.noaa.gov>

¹² <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir>

Polar Cap (Pc) İndeks: Kutup başlık indeksi, (Troshichev ve ark.1979) iyonosfer ve hizalanmış alan akımları nedeniyle kutup başlıklarındaki jeomanyetik tedirginliklerin ölçümleri ile elde edilmiştir. Her iki yarım küre için, her bir istasyondan ayrı ayrı hesaplanır (Thule ve Vostok). Şekil 2.17.'de gösterilen Pc indeks, manyetosferin alan çizgilerinden kaynaklanan konveksiyonun iyonosfer ile ilişkisini ölçmek için tasarlanmıştır. Bu indeks Dünya'nın manyetosferin içerisine giren güneş rüzgarı enerji akışını ölçmektedir. Bu indeksin, kutup başlıklarını ölçmek için kullanılan alçak irtifa uyduları ile uyum gösterdiği de bilinmektedir.



Şekil 2.17. Pc indeksin 1970-2010 yılları arasındaki zamansal değişimi [Kaynak: Zerbo, J-L., 2013]

2.1.12. Koronal kütle atımları (CMEs)

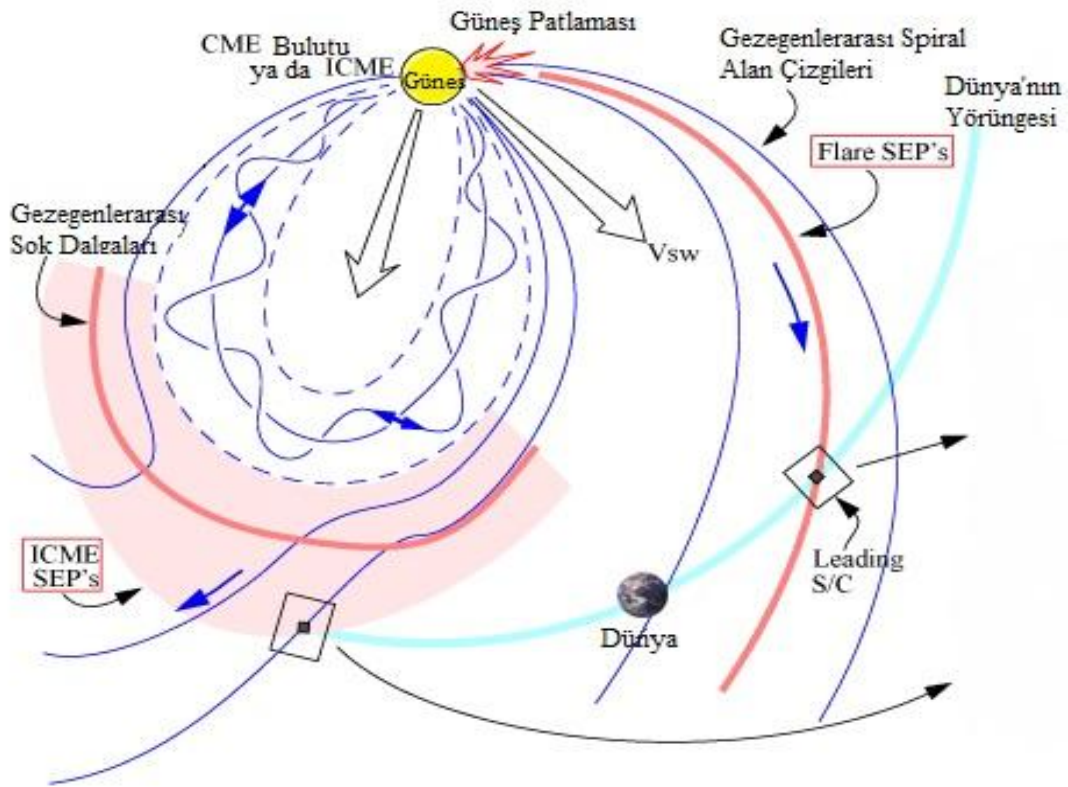
Koronal kütle atımı (CME), Güneş yüzeyinden uzaya büyük miktarlarda madde ve elektromanyetik radyasyonun serbest bırakılmasıdır. Güneş patlamaları çok hızlı olsa da, koronal kütle atımları nispeten daha yavaştır. Koronal kütle atımları, koronal manyetik alandaki büyük tedirginlikler ve bozulmalar ile ilişkilidir (Şekil 2.18.). Genellikle, beyaz ışıpta koronograflarla gözlenirler. Saatlerce sürebilen koronal kütle atımları ile büyük bir balon görünümündeki güneş maddesi, manyetik alan çizgilerini yenerek uzaya fırlatılmaktadır. Püskürtülen güneş maddesi çok sayıda elektron ve proton içeren bir plazmadır. Koronal kütle atımları güneş rüzgarının akışını bozar, hatta Dünya'ya kadar ulaşabilen ve felaketlere yol açan sonuçlar doğurabilir.

Koronal kütle atımları, teknolojinin gelişmesi ile birlikte 1971 ve 1973 yılları arasında Yörüngesel Güneş Gözlemevi (OSO 7) üzerindeki koronograflarla yapılan gözlemlerle ilk kez kanıtlanmıştır¹³. Koronograflar, Güneş görüntüsü üzerine konulan yapay bir diskten oluşur ve bu şekilde sürekli olarak yapay tutulmalar üretilir. Böylelikle, doğal güneş tutulması esnasında, kısıtlı zamanda yapılan gözlemler ile koronadaki yapısal

¹³ <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/oso7/oso7.html>

değişiklerin tam olarak anlaşılabilmesi problemi ortadan kaldırılır. Yer bazlı koronograflarda gökyüzünün parlaklığı nedeniyle sadece koronanın en alt katmanı kısıtlı olarak gözlenebilmekteydi. Artık uzayda bulunan koronograflarla Güneş'ten daha da uzak mesafedeki korona sürekli olarak gözlenebilmektedir. Güneş ve Heliosferik Gözlemevi (SOHO) üzerindeki, Büyük Açılı ve Spektrometrik Koronagraf (LASCO) ile çok sayıda koronal kütle atımı ayrıntılı olarak gözlenmekte ve araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalar sonucunda koronal kütle atımları Güneş'ten çıkış açılarına bağlı olarak farklı şekillerde sınıflandırılmıştır.

Koronal kütle atımları, 1996-2003 yılları arasındaki SOHO/LASCO ölçümlerine dayanılarak hızları 20 ila 3.200 km/s arasında değişmekte, ortalama hızları ise 489 km/s olarak bilinmektedir. Bu hızlar, Güneş'ten, Dünya'nın yörüngesinin ortalama yarıçapı, yaklaşık 13 saat ila 86 gün (en uç nokta) arasındaki geçiş sürelerine karşılık gelmektedir ve ortalama olarak yaklaşık 3.5 gündür. Atılan ortalama kütle ise 1.6×10^{12} kg'dır.



Şekil 2.18. Koronal kütle atımı (CME) yapısı ¹⁴

2.1.13. Güneş aktivitesinin dünya ve yakın uzay çevresine etkileri

Yakın uzay çevremizi etkileyen en önemli olaylardan biri de güneşte meydana gelen olayların en şiddetlilerinden CME'lerdir. Dünya-Güneş ilişkisi araştırmalarında Güneş patlamalarının da en az CME'ler kadar etkili olduğu görülmektedir.

¹⁴ <http://www.transterrestrial.com>

Elektrik ve elektronikteki gelişmelere paralel olarak teknolojiye gelişmeler dikkate alındığında güneşte gözlenen bu olayların dünya ve yakın uzay çevresine etkilerinin anlaşılması daha da büyük önem kazanmaktadır. Güneşin dünya ve yakın uzay çevresine jeomanyetik fırtınalar, haberleşmelerde kesintiler, uydu sistemlerinin zarar görmesi ve iklim değişimi gibi başlıca etkileri bilinmektedir. Dolayısıyla güneş aktivitesinin daha iyi anlaşılması güneşte meydana gelen aktif olaylardan doğabilecek sorunların çözülebilmesi veya önlemlerin alınabilmesi açısından ciddi önem taşımaktadır. |

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler

Çalışma için gerekli olan güneş leke grubu, leke sayıları (SSNs), leke alanları (SSAs), 10.7 cm güneş radyo akısı (F10.7), X-ışın güneş patlamaları, CME verileri ve dünyanın manyetik alanındaki değişimleri gösteren jeomanyetik indeks verileri internet ortamında mevcut olup kolaylıkla indirilebilmektedirler.

Çalışmayı genel olarak iki bölümde incelersek, ilk bölümde güneş aktivite göstergesi olarak Güneş leke grubu ve Güneş patlaması verilerinin kullanılabilirliğini test etmek amacıyla 1996-2014 yıllarını (23. Güneş çevrimi ile 24. Güneş çevriminin çıkış kolu ve maksimumu) kapsayan ve National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA) numaraları, SSNs, SSAs ve Güneş patlamalarını içeren veriler kullanılarak, verilerin birbirleri ile nasıl bir uyum gösterdiği araştırılmıştır. İkinci bölümde ise bu verilerin jeomanyetik (Ap, Dst, aa, Kp ve Pc) indisler ile karşılaştırılması yapılmıştır.

3.1.1. Güneş leke grubu verileri

Güneş Leke Sayıları (SSNs), Güneş Leke Alanları (SSAs) ve Flare (Güneş Patlamaları) Verileri: Çalışmada kullanılan temel veri seti olan Güneş leke gruplarına ait veriler <https://solarmonitor.org> internet adresinden indirilmiştir. Bunlar, güneş leke sayıları, güneş leke alanları, NOAA numaraları, helyografik enlem ve boylamları, lekelerin Zürih ve Manyetik sınıfları ve ilgili güneş leke gruplarının ürettikleri X-ışın güneş patlamalarını günlük olarak içeren verilerdir. Bu veriler aşağıda basitçe anlatılmaktadır.

Çalışmada kullanılan 1996-2014 yıllarına ait günlük güneş leke sayıları, günlük güneş leke alanları ve günlük güneş patlamaları ile üretildikleri güneş lekelerinin, NOAA numaraları ve tarihleri göz önünde bulundurularak aynı güne ait veriler sınıflandırılmıştır. Veriler günlük C, M ve X sınıfı güneş patlamalarını içermekte olup, Python programlama dilinde yazılan kodlar kullanılarak her bir güne ait güneş patlama sayıları elde edilmiştir. Ayrıca her bir patlama sınıfına ait enerjiler hesaplanmıştır. Daha sonra da diğer veriler ile kullanıma uygun hale getirilerek aylık veri şekline dönüştürülmüş ve aylık verilere de on iki adımda yürüyen ortalama uygulanarak, yıllık veri şekline dönüştürülüp çalışmada kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan güneş patlamaları; Çizelge 2.7.' de verilen sınıflandırmaya göre belirlenmektedir. GOES uydusuna ait X-ışın güneş patlamalarının zamansal değişimi de Şekil 2.14.' de verilmektedir.

3.1.2. Jeomanyetik indeks verileri

Ap, Dst, Pc (Polar Cap), aa ve Kp İndeks Verileri: Çalışmada kullanılan 1996-2014 yıllarına ait günlük Ap jeomanyetik indeks verisi <https://www.ngdc.noaa.gov> internet adresinden, Dst jeomanyetik indeks verisi Kyoto Üniversitesi, Dünya Jeomanyetizma Veri Merkezine ait <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/> internet adresinden, son olarak da aa, Kp ve Pc indeks verileri Birleşik Krallıklar Güneş Sistemi Veri

Merkezi (UKSSDC)'ne ait <http://www.ukssdc.ac.uk> internet adresinden alınmıştır. Tarihler göz önünde bulundurularak aylık ortalama veriler şekline dönüştürülmüştür. Aylık verilere, diğer verilerle birlikte kullanılmak amacı ile on iki adımda yürüyen ortalama uygulanmıştır.

3.1.3. Koronal kütle atımları (CMEs) verileri

Çalışmada kullanılan 1996-2014 yıllarına ait günlük koronal kütle atımlarına ait kinetik enerji, ivme ve kütle verileri Solar Influences Data Analysis Center (SIDC)'a ait Computer Aided CME Tracking (CACTUS) <http://sidc.oma.be/cactus/> internet adresinden alınmış olup, tarihler göz önünde bulundurularak aylık veriler şekline dönüştürülmüştür. Aylık verilere, diğer verilerle birlikte kullanılmak amacı ile on iki adımda yürüyen ortalama uygulanmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Yukarıda belirtildiği gibi ilk olarak internet ortamından indirilen tüm ham güneş verileri leke gruplarına göre sınıflandırılmıştır. Daha sonrasında ise, aylık veriler Pearson korelasyon analiz yöntemi kullanılarak diğer güneş aktivite göstergeleri (SSNs, SSAs, vb.) ile karşılaştırılmıştır. Bu yöntem iki veri seti arasında istatistiksel olarak bir ilişki olup olmadığını, ilişkinin yönünü ve derecesini belirler.

Yöntem:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3.1.)$$

denklemleri ile verilir. Denklem 3.1'deki r korelasyon katsayısını, x ve y karşılaştırılacak veri setlerini ve \bar{x} ve \bar{y} bu verilerin ortalama değerlerini göstermektedir. Böylece, öncelikli olarak her bir gruba ait verilerin diğer güneş aktivite göstergeleriyle ne derece uyumlu davranış sergilediği ortaya konulabilir.

Her bir güneş leke grubunun güneş patlaması üretme potansiyelini analiz etmek amacıyla <http://www.solarmonitor.org> web adresinden 1996-2014 yıllarını kapsayan güneş leke verileri alınmıştır. Alınan bu ham veriler toplam 31043 güneş leke grubu verisinden oluşmakta ve bu veriler NOAA numaraları, güneş leke grubu alanları (SSAs), güneş leke sayıları (SSNs), Modifiye edilmiş Zürih leke sınıfları, X-ışın patlamaları vb. bilgilerini içermektedir.

Verilerin analize hazırlanması ve güneş patlaması içeren aktif bölgelerin seçilmesi sonucunda 4260 NOAA aktif bölge için toplam 12335 güneş patlaması verisi incelenmiştir. Sonraki adım olarak her bir patlama (sadece C, M ve X sınıfına ait güneş patlamaları) X-ışın sınıflamasına göre ayrılmıştır.

Bu çalışmanın en önemli bölümü olan güneş leke gruplarının güneş patlaması üretme potansiyelini elde etmek için, veriler her bir güneş leke grubuna (A, B, C, D, E,

F ve H grupları) göre ayrılmıştır. Her bir güneş leke grubuna ait patlama üretme potansiyeli;

$$\text{Flare Üretme Potansiyeli} = \frac{\text{Herhangi bir leke grubunda üretilen toplam güneş patlaması sayısı}}{\text{İlgili gruptaki toplam leke sayısı}}$$

Bağıntısı kullanılarak her bir güneş leke grubu için hesaplanmıştır.

Flare üretme potansiyellerinin yanı sıra düzenlenen verilerden her bir güneş leke grubunun güneş patlaması üretme olasılığı da hesaplanmıştır. Bu hesaplama da;

$$\text{Güneş Patlaması Üretme Olasılığı} = \frac{\text{Herhangi bir güneş leke grubunda üretilen toplam güneş patlaması sayısı}}{\text{Tüm gruptaki güneş lekeleri sayısı}}$$

Elde edilen diğer bir parametre de flare üretme oranlarıdır. Flare üretme oranları, toplam güneş patlaması sayısının, güneş leke gruplarına göre nasıl dağılım gösterdiğini açıklamak için kullanılan bir parametredir. Bu da aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Flare Üretme Oranı} = \frac{\text{Herhangi bir leke grubunda üretilen toplam güneş patlaması sayısı}}{\text{Bütün leke gruplarının ürettiği toplam güneş patlama sayısı}}$$

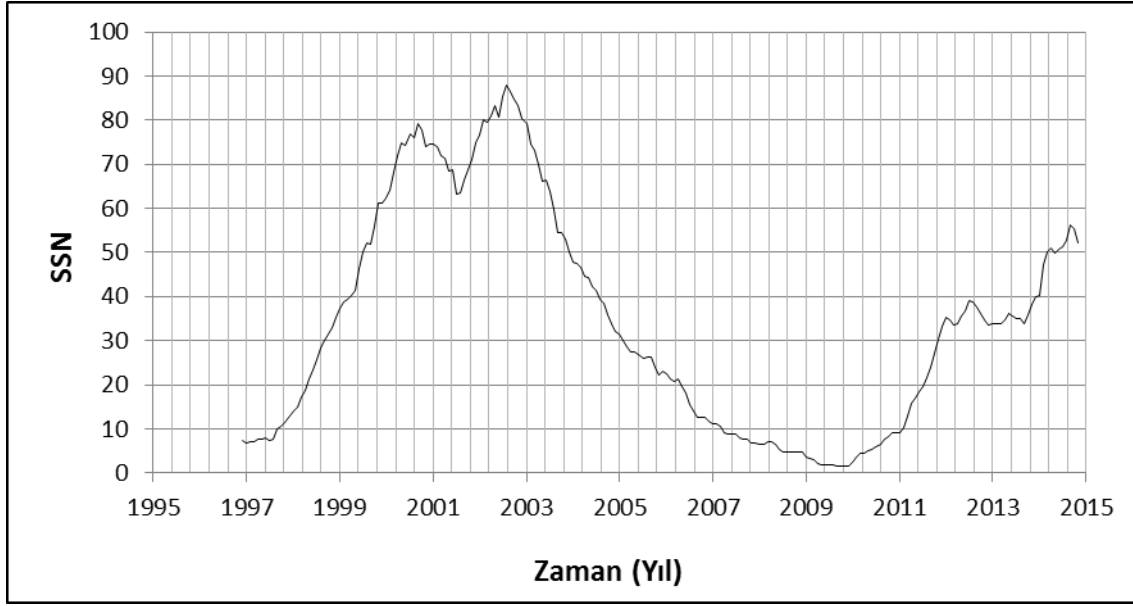
Aynı verilerden elde ettiğimiz son parametre ise her bir leke grubuna ait ortalama alanlardır. Bu alan değerlerinin elde edilme yöntemi de aşağıdadır.

$$\text{Ortalama Leke Grubu Alanları} = \frac{\text{Herhangi bir güneş leke grubuna ait güneş lekelerinin toplam alanı}}{\text{İlgili gruba ait güneş lekeleri sayısı}}$$

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. SSN, SSA ve Leke Gruplarının İncelenmesi

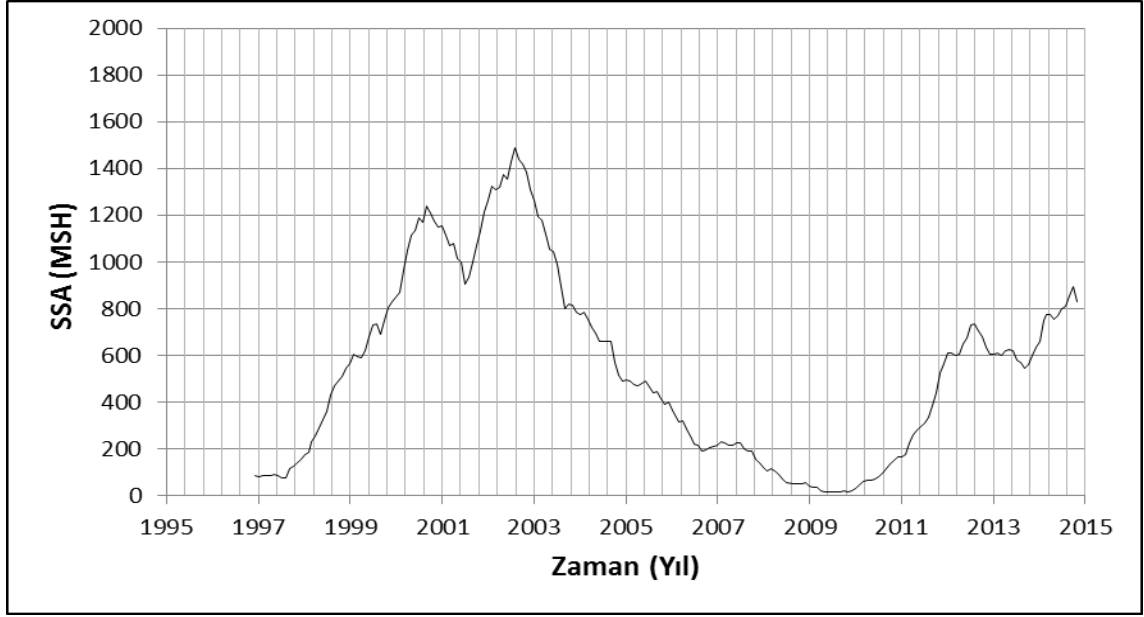
SSN ve SSA verileri bu çalışmada kullanabilmek amacıyla, önce günlük ortalama, daha sonra da aylık ortalama şekline dönüştürülmüş, güneş aktivite göstergesi olarak incelemek amacıyla da bu verilere Pearson korelasyonu ve on iki adımda yürüyen ortalama uygulanmıştır. Aylık ortalama SSN verileri diğer veriler ile karşılaştırma yapabileceğimiz Şekil 4.1.1 ve SSA verileri ise Şekil 4.1.2'deki hale getirilmiştir.



Şekil 4.1. Güneş leke sayılarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi

Şekil 4.1.' de görülen leke sayıları 23. güneş çevriminin tamamı ve 24. güneş çevriminin çıkış kolu ve maksimumlarını içermekte ve literatürdeki ISSN ile uyumlu olduğu açıkça görülmektedir. Ayrıca her iki güneş çevrimine ait çift maksimumlar da belirgin bir şekilde fark edilmektedir.

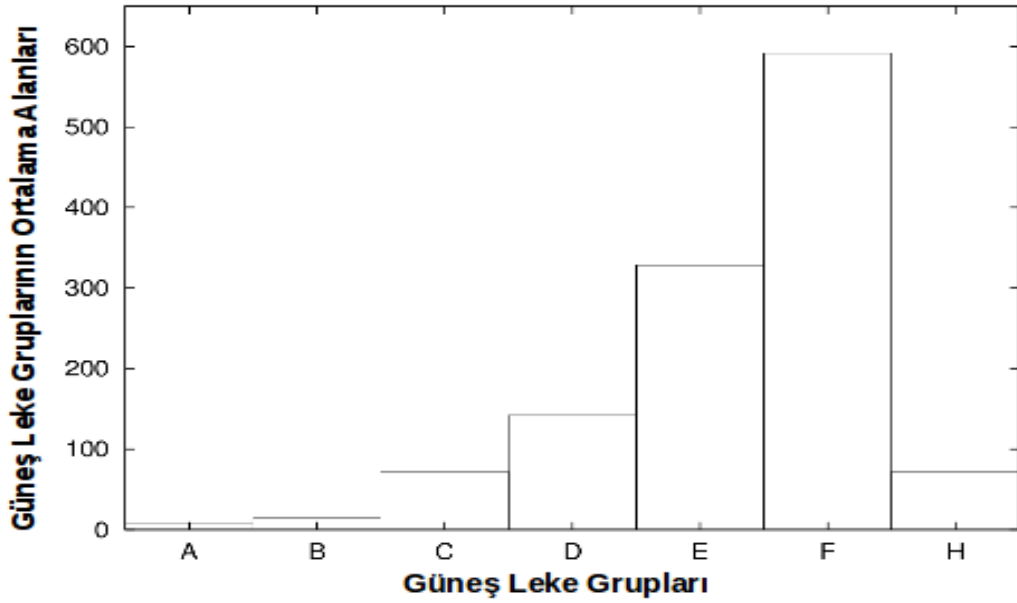
İncelenen tüm güneş leke grubu verileri için, A grubu güneş lekelerinin sayısı 3083, B grubu 3731, C grubu 6545, D grubu 7283, E grubu 2975, F grubu 1011 ve H grubu da 6311 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar göstermektedir ki, incelenen zaman aralığında en fazla D grubu leke gözlenirken, en az F grubu leke gözlenmiştir.



Şekil 4.2. Güneş leke alanlarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi

Şekil 4.2.'de SSA verilerinin de 23. güneş çevrimi ve 24. güneş çevrimi için SSN'ye benzer profil sergilediği görülmekte ve alanların da leke sayıları gibi çift tepeye sahip maksimumları fark edilmektedir.

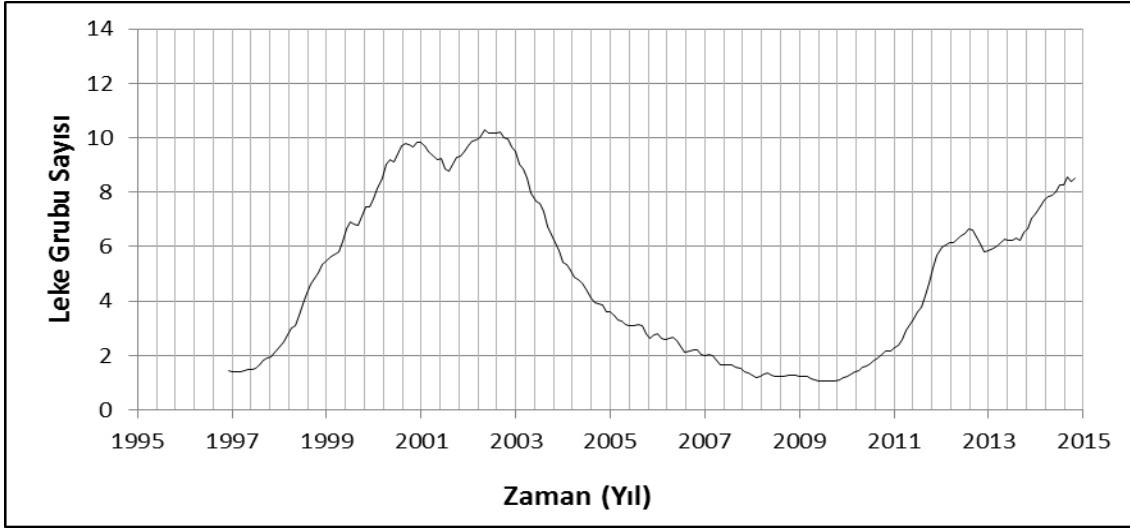
Öte yandan SSA'nın elde edilen toplam leke alan profilinin yanı sıra, her bir güneş leke grubu için de ayrı ayrı ortalama alanlar hesaplanarak, Şekil 4.3.'te görselleştirilmiştir.



Şekil 4.3. 1996-2014 yıllarını kapsayan Zürih güneş leke gruplarının ortalama leke alanlarına göre dağılımı [Kaynak: Eren ve ark. 2017a]

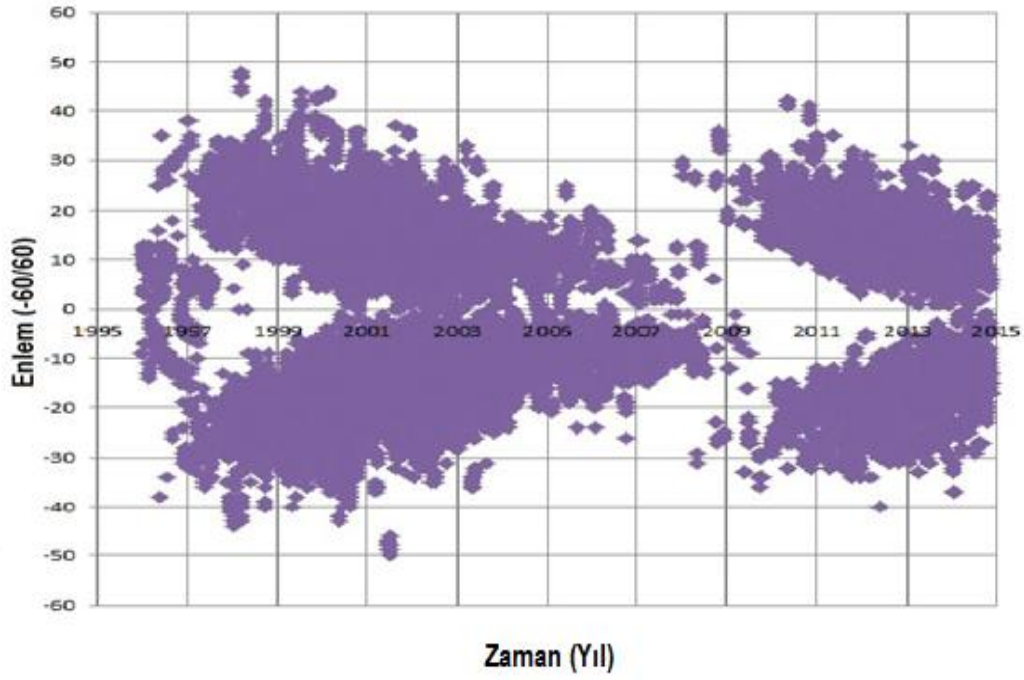
Şekil 4.3'te görülen her bir Zürih güneş leke sınıfına ait ortalama alan dağılımlarından, beklenildiği gibi F grubunun en büyük leke alanına sahip olduğu ve A grubunun da en küçük alana sahip olduğu görülmektedir.

4.2. Güneş Leke Grubu Sayıları ve Leke Gözlem Sayılarının İncelenmesi



Şekil 4.4. Güneş leke grubu sayılarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi

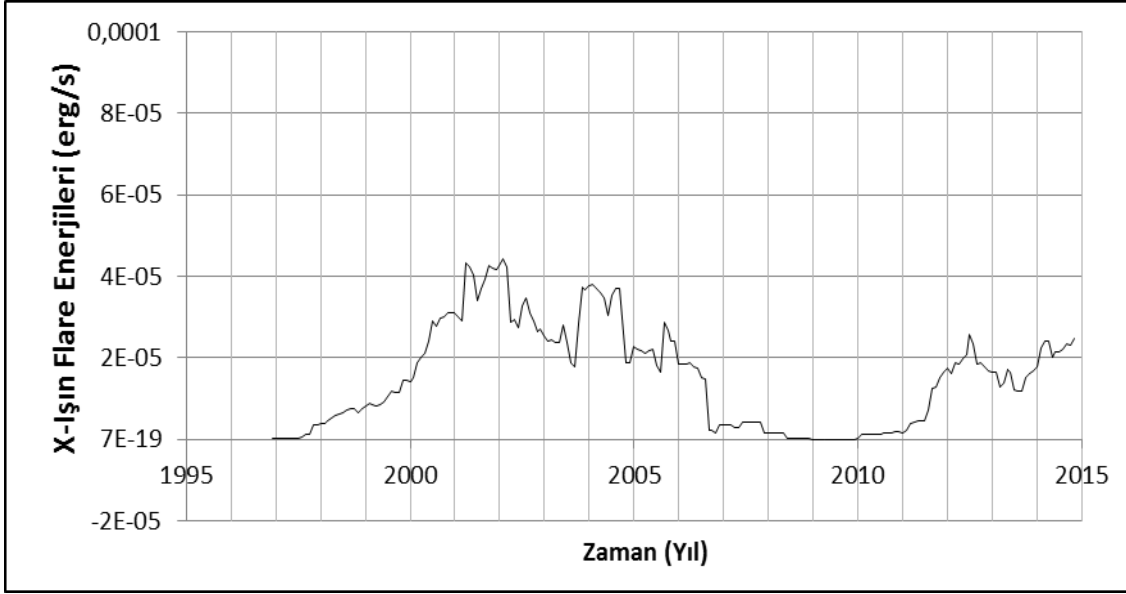
Leke grubu sayıları da beklenildiği gibi SSN ile benzer profil sergilemektedir ve her iki güneş çevriminde de maksimum noktaları ve bu maksimum noktalarının çift tepeye sahip olduğu Şekil 4.4.'te açıkça görülmektedir.



Şekil 4.5. Güneş leke gruplarının 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki kelebek diyagramı

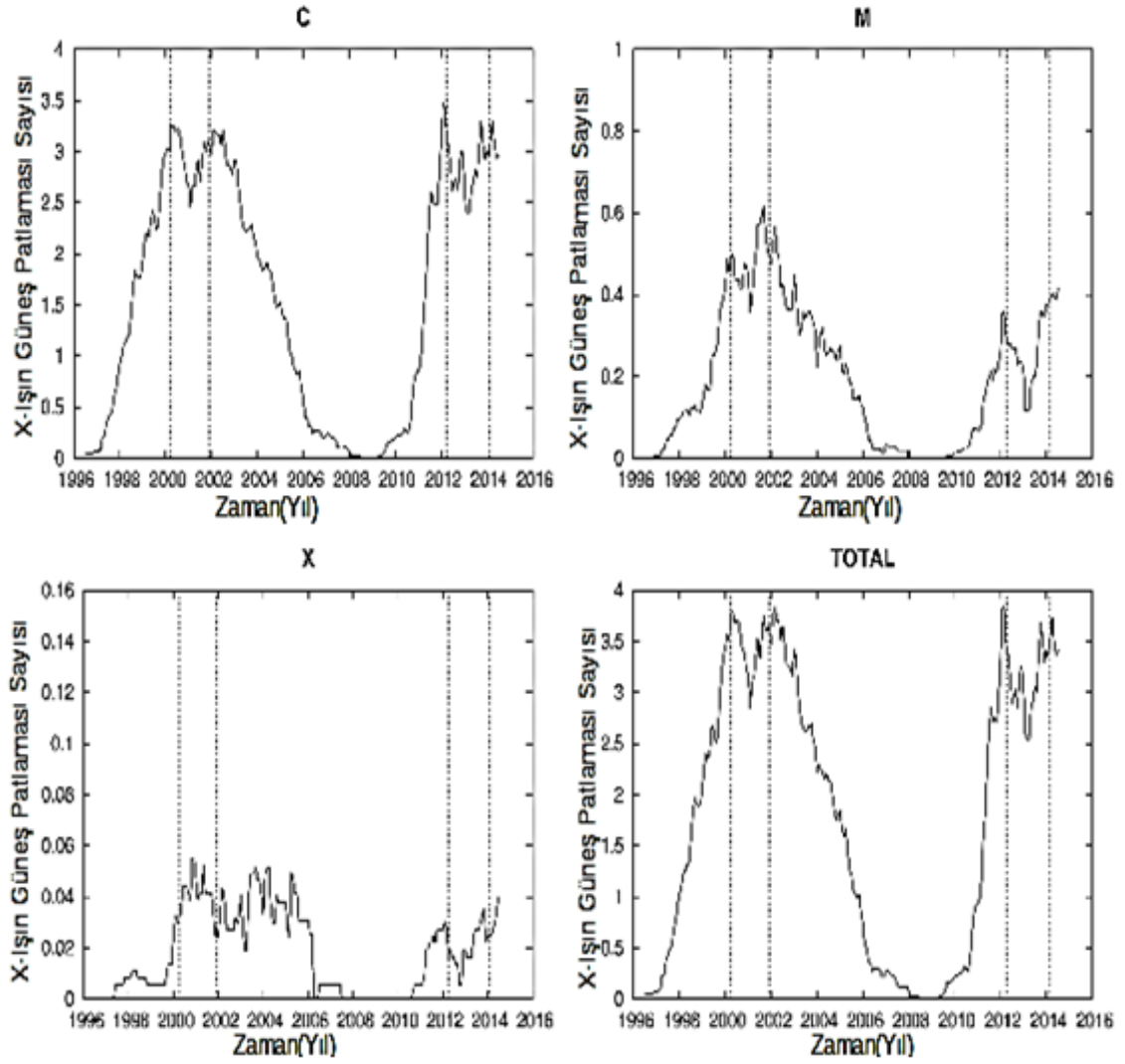
Şekil 4.5. çalışmada kullanılan veri setlerinden güneş lekelerinin, güneş diski üzerindeki enlemsel dağılımlarını göstermektedir. 23. ve 24. Güneş çevrimlerini içeren verilerde güneş lekelerin genellikle +40/-40 güneş enlemleri arasında simetrik bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

4.3. X-ışın Güneş Patlamalarının İncelenmesi



Şekil 4.6. Güneş leke gruplarında üretilen X-ışın güneş patlamaları (C+M+X sınıfı) enerjilerinin 1996-2014 yıllarını kapsayan zaman aralığındaki değişimi.

Şekil 4.6.'da 23. ve 24. Güneş çevriminin çıkış koluna ait C, M ve X sınıfına ait X-ışın güneş patlamalarının toplam enerjileri görülmektedir.



Şekil 4.7. Günlük toplam güneş patlaması sayısının aylık ortalamasının farklı güneş patlama sınıflarına ait (C, M, X ve C+M+X) zamansal değişimi. Bütün verilerin 12 adımda yürüyen ortalaması alınmıştır. Düşey kesikli çizgiler Uluslararası Güneş Leke Sayısının (ISSN) sırasıyla 1. ve 2. maksimumlarıdır. [Kaynak: Eren ve ark. 2017a]

Şekil 4.7.'de 23. Güneş Çevriminin tamamı ve 24. Güneş çevriminin çıkış kolu ve maksimumlarını içeren zaman aralığında, farklı X-ışın sınıflarına ait güneş patlamalarının zamansal değişimleri görülmektedir. Burada ilk fark edilen, bütün güneş patlaması sınıflarının, tıpkı SSN gibi iki adet maksimuma sahip olduğudur.

23. Güneş Çevrimi için, her bir X-ışın güneş patlamasının maksimumları şu şekildedir:

- C sınıfı güneş patlamalarının ilk maksimumu 2000.3, ikinci maksimum ise 2002.5 yıllarında gözlenmiştir ve her iki maksimumun da şiddeti neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

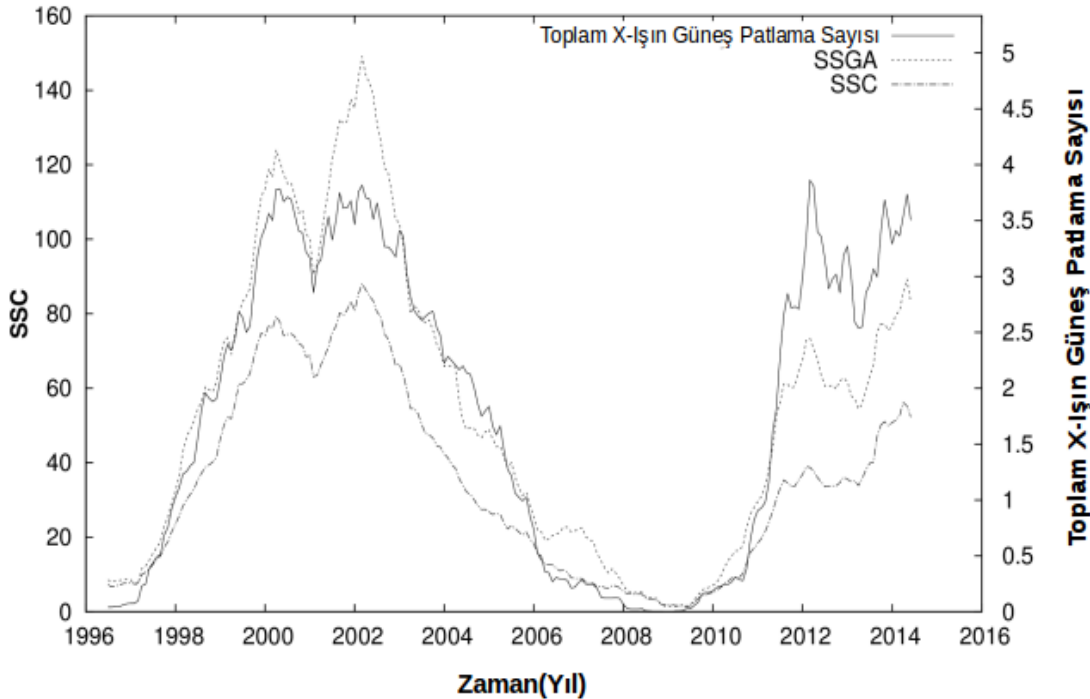
- M sınıfı güneş patlamalarının ilk maksimumu tıpkı C sınıfı güneş patlamaları gibi 2000.3, ikinci maksimumu ise 2001.7 yıllarında gözlenmiştir ve ikinci maksimumun ilk maksimumdan daha şiddetli olduğu görülmektedir.
- X sınıfı güneş patlamalarının ilk maksimumu 2000.9, ikinci maksimumu ise 2003.7 yıllarında gözlenmiştir ve her iki maksimumunda şiddetleri yaklaşık aynı düzeydedir.

24. Güneş Çevrimi için, her bir X-ışın güneş patlamasının maksimumları şu şekildedir:

- C, M ve X sınıfı güneş patlamalarının benzer davranış gösterdiği ve maksimumlarının neredeyse birbirleri ile aynı zamanda (2012.1-2014.3) gözlenmiştir. Güneş patlamalarının her iki maksimumlarının şiddetlerinin kendi sınıfları arasında neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

Ayrıca 24. Güneş Çevrimindeki M ve X sınıfı güneş patlamaları, 23. Güneş Çevrimi ile kıyaslandığında ortalama patlama sayılarında ciddi bir azalma gözlenirken, C sınıfı güneş patlamalarında dikkate değer bir azalma görülmemektedir.

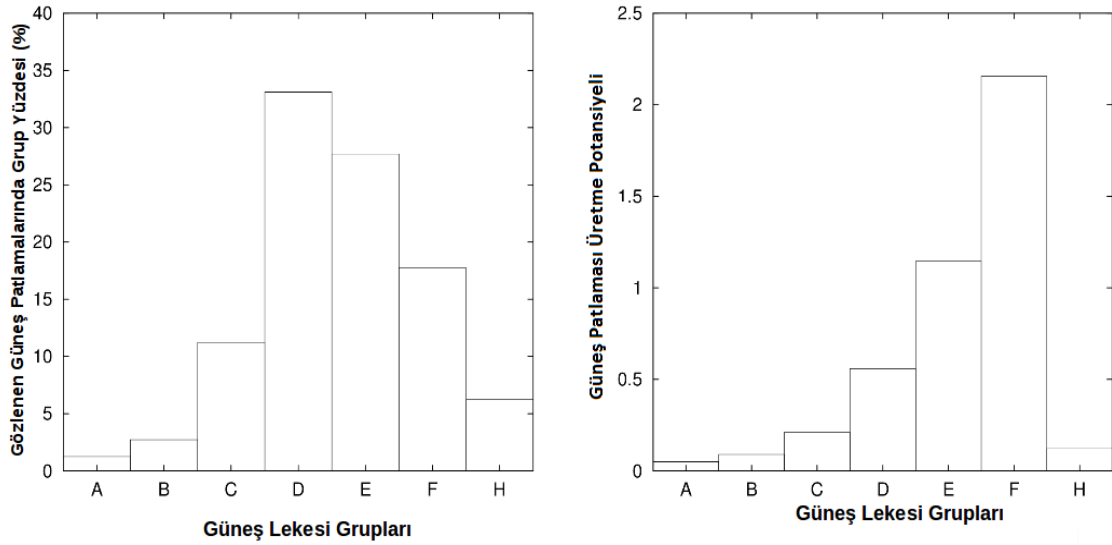
Buna ek olarak incelenen dönem boyunca her bir Zürih sınıfında üretilen toplam güneş patlaması sayısı da; A grubu lekelerde 154, B grubu 335, C grubu 1381, D grubu 4069, E grubu 3405, F grubu 2179 ve H grubunda da 767 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.8. Günlük toplam güneş leke sayıları (SSCs), güneş leke grubu alanları (SSGAs) ve X-ışın güneş patlaması sayısının aylık ortalamasının zamansal değişimi. Bütün verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve SSGA verileri

aynı ekseninde ifade edebilmek için 100' e bölünmüştür. [Kaynak: Eren ve ark. 2017a]

Günlük toplam X-ışın Güneş patlama sayısı diğer güneş aktivite göstergeleri ile karşılaştırıldığında SSN, SSA ve X-ışın güneş patlamalarının 23. ve 24. Güneş çevrimlerinde birbirleri ile benzer davranışlar sergilediği görülmektedir (Şekil 4.8.). Her bir çevrim için üç ayrı verinin de ISSN gibi çift maksimuma sahip olduğu görülmektedir. X-ışın güneş patlamalarının özellikle 23. Güneş çevriminin iniş kolunda bazı düzensizlikler sergilediği ve aynı düzensizlikler SSA'da da görülmektedir.



Şekil 4.9. Her bir Zürich sınıfı güneş lekesinde gözlenen güneş patlamalarının yüzdelik dağılımı (solda), Zürich sınıfı güneş leke gruplarının güneş patlaması üretme potansiyelleri (sağda). [Kaynak: Eren ve ark. 2017a]

Şekil 4.9.'da Her bir Zürich sınıfı güneş lekesinde X-ışın güneş patlaması gözlenme oranları ve gözlenen her bir Zürich güneş leke grubunun güneş patlaması üretme potansiyeli gösterilmektedir. Buna göre güneş patlamaları en çok D Grubu güneş lekelerinde, en az ise A grubu güneş lekelerinde meydana gelmektedir ve oranlarına bakıldığında da, güneş patlamalarının %33'ü D grubu güneş lekelerinde meydana gelirken, A grubu güneş lekelerinde bu oran yalnızca %1'dir. Öte yandan; F grubu güneş lekelerinin güneş patlaması üretme potansiyeli en fazlayken (2.16 güneş patlaması/güneş leke grubu), A gruplarının güneş patlaması üretme potansiyeli en azdır (0.05 güneş patlaması/güneş leke grubu). Bununla birlikte şekil incelendiğinde Güneş leke grupları ile Güneş patlaması üretme potansiyelleri arasında üstel bir dağılım olduğunu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.1' de sunulmaktadır.

Farklı güneş leke gruplarının flare üretme potansiyelleri:

A grubu için 0.05, B grubu için 0.09, C grubu için 0.21, D grubu için 0.56, E grubu için 1.15, F grubu için 2.18, ve H grubu için 0.12 olarak bulunmuştur.

Her bir leke grubunun güneş patlaması üretme olasılıkları:

A grubu bir leke görüldüğünde 0.005, B grubu 0.011, C grubu 0.045, D grubu 0.131, E grubu 0.11, F grubu 0.071, ve H grubu 0.025 patlama olarak elde edilmiştir.

Her bir leke grubunun güneş patlaması üretme oranı:

A grubu lekeler için 0.013, B grubu için 0.027, C grubu için 0.112, D grubu için 0.330, E grubu için 0.277, F grubu için 0.179, H grubu için 0.062'dir.

Güneş leke gruplarının ortalama alanları (Güneş yüzey alanının milyonda biri olarak, MSH):

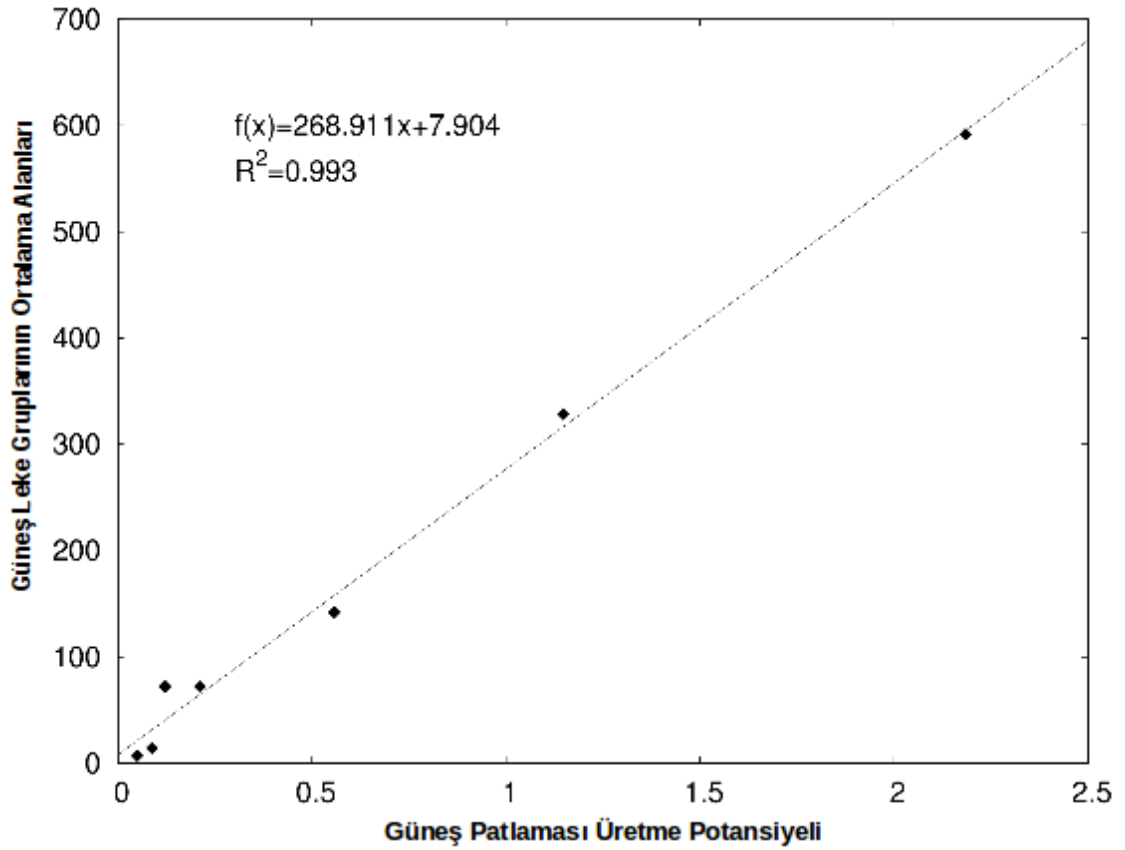
A grubu lekelerde 7.035, B grubu lekelerde 14.257, C grubu lekelerde 72.203, D grubu lekelerde 141.960, E grubu lekelerde 328.462, F grubu lekelerde 591.701 ve H grubu lekelerde 72.161 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Her bir Zürih sınıfı güneş leke grubunda gözlenen güneş patlaması sayıları ve her bir grubun güneş patlaması üretme potansiyeli

Güneş Leke Sayısı	Her Bir Sınıfa Ait Güneş Lekesinde Gözlenen Güneş Patlaması Sayısı(%)	Grup Başına Düşen Güneş Patlaması Potansiyeli
A	1.25	0.05
B	2.73	0.09
C	11.24	0.21
D	33.11	0.56
E	27.71	1.15
F	17.73	2.16
H	6.24	0.12

Şekil 4.9.'da görüldüğü üzere, maksimum leke alanına sahip olan grup F iken, minimum alana sahip olan leke grubunun A olduğu Çizelge 4.1.'de açıkça görülmektedir. Alanların dağılımına bakıldığında dikkat çeken diğer bir unsur da, Şekil 4.9'un sağ kısmındaki Güneş patlaması üretme potansiyelleri ile neredeyse aynı olduğu ve yine üstel bir dağılım sergilediği net bir şekilde görülmektedir.

Şekil 4.10.'da Güneş lekelerinin patlama üretme potansiyelleri ile güneş leke gruplarının ortalama alanları arasındaki ilişki incelenmiştir.



Şekil 4.10. Zürih güneş leke gruplarının ortalama alanları ile güneş patlaması üretim potansiyelleri arasındaki ilişki [Kaynak: Eren ve ark. 2017a]

Şekil 4.10.'da Zürih Güneş leke gruplarının ortalama alanları ile güneş patlaması üretim potansiyelleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu açıkça görülmektedir. Elde edilen ilişkinin güvenilirliğini araştırmak için Student t testi kullanılmıştır ($r = 0.996$, $t = 24.92$, $df = 5$, $p > 0.001$). Leke alanlarındaki artış ile leke gruplarının güneş patlaması üretim potansiyelleri de artmaktadır. Bu sonuç daha önce literatürde bulunmamaktadır ve bu tez çalışması ile ilk kez ortaya konulmuştur (Eren ve ark. 2017a).

Flare üretim oranı ve güneş leke sayısı/alanı arasındaki ilişki literatürde daha önce birçok kişi tarafından incelenmiştir (Lou 2000, Sammis ve ark. 2000, Zharkov ve Zharkova 2006; Lee ve ark. 2012 bunlara örnek olabilecek referanslardır). Bu çalışmalar daha çok kısa zaman aralıklarına ya da güneş lekeleri sınıflarının veya güneş patlaması sınıflarının sınırlı olarak seçilmesine dayanan çalışmalardır. Bu çalışmada ise, güneş leke gruplarının tüm sınıfları (A, B, C, D, E, F ve H) daha ayrıntılı olarak analiz edilip, flare üretim potansiyelleri ve her bir güneş leke grubu tarafından üretilen flare sayılarının yüzdeleri ayrı ayrı hesaplanmış, incelenen zaman aralığı boyunca güneş patlaması üretim potansiyelinin ve ortalama SSA'ların neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir.

Bu sonuç sadece önceki çalışmaları doğrulamakla kalmayıp, Zürih kompleksite parametresinin flare aktivitesinin veya leke grubu alanının tahmini için kullanılabilirliğini göstermektedir.

Güneş patlamalarının yüzde 80'i sadece üç güneş leke grubunda (D, E ve F sınıfları) üretilmiştir (bkz. Çizelge 4.3.1.). Daha önce yapılan çalışmalarda, Kılçık ve ark. (2011b) ISSN ve küçük ve basit gruplardan (A, B, C ve H sınıfları) büyük ve kompleks grupların (D, E ve F sınıfları) güneş ve jeomanyetik aktivite ile daha iyi korelasyon gösterdiğini bulmuşlardır.

Her iki çalışma da, dünyayı etkileyen aktif güneş olaylarının çoğunun D, E ve F sınıfı aktif bölgelerden kaynaklandığını göstermektedir. Öte yandan, hem büyük aktif bölgelerin sayısının (Kilcik ve ark. 2011a), hem de M ve X sınıfı güneş patlamaları sayısının, içinde bulunduğumuz güneş çevrimi boyunca önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, M ve X sınıfı güneş patlamalarının çoğunlukla büyük ve kompleks aktif bölgelerde meydana geldiğini göstermektedir. Uzun ve kapsamlı zaman serilerine dayanarak yapılan bu çalışmada, büyük veya kompleks aktif bölgelerin tüm güneş patlamalarının yaklaşık %70'ini oluşturduğu sonucu elde edilmiştir. Nötral çizgilerde oluşan güçlü bir kırılmanın, flare üretmede önemli bir faktör olduğu bilinmektedir (Schrijver 2016). Güçlü güneş patlamalarının, genellikle uzun ve kavisli nötral çizgiler içeren büyük ve kompleks güneş leke gruplarında oluştuğu söylenebilir.

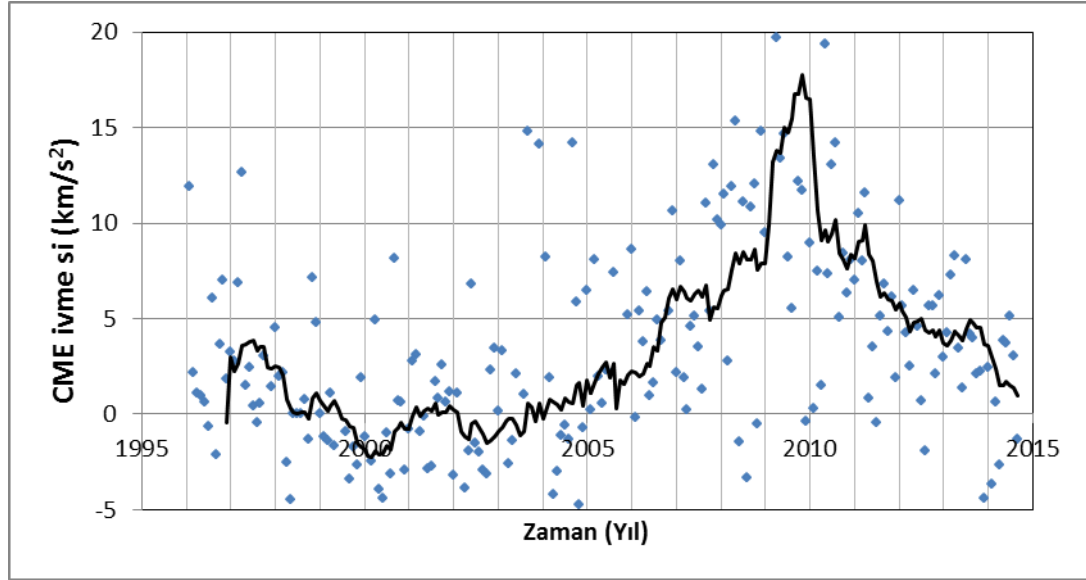
Hudson ve ark. (2014), son dört güneş çevrimi boyunca her bir aktif bölgenin güneş patlama verimliliğini analiz etmişlerdir. Yapılan çalışma, yalnızca en üretken aktif bölgelerin güneş patlaması verimliliğinin dağılımını içermektedir. Onlar bu çalışma sonucunda, manyetik kompleksitenin alanının daha önemli bir etken olup aktif bölge boyutunun güneş patlaması üretimi için özel bir önemi olmadığı sonucuna varmışlardır. Aulanier ve ark. (2013), en kompleks manyetik yapıların yoğunlaştığı bölgedeki bir aktif bölgenin alanının yaklaşık yüzde 30'unda güneş patlaması oluştuğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla aktif bölge boyutuyla, flare üretme potansiyeli arasındaki bağıntı aslında, alanın kompleksitesi ile flare üretme potansiyeli arasındaki ilişkiyi de yansıtmaktadır. Aulanier ve ark. (2013) ve Shibata ve ark. (2013), alanın kompleksitesi ile flare üretimi arasındaki bağlantı için teorik kanıtlar sunmaktadırlar. Shibata ve ark. (2013), toplam manyetik akısı 10^{23} Mx olan tipik büyüklükteki bir aktif bölgenin, güneşte üretilenlerle neredeyse aynı büyüklükte bir aktif bölge olduğunu ve yaklaşık 10^{34} erg'lik bir enerji ile bir süper patlama üretebileceğini savunurken, Aulanier ve ark. (2013), daha büyük aktif bölgelerin oluşma ihtimalinin güneşte de yüksek olmasına rağmen, ilişkili patlamaların, bu zamana kadar güneşte gözlenen en güçlü patlama olan 10^{32} erg'lik enerjiyi aşmasını beklememektedirler.

4.4. CME ve Jeomanyetik Aktivite İndekslerinin İncelenmesi

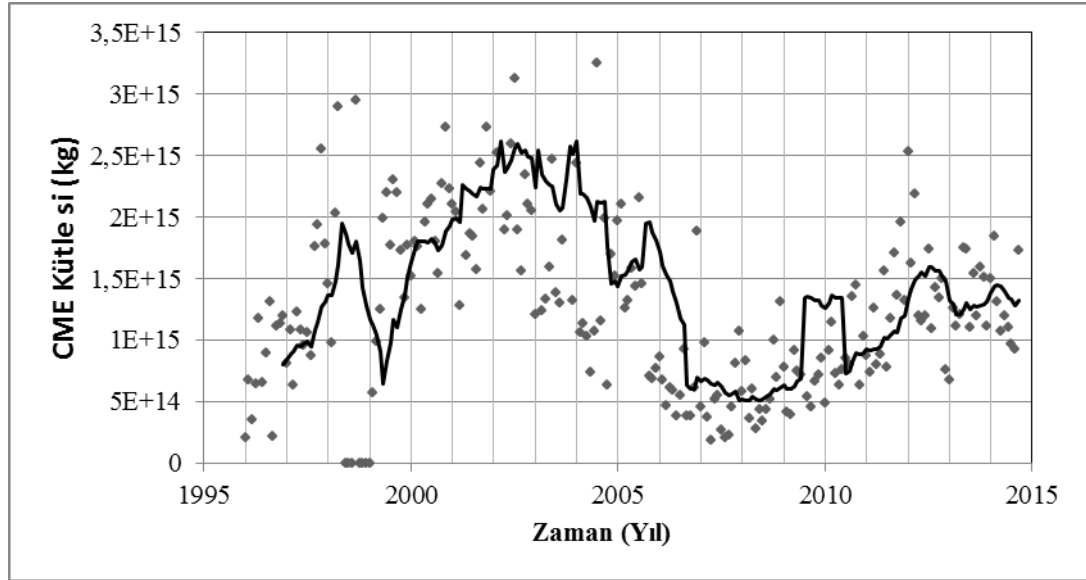
Güneş patlamaları, dolaylı olarak hızlandırılmış yüksek enerjili parçacıklarla, koronal kütle atımları (CMEs) ve jeomanyetik fırtınalarla ilişkilidir. Güneş patlamaları esnasında milyonlarca derecelere kadar ısıtılan, milyonlarca ton güneş maddesi, korona manyetik alanının direncini kırarak, gezegenler arası ortama kaçar (Şekil 4.12). Bir güneş patlaması esnasında salınan tipik enerji miktarı, flare türüne bağlı olarak 10^{27} ve 10^{32} erg (Şekil 4.13.) arasında değişebilir (Fletcher ve ark. 2011).

Flareler, parlaklıklarının maksimum seviyesine çok kısa sürede ulaşır ve sonra yavaş yavaş sönükleşirler. Güneş atmosferinin tüm dış katmanlarını (fotosfer, kromosfer ve korona) ve yakın uzay çevresini farklı şekillerde etkilemektedirler (petrol boru hatları

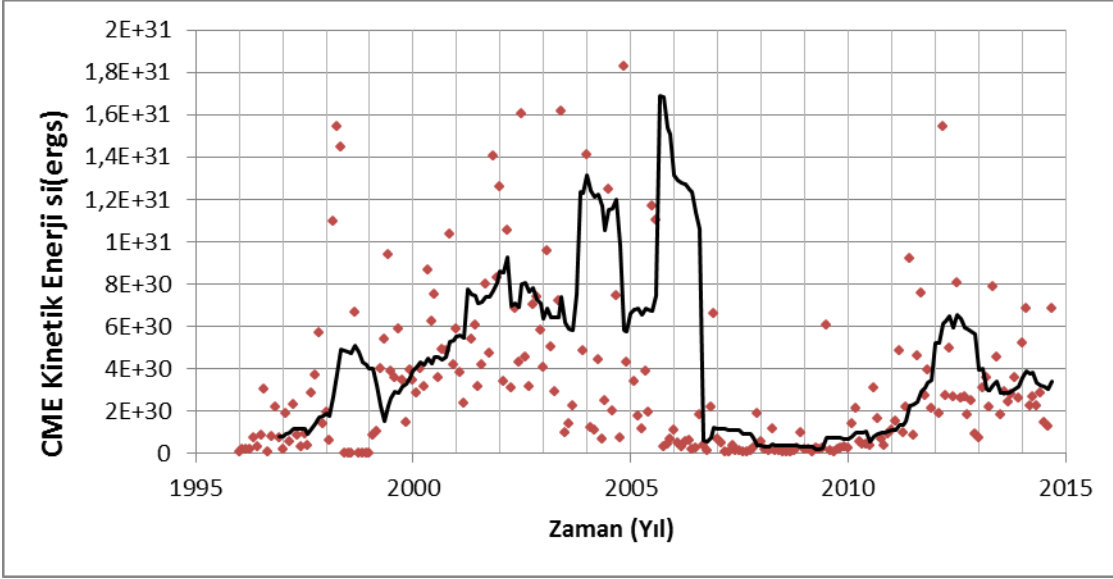
ve güç santrallerinde çökmeler, haberleşmenin kesilmesi vb.) ile Dünya atmosferini etkilemektedir. Bu olay esnasında elektronlar, protonlar ve ağır iyonlar ışık hızına yakın hızlara kadar ulaşabilir ve manyetik enerji elektromanyetik spektrumun tüm dalga boylarında salınır. Daha hızlı CME'lerin tipik olarak daha güçlü güneş patlamaları ile ilişkili olduğu bilinmektedir (Moon ve ark. 2002; Youssef 2013) (Şekil 4.11.). Eğer CME Dünya yönlü gerçekleşirse güçlü jeomanyetik fırtınalar üretebilir. Şekil 4.14.'te CME kinetik enerji ve flare enerjilerinin karşılaştırılması görülmektedir.



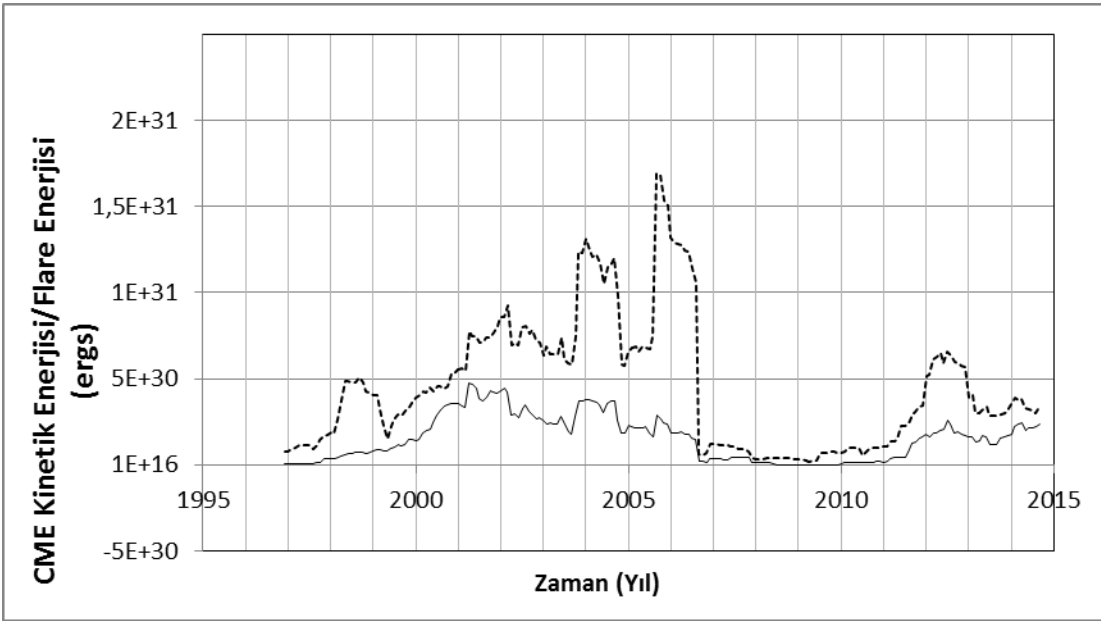
Şekil 4.11. CME ivmelerinin zamansal değişimi



Şekil 4.12. CME kütlelerinin zamansal değişimi

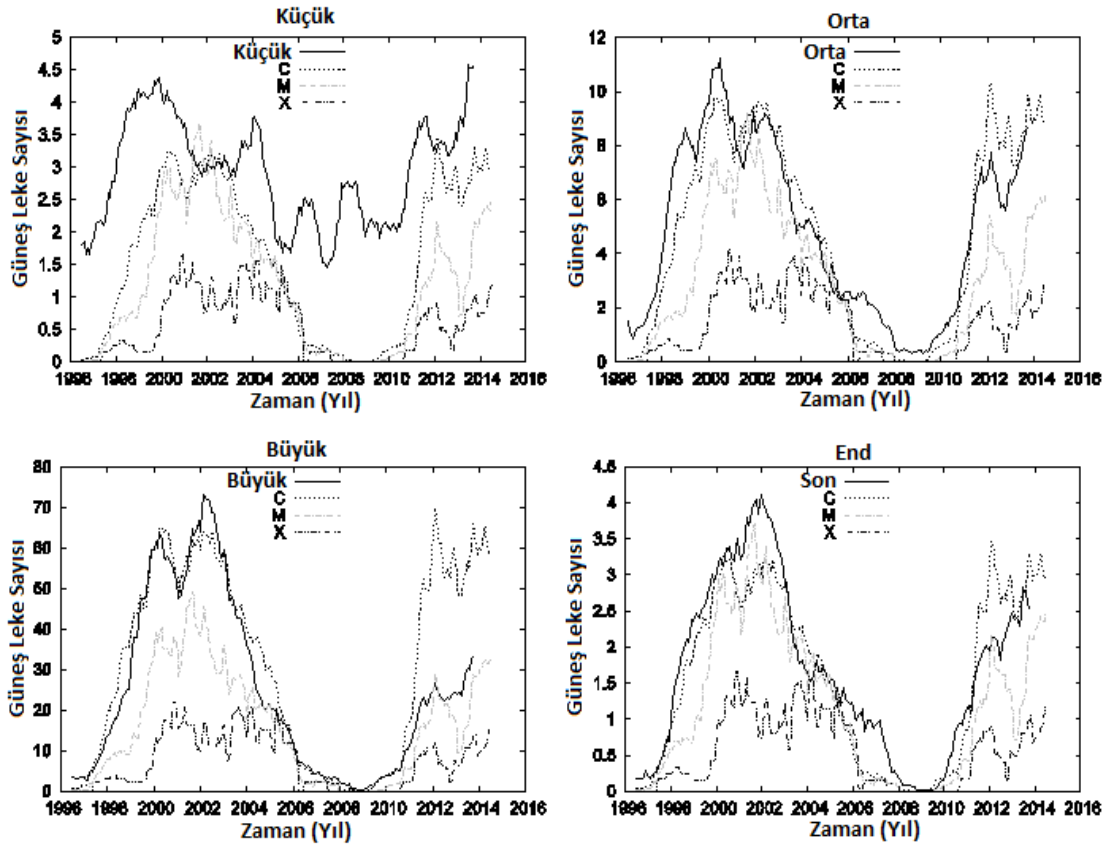


Şekil 4.13. CME kinetik enerjilerinin zamansal değişimi



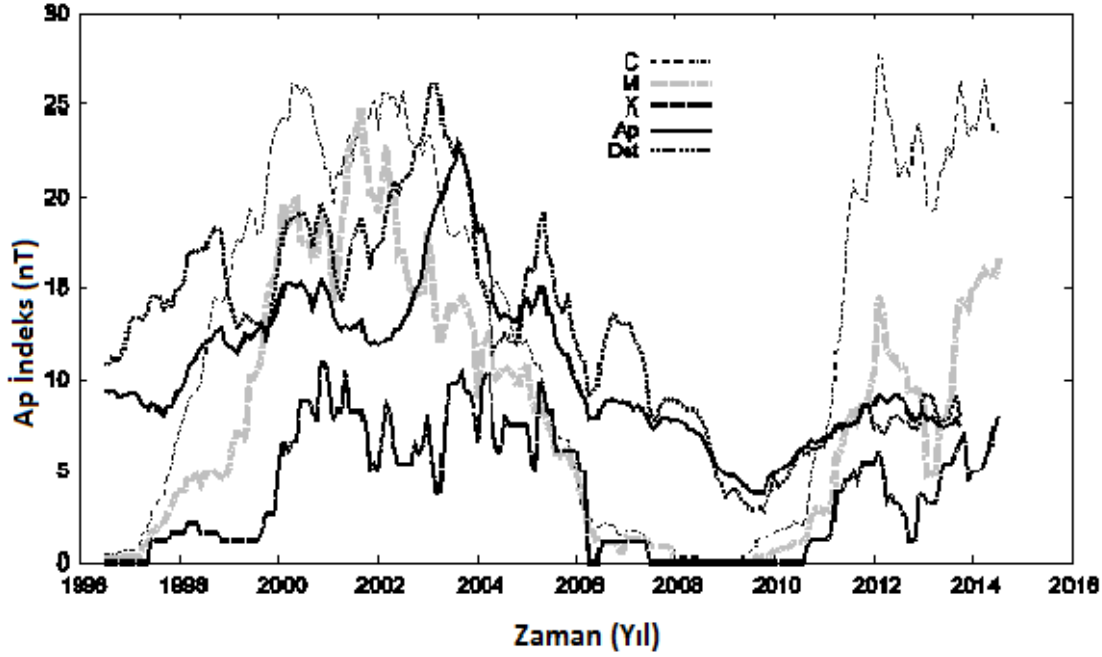
Şekil 4.14. CME kinetik enerji ve flare enerjilerinin zamansal değişimi. Şekilde kesikli çizgi CME enerjilerini ifade ederken, düz çizgi de flareler enerjilerini göstermektedir. Her iki veri setinin de 12 adımda yürüyen ortalaması kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında X-ışın güneş patlamaları, her bir kategoriye ait SSN ve jeomanyetik aktivite indekslerinden Ap ve Dst indekslerinin aylık ortalama değerleri hesaplanmıştır. Daha önceden, leke morfoloji ve evrimlerine göre “Küçük”, “Orta”, “Büyük” ve “Son” olarak gruplandırılmış leke kategorileri ile her bir sınıfa ait (C, M ve X sınıfı X-ışın) güneş patlamalarının zamansal değişimi Şekil 4.15.' te verilmektedir.



Şekil 4.15. Farklı sınıflara ait (C, M ve X) aylık ortalama güneş patlaması sayıları ile dört ayrı kategoriye ayrılan güneş leke sayılarının karşılaştırılması. Kısa dönemli dalgalanmaları ortadan kaldırmak amacı ile verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve bütün veri setlerini aynı grafikte göstermek amacıyla yeniden ölçeklendirilmiştir. [Kaynak: Eren ve Kılıçık, 2017b]

Jeomanyetik aktivite indeks verilerinden olan Ap ve Dst ile X-ışın güneş patlamaları da Şekil 4.16.'da görülmektedir.



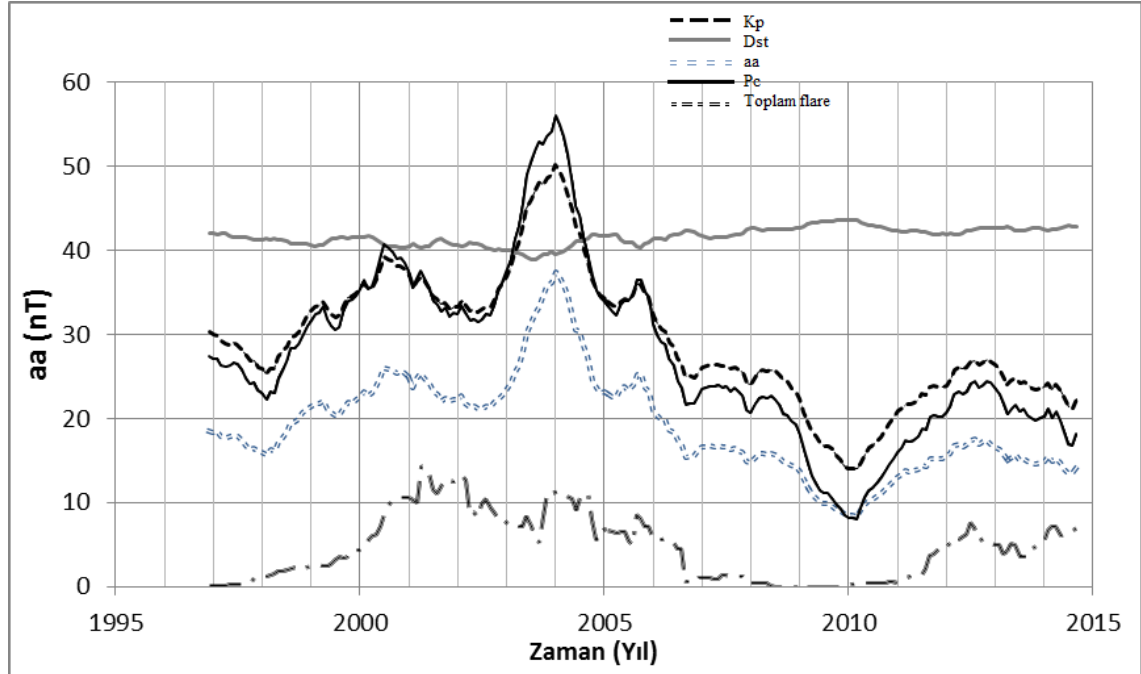
Şekil 4.16. Her bir sınıfa ait (C, M ve X) X-ışın güneş patlaması ile jeomanyetik Ap ve Dst indekslerin zamansal değişimi. İlişkinin görsel hale getirilmesi için bütün veri setlerine 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmış ve yine aynı amaçla Dst indeks -1 ve X-ışın güneş patlamaları sırasıyla 8, 40 ve 200 ile çarpılmıştır [Kaynak: Eren ve Kilcik. 2017b].

Flare sınıfları (C, M, X ve C+M+X) ile farklı kategorilerdeki güneş lekeleri arasındaki ilişkinin derecesini elde etmek için, veri setlerine Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır (Çizelge 4.2.). Hesaplanan korelasyon katsayılarının güven düzeyini belirlemek için de Fisher testi uygulanmıştır. Analizler sonucunda büyük gruptaki güneş leke sayılarının, flare sınıflarıyla en iyi korelasyonu gösterdiği (Çizelge 4.3.), küçük gruptaki güneş lekeleriyle anlamlı herhangi bir korelasyon göstermediği bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Güneş leke grubu kategorileri ile farklı sınıflardaki X-ışın güneş patlamalarının ilişki dereceleri [Kaynak: Eren ve Kilcik 2017b].

Sınıf	Küçük	Orta	Büyük	Son
C	0.33 ± 0.14	0.70 ± 0.08	0.79 ± 0.05	0.65 ± 0.08
M	0.10 ± 0.13	0.46 ± 0.11	0.74 ± 0.07	0.49 ± 0.11
X	0.04 ± 0.13	0.23 ± 0.13	0.40 ± 0.12	0.24 ± 0.13
Toplam(C+M+X)	0.31 ± 0.12	0.68 ± 0.08	0.81 ± 0.05	0.65 ± 0.08

Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'da; farklı kategorilere ait güneş lekelerinin zamansal değişimleri 23. Güneş Çevrimi boyunca büyük farklılıklar gösterirken, 24. Güneş Çevrimi boyunca birbirlerine benzer davranış sergilediği görülmektedir. Bunun yanı sıra, küçük kategorideki gruplar ile X sınıfı güneş patlamalarının tepe noktaları 23. Güneş çevriminin iniş kolu için benzerlik gösterirken (2004 civarı), bu duruma orta ve son kategorideki gruplar ile M sınıfına ait X-ışın güneş patlamalarında da rastlanmaktadır. 24. Çevrim için bütün veri setlerinin uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Büyük kategorideki güneş lekelerine bakıldığında çevrimi ifade eden çift tepe net bir şekilde görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen bir diğer bulgu da, C, M ve X sınıfı X-ışın güneş patlamaları ile en iyi korelasyonu Büyük kategorideki güneş lekelerinin gösterdiği, Jeomanyetik Ap ve Dst indeksleri ile de en iyi korelasyonu X sınıfı güneş patlamalarının gösterdiği ($r = 0.53$ ve $r = -0.40$) elde edilmiştir. Şekil 4.17. Pc, Dst, aa, Kp jeomanyetik aktivite indeksleri ile toplam flare enerjilerinin benzer profil sergilediği görülmektedir.



Şekil 4.17. Pc, Dst, aa, Kp jeomanyetik aktivite indeksleri ile toplam X-ışın güneş patlamalarının (C+M+X sınıfı) zamansal değişimi. Şekilde düz siyah çizgi ile ifade edilen Pc, gri düz çizgi Dst, kesikli çizgi Kp, gri noktalı aa ve en altta görülen noktalı kesikli çizgi ise toplam flareleri ifade etmektedir. Kısa dönemli dalgalanmaları ve uzun dönemli değişimleri ortadan kaldırmak amacı ile verilere 12 adımda yürüyen ortalama uygulanmıştır ve bütün veri setlerini aynı ölçekte göstermek amaçlanarak yeniden ölçeklendirilmiştir.

Çizelge 4.3. ISSN, SSN, SSA, güneş patlamaları, CMEs ve Jeomanyetik aktivite indekslerinin birbirleri ile olan ilişkisi (Çizelgenin elde edilmesinde kullanılan istatistiksel yöntemler Eklere sunulmuştur.)

	ISSN	aa_indeks	Kp_indeks	Dst	Pc_indeks	10.7 akısı	SSA	SSN	Flare	İvme	Kütle	Kinetik Enerji
ISSN	1											
aa_indeks	0,4051204	1										
Kp_indeks	0,4331525	0,9611625	1									
Dst	-0,3150526	-0,7861043	-0,7362655	1								
Pc_indeks	0,4265594	0,9679370	0,9953633	-0,7362655	1							
10.7 Akısı	0,9663794	0,449807	0,4628154	-0,3838630	0,4569786	1						
SSA	0,9259548	0,4766818	0,4705877	-0,4097560	0,4719324	0,94270334	1					
SSN	0,95988560	0,4630774	0,4862885	-0,3628382	0,4822715	0,9637582	0,9628533	1				
Flare	0,4765674	0,5513148	0,459312	-0,4707013	0,4730559	0,4976278	0,6130751	0,5410702	1			
İvme	-0,4035528	-0,3765764	-0,3952262	0,2470129	-0,3862003	-0,3700361	-0,3852999	-0,410568	-0,3002055	1		
Kütle	0,3867256	0,4377903	0,3925155	-0,3681184	0,3960319	0,4375352	0,4504142	0,4273791	0,5834062	-0,2868669	1	
Kinetik Enerji	0,1697056	0,4365388	0,3720022	-0,3744328	0,3763696	0,2065090	0,2742423	0,2221987	0,7002928	-0,2720282	0,6470764	1

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Güneş leke grupları verilerinin araştırılması, güneş patlamaları ile ilişkilerinin incelenmesi ve son olarak da CME ve jeomanyetik aktivite indeksleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla, çalışmada kullanılan tüm Güneş leke grubu verilerine Pearson korelasyonu ve analizler uygulanarak elde edilen sonuçlar CME ve jeomanyetik aktivite indeksleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, güneş leke gruplarının patlama üretme potansiyelleri ve bu patlamalar ile jeomanyetik aktivite indeksleri arasındaki ilişkiler elde edilmiştir.

Çalışmada kullanılan koronal kütle atımlarına ait kinetik enerji, ivme ve kütle verileri SIDC/CACTUS, jeomanyetik aktivite indeksleri verileri, Ap indeks Kyoto Gözlemevi ve Dst indeks verileri ise Kyoto Üniversitesi, Dünya Jeomanyetizma Veri Merkezi, Pc, Kp ve aa indeks verileri de UKSSDC internet sitelerinden alınmış olup, Güneş leke verileri tarihleri ile aynı tarihler olan 1996-2014 yıllarını kapsamaktadır.

Ham güneş leke verileri, toplamda 31043 güneş leke grubundan oluşmakta ve bu veriler NOAA numaraları, güneş leke alanları (SSA), güneş leke sayıları (SSN), Modifiye edilmiş Zürih leke sınıfları, X-ışın patlamaları vb. bilgilerini içermektedir. Bu verilerin analize hazırlanması ve güneş patlaması içeren aktif bölgelerin seçilmesi sonucunda 4260 NOAA aktif bölge için toplam 12335 güneş patlaması verisi incelenmiştir. Bu veriler tek tek Modifiye edilmiş Zürih leke sınıflarının ilk parametrelerine göre (A, B, C, D, E, F ve H grupları) ayrılmış ve leke grupları büyük, orta, küçük ve son olarak dört ayrı kategoride incelenmiştir. Bunun yanı sıra, güneş lekeleri yine Modifiye edilmiş Zürih leke sınıflandırmasının son parametresi olan kompleksitesine göre de ayrıştırılıp, incelenmiştir. Daha sonra, her bir leke sınıfının ürettiği patlamalar X-ışın sınıflamasına (C, M ve X sınıfları) göre tek tek ayrılmış olup, her bir patlamanın hangi güneş leke grubunda üretildiği ve bu patlamaların enerjileri incelenmiştir. CME ve jeomanyetik aktivite indekslerini içeren diğer veri setleri ile birleştirilmesi sonucunda da bir takım bulgular elde edilmiştir ve sonuçlar kısmında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Bu çalışmada elde edilen en önemli bulgu, güneş leke gruplarının güneş patlaması üretme potansiyellerinin elde edilmesidir, geliştirilen bağıntı aşağıdadır;

$$\text{Flare Üretme Potansiyeli} = \text{Herhangi bir leke grubunda üretilen toplam güneş patlaması sayısı} / \text{İlgili gruptaki toplam leke sayısı}$$

Güneş leke gruplarının patlama üretme potansiyelleri; A grubu için 0.05, B grubu için 0.09, C grubu için 0.21, D grubu için 0.56, E grubu için 1.15, F grubu için 2.18, ve H grubu için 0.12 olarak bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen bulgular başlıca;

- İlk olarak, büyük ve kompleks (D+E+F) leke gruplarına ait flare üretme potansiyellerinin, küçük ve basit (A+B+C+H) gruplara göre 8 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.

- Büyük ve kompleks leke gruplarında üretilen güneş patlamalarının oranı %79 olarak elde edilirken, bu oran küçük ve basit lekelerde %21'dir.
- En büyük flare üretme potansiyeli en büyük ve en kompleks olan F grubu güneş lekelerinde (2,16 güneş patlaması/güneş leke grubu) görülürken, en küçük flare üretme potansiyeli (0.05 güneş patlaması/güneş leke grubu) de yine en basit ve kompleks olmayan leke grubu olan A'ya aittir.
- SSN, SSA ve toplam güneş patlaması sayısına bakıldığında her iki güneş çevrimi için benzer zaman profilleri, yani çift tepeye sahip maksimumlar elde edilmiştir.
- Ortalama güneş leke grubu alanları ve her bir güneş leke grubuna ait flare üretme potansiyelleri arasındaki ilişkinin güvenilirliğini araştırmak için Student t testi kullanılmıştır ($r = 0.996$, $t = 24.92$, $df = 5$, $p > 0.001$). Aynı bağlantı aktif bölge alanlarının manyetik olarak komplekslik dereceleri ile de ilişkilidir.
- Farklı sınıflara ait X-ışın güneş patlamalarının 23. Güneş çevriminde farklı davranış sergilediği gözlemlenirken, 24. Güneş çevrimi için tüm sınıflar benzer davranış sergilenmektedir.
- C, M ve X sınıfı güneş patlamalarının en iyi uyum gösterdiği leke kategorisi Büyük leke gruplarıdır.
- Ap ve Dst jeomanyetik aktivite indekslerinin, incelenen zaman aralığındaki her bir sınıfa ait X-ışın güneş patlamaları ile 23. Güneş çevriminin iniş kolu dışında gayet uyumlu olduğu bulunmuştur (Şekil 4.16)
- 24. Güneş çevriminde M ve X sınıfı X-ışın güneş patlamaları sayısının azalmasına bağlı olarak jeomanyetik Ap ve Dst indekslerde de 23. Güneş çevrimine oranla düşüş görüldüğü gözlenmiştir.
- CME kinetik enerjisi ile toplam X-ışın güneş patlamaları arasında %70'lik bir korelasyon elde edilmiştir.
- Flarelerin, jeomanyetik aktivite indekslerinden aa indeks ile arasındaki korelasyon %55 iken, Pc indeks ile %47'dir. |

6. KAYNAKLAR

- AULANIER, G., D'EMOULIN, P., SCHRIJVER, C. J., JANVIER, M., PARIAT, E., SCHMIEDER, B., 2013. The standard flare model in three dimensions. II. Upper limit on solar flare energy, *Astronomy & Astrophysics*, 549, 7.
- ATAC, T. ve OZGUC, A., 2006. Overview of the Solar Activity During Solar Cycle 23. *Solar Physics*, 233,139.
- BAADE, W., 1957, Galaxies and their stellar population, *The Observatory*, 77,165-171.
- BAHNG, J. ve SCHWARZCHILD, M., 1961. *Lifetime of Solar Granules*, *The Astrophysical Journal*, 134,312.
- BAI., 2003, Periodicities Near 160 Minutes in Flare Occurrence, *Solar Physics*, 215, 327-334.
- BRAVO, S., STEWART, G. A., 1997. The Correlation Between Sunspot and Coronal Hole Cycles and a Forecast of the Maximum of Sunspot Cycle 23, *Solar Physics*, 173, 193-198.
- BRAUN, D. C., SCUNKER, H., LINDSEY, C., CALLY, P. S., 2005. Towards Assessing, Understanding, and Correcting the Influence of Surface Magnetism in Local Helioseismology, *American Geophysical Union, Spring Meeting 2005*.
- CLINE T. 2007. Living in the Atmosphere of the Sun. [Http://sunearthday.nasa.gov/2007/location/ttt_sunlight.php](http://sunearthday.nasa.gov/2007/location/ttt_sunlight.php) [Son erişim tarihi: 17.10.2016].
- CORTIE, A.L., 1901, On the Types of Sun-Spot Disturbances, *Astrophysical Journal*, 13, 260.
- DeTOMA , 2013, Analysis of Sunspot Area Over Two Solar Cycles, *The Astrophysical Journal*, 13, 770-88.
- EDDY, J., 1979. A New Sun: The Solar Results From Skylab. Washington, D.C: NASA SP-402, 37s.
- EISENHAUER, F., SCÖDEL, R., GENZEL, R., OTT, T., TECZA, M., ABUTER, R., ECKART, A., ve ALEXANDER, T., 2003. A Geometric Determination of the Distance to the Galactic Center. *The Astrophysical Journal*, 597, 121.
- EREN, S., KILCIK, A., ATAY, T., MITEVA, R., YURCHYSHYN, V., ROZELOT, J. P., OZGUC, A., 2017a. Flare-production potential associated with different sunspot groups, *MNRAS*, 465, 68-75.
- EREN, S., KILCIK, A., 2017b. Investigation of the Relationship between Solar Flares and Sunspot Groups, *Sun & Geosphere*, 2367, 7-10.

- FLETCHER, L., DENNIS, B.R., HUDSON, B.R., KRUCKER, S., PHILLIPS, K., VERONIG, A., BATTAGLIA, M., BONE, L., CASPI, A., CHEN, Q., GALLAGHER, P., GRIGIS, P.T., JI, H., LIU, W., MILLIGAN, R.O., TEMMER, M. 2011. An Observational Overview of Solar Flares, *Space Science Review*, 159, 19.
- FROMENT, C., AUCHERE, F., BOCCHIALINI, K., BUCHLIN, E., GUENNOU, C., SOLOMON, J., 2015. Evidence for Evaporation-incomplete Condensation Cycles in Warm Solar Coronal Loops, *The Astrophysical Journal*, 807, 158-22.
- HELLEMANS, A. ve BUNCH, B., 1988. The Timetables of Science. *New York, New York: Simon and Schuster*, 317s.
- HENRY, J., 1848. On the annual oscillations of the level and azimuthal errors of the Greenwich and Cambridge transit instruments, *MNRAS*, 8,134.
- HUDSON, H., FLETCHER, L., MCTIERNAN, J., 2014. Cycle 23 Variation in Solar Flare Productivity, *Sol. Phys.*, 289, 1341.
- HOPKINS, J., 1980. *Glossary of Astronomy and Astrophysics*. University of Chicago Yayınları. Chicago, 224 s.
- IVANOV, E. V. ve OBRIDKO V. N., 2002. "Zonal structure and meridional drift of large scale solar magnetic fields", *Sol. Phys.*, 206, 1.
- KILCIK, A., OZGUÇ A., ROZELOT J., 2010, Possible traces of solar activity effect on the surface air temperature of mid-latitudes, *Solar and Stellar Variability: Impact on Earth and Planets*, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 264, 343-349.
- KILCIK, A., YURCHYSHYN, V. B., ABRAMENKO, V., GOODE, P. R., OZGUC, A., ROZELOT, J. P., CAO, W. 2011a. Time Distributions of Large and Small Sunspot Groups Over Four Solar Cycles, *The Astrophysical Journal*, 731, 30.
- KILCIK, A., YURCHYSHYN, V. B., ABRAMENKO, V., GOODE, GOPALSWAMY, N., P. R., OZGUC, A., ROZELOT, J. P., CAO, W. 2011b. Maximum Coronal Mass Ejection Speed as an Indicator of Solar and Geomagnetic Activities, *The Astrophysical Journal*, 77, 44.
- LEAN, J. 2000. Evolution of Sun's spectral irradiance since the Maunder Minimum. *Geophys Res Lett.*, 27, 2425.
- LEE, K., MOON, Y.-J., LEE, J.-Y., LEE K.-S., NA, H., 2012. Solar Flare Occurrence Rate and Probability in Terms of the Sunspot Classification Supplemented with Sunspot Area and Its Changes, *Sol. Phys.*, 281, 639.

- LEFEVRE, L., ve CLETTE, F. 2011. A global small sunspot deficit at the base of the index anomalies of Solar Cycle 23, *Astronomy & Astrophysics*, 536, L11.
- LOU Y.-Q., 2000. Rossby-Type Wave-Induced Periodicities in Flare Activities and Sunspot Areas or Groups during Solar Maxima, *The Astrophysical Journal*, 540, 1102.
- MARIS, G. ve POPESCU, M. D., 2004. Solar Flare Cycles. *Romanian Reports in Physics*, 56,141.
- MARISKA, J. T., 1986. The Quiet Solar Transition Region, *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 24, 1-611.
- MAUNDER, E. Walter, 1984. A prolonged sunspot minimum, *MNRAS*, 17, 173-176.
- MAYAUD, P. N., 1980. Derivation, Meaning, and Use of Geomagnetic Indices, *Geophys. Monogr. Ser., AGU, Washington, D. C., American Geophysical Union*, 22, 154.
- MCINTOSH, P. S., 1990. The classification of sunspot groups, *Solar Physics*, 125, 251-267.
- MIESCH, M., 2005. Large-Scale Dynamics of the Convection Zone and Tachocline, *Living Reviews in Solar Physics*, 2-1.
- MOON, Y.-J., CHOE, G. S., WANG, H., PARK, Y. D., GOPALSWAMY, N., YANG G., YASHIRO, S., 2002. A Statistical Study of Two Classes of Coronal Mass Ejections, *The Astrophysical Journal*, 581, 694.
- MURSULA, K. ve ZIEGER, B. 1996. The 13.5 day periodicity in the sun, solar wind and geomagnetic activity, *J. Geophys. Res.*, 101, 27077.
- NAYAR, S.R.P., NAIR, V.S., RADHIKA, V.N., REVATHY, K., 2001. Short period features of the interplanetary plasma and their evolution, *Solar Physics* 201, 405.
- NAYAR, S.R.P., NAIR, V.S., RADHIKA, V.N., REVATHY, K., RAMADAS, V., 2002. Wavelet analysis of solar wind and geomagnetic parameter, *Solar Physics*, 208, 359.
- PAP, J., ARGE, N., FLOYD, L., HELIZON, R., JONES, H., 2002, Solar irradiance variations over solar cycles 21 to 23, *34th COSPAR Scientific Assembly, The Second World Space Congress*, held 10-19 October, 2002 in Houston, TX, USA.
- PRABHAKARAN NAYAR, S. R., RADHIKA, V. N., REVATHY, K., ve RAMADAS, V., 2002. "Wavelet analysis of periodicities in interplanetary medium", *Solar Physics*, 212, 207.

- RIEGER, E., KANBACH, G., REPPIN, C., SHARE, G.H., FORREST, D.J., CHUPP, E.L. 1984. A 154-day periodicity in the occurrence of hard solar flares?, *Nature* 312, 623-625.
- SAMMIS, I., TANG, F., ZIRIN, H., 2000. The Dependence of Large Flare Occurrence on the Magnetic Structure of Sunspots, *The Astrophysical Journal*, 540, 583-587.
- SCHWABE, H., 1844. "Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1843", *Astron. Nachr.*, 21, 233.
- SCHRIJVER, C. J., 2016. The Nonpotentiality of Coronae of Solar Active Regions, the Dynamics of the Surface Magnetic Field, and the Potential for Large Flares, *The Astrophysical Journal*, 820, 103.
- SHIBATA, K., ISOBE, H., HILLIER, A., CHOUDHURI, A. R., MAEHARA, H., ISHII, T. T., SHIBAYAMA, T., NOTSU, S., NAGAO, T., HONDA, S., NOGAMI, D., 2013. Can Superflares Occur on Our Sun?, *PASJ*, 65, 49.
- SIMON, G. W., LEIGHTON, R. B. 1964. Velocity Fields in the Solar Atmosphere. III. Large-Scale Motions, the Chromospheric Network, and Magnetic Fields, *The Astrophysical Journal*, 140, 1120.
- SOLANKI, S.K., WENZLER, T., ve SCHMITT, D. 2008. Moments of the latitudinal dependence of the sunspot cycle: a new diagnostic of dynamo models, *Astronomy & Astrophysics*, 483, 623.
- SPÖRER, G., 1893. Beobachtungen der Sonnenflecken, *Memorie della Societa Degli Spettroscopisti Italiani*, 21, 110-112.
- STIX, M. 2004. *The Sun*. Springer-Verlag, 171, 289, 365, 428, 431, Berlin Heidelberg.
- TEMMER, M., VERONIG A., HANSLMEIER A., Does solar flare activity lag behind sunspot activity?, *Solar Physics*, 215, 111-126.
- TRIBBLE, A. 2003. *The Space Environment, Implications for Spacecraft Design*. Princeton University Yayınları, Princeton, 15 s.
- TEIXEIRA, T. C., KJELDSSEN, H., BEDDING, T. R., BOUCHY, F.; CHRISTENSEN DALSGAARD, J., CUNHA, M. S., DALL, T. ve diğ., 2009. Solar-like oscillations in the G8 V star τ Ceti. *Astronomy & Astrophysics*. 494, 237-242.
- TROSHICHEV, O. A.; KUZNETSOV, B. M., DMITRIEVA, N. P., 1979. Polar cap magnetic activity as a signature of substorm development, *Planetary and Space Science*, 27, 217-221.

- VASILIEV, S. S., DERGACHEV, V. A., 2011. Long-term changes in solar activity, based on the data for ^{10}Be and ^{14}C cosmogenic isotopes over the last 10000 years. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics*, 75, 90-792.
- WALDMEIER, M., 1938, Aufsteigende Protuberanzen. Mit 6 Abbildungen, *Z. Astrophysics*, 15, 299.
- WESSEN A. 2016. Solar System Exploration file online [Http://solarsystem.nasa.gov/planets/sun/facts](http://solarsystem.nasa.gov/planets/sun/facts) [Son erişim tarihi: 17.10.2016].
- WILSON, R. M., 2014. Comparison of the Variations of Sunspot Number, Number of Sunspot Groups, and Sunspot Area, 1875-2013. *NASA, Marshall Space Flight Center, Huntsville, AL*.
- WOLF, R., 1848, Nachrichten von der Sternwarte in Bern, Nachrichten von der Sternwarte in Bern. 135, 2.
- YOUSSEF, M., 2013. Statistical Study of the CME-Solar Flares Associated Events, *Earth Moon Planets*, 185, 195.
- ZERBO, J-L., OATTARA, F., NANEMA, E., 2013. Solar Activity and Meteorological Fluctuations in West Africa: Temperatures and Pluviometry in Burkina Faso, 1970-2012. *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 3, 4-4.
- ZHARKOV, S. I., ZHARKOVA, V. V., 2006, The latitudinal distributions of sunspot areas and magnetic fields and their correlation with the background solar magnetic field in the cycle 23, *Adv. Space Res.*, 38, 868.
- ZIRIN, H., 1988. *Astrophysics of the Sun*, Cambridge University Press, Cambridge, 433 s.

7. EKLER

Aşağıdaki eklerde, df serbestlik derecesi, t Stat standart hatadan ayrılma oranı, $P(T \leq t)$ tek-uçlu T dağılımının tek kuyruklu tersini ve $P(T \leq t)$ iki-uçlu T dağılımının iki kuyruklu tersini ifade etmektedir.

Ek 1: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/aa indeks)

	<i>Flare</i>	<i>aa_indeks</i>
Ortalama	1,50742E-05	18,94081287
Varyans	6,71721E-10	57,14675603
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,551314787	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-37,60311185	
$P(T \leq t)$ tek-uçlu	4,8054E-99	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
$P(T \leq t)$ iki-uçlu	9,6108E-99	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 2: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/Kp indeksi)

	<i>Flare</i>	<i>Kp_indeksi</i>
Ortalama	1,50742E-05	146,1137827
Varyans	6,71721E-10	2197,596777
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,45931217	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-46,75609432	
P(T<=t) tek-uçlu	7,6822E-118	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	1,5364E-117	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 3: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/Pc indeksi)

	<i>Flare</i>	<i>Pc_indeksi</i>
Ortalama	1,50742E-05	0,455106131
Varyans	6,71721E-10	0,04397685
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,473055839	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-33,2692169	
P(T<=t) tek-uçlu	6,17431E-89	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	1,23486E-88	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 4: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/10.7 cm akı)

	<i>Flare</i>	<i>10.7 cm akı</i>
Ortalama	1,50742E-05	107,7394937
Varyans	6,71721E-10	2093,322223
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,411088516	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-35,32551448	
P(T<=t) tek-uçlu	7,6998E-94	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	1,53996E-93	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 5: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/SSA)

	<i>Flare</i>	<i>SSA</i>
Ortalama	1,50742E-05	531,5925068
Varyans	6,71721E-10	216702,8676
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,613075073	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-17,12954995	
P(T<=t) tek-uçlu	6,67147E-43	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	1,33429E-42	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 6: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/SSN)

	<i>Flare</i>	<i>SSN</i>
Ortalama	1,50742E-05	33,80453822
Varyans	6,71721E-10	787,9478589
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,541070187	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-18,06949451	
P(T<=t) tek-uçlu	6,30667E-46	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	1,26133E-45	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 7: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/ CME ivmesi)

	<i>Flare</i>	<i>CME ivmesi</i>
Ortalama	1,50742E-05	3,314868377
Varyans	6,71721E-10	56,06098831
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	-0,300205479	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-6,660900117	
P(T<=t) tek-uçlu	1,03975E-10	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	2,07949E-10	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 8: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/ CME kütlesi)

	<i>Flare</i>	<i>CME kütlesi</i>
Ortalama	1,50742E-05	1,40359E+15
Varyans	6,71721E-10	1,18014E+30
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,583406182	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-19,38055722	
P(T<=t) tek-uçlu	4,29061E-50	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	8,58122E-50	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	

Ek 9: t-Test: Ortalamalar İçin İki Örnek (Flare/ CME kütlesi)

	<i>Flare</i>	<i>CME kinetik enerjisi</i>
Ortalama	1,50742E-05	4,39285E+30
Varyans	6,71721E-10	1,00248E+62
Gözlem	225	225
Pearson Korelasyonu	0,700292778	
Öngörülen Ortalama Farkı	0,01	
df	224	
t Stat	-6,581126798	
P(T<=t) tek-uçlu	1,63279E-10	
t Kritik tek-uçlu	1,65168456	
P(T<=t) iki-uçlu	3,26558E-10	
t Kritik iki-uçlu	1,97061091	



ÖZGEÇMİŞ

[Saliha EREN 1988 yılında Ankara'da doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2006 yılında hazırlık sınıfı ile başladığı Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü'nden 2011 yılında mezun oldu. 2014 - 2016 yılları arasında, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı..]