



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



UZAY İKLİM KOŞULLARININ TOPLAM ELEKTRON YOĞUNLUĞU (TEC)
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

MERVE GÜNGÖR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

MERVE GÜNGÖR

Tarih: 24.05.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UZAY İKLİM KOŞULLARININ TOPLAM ELEKTRON YOĞUNLUĞU (TEC) ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Merve GÜNGÖR

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Salih ALÇAY

2022, 66 Sayfa

Jüri

**Doç. Dr. Salih ALÇAY
Doç. Dr. Salih Sermet ÖĞÜTÇÜ
Dr. Öğr. Üyesi Sercan BÜLBÜL**

Güneş sistemi veya Güneş sistemi dışında iyonosferde beklenmedik düzensiz değişimler uzay iklim koşullarını oluşturmaktadır. Dünya'ya yakın, uzay iklim koşullarını değiştiren uzay iklimini daha iyi anlamak ve yorumlamak için bazı indisler kullanılır ve bunlara uzay iklim koşulları indisleri denir. Uydu bazlı iletişim çağında iyonosfer tabakası önemli bir yere sahiptir. Atmosfer katmanlarından biri olan iyonosfer, yeryüzünden yaklaşık 60 km ile 1000 km arasında yükseklikte yer alır. İyonosfer tabakasında çok sayıda elektron bulunmaktadır. Elektron yoğunluğu düzenli ve düzensiz etmenlere bağlı olarak değişim göstermektedir. İyonosfere ait modeller yapılıken bu etmenlere dikkat edilmesi gerekir. Uzay iklim koşulları haberleşme sistemleri, uydular, astronotlar, GNSS sistemi gibi birçok alanı olumsuz etkilemektedir. Bu etkileri bilmek, en aza indirmek ve planlar geliştirmemiz için uzay iklim koşullarının ve indislerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu tez çalışması kapsamında uzay iklim koşulları ve indisleri hakkında detaylar verilmiştir. Ayrıca uzay iklim koşullarının iyonosferik TEC değişimleri üzerindeki etkisini incelemek için farklı zaman dilimlerinde kuzey ve güney yarımkürede farklı enlem bölgelerinden IGS istasyonları seçilmiştir. Bu istasyonlara ait GPS-TEC analizlerine ait sonuçlar uzay iklim koşullarıyla ilişkili olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, iyonosferde herhangi bir TEC anomali olup olmadığının belirlenmesinde jeomanyetik fırtına ve güneş aktivite indislerinin yanı sıra plazma yoğunluğunun, manyetik alan değişiminin, parçacık akısı indislerinin de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, TEC, Uzay İklim Koşulları, Uzay İklim Koşulları Indisleri

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SPACE WEATHER CONDITIONS ON TOTAL ELECTRON CONTENT (TEC)

Merve GUNGOR

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Salih ALCAY

2022, 66 Pages

Jury

Assoc. Prof. Dr. Salih ALCAY

Assoc. Prof. Dr. Salih Sermet OGUTCU

Assist. Prof. Dr. Sercan BULBUL

Unexpected irregular changes in the ionosphere in the solar system or outside the solar system create space weather conditions. Some indices are used to better understand and interpret the space weather, which changes space weather conditions close to Earth, and these are called space weather conditions indices. In the age of satellite-based communication, the ionosphere layer has an important place. The ionosphere, one of the layers of the atmosphere, is located at an altitude of about 60-1000 km from the earth. There are many electrons in the ionosphere layer. Electron density varies depending on regular and irregular factors. These factors should be taken into consideration while modeling the ionosphere. Space weather conditions adversely affect many areas such as communication systems, satellites, astronauts, GNSS system. In order to know, minimize these effects and develop plans, it is necessary to examine space weather conditions and indices. Within the scope of this thesis, details about space weather conditions and indices are given. In addition, IGS stations were selected from different latitude regions in the northern and southern hemispheres at different time periods in order to examine the effect of space weather conditions on ionospheric TEC changes. The results of the GPS-TEC analyzes of these stations were evaluated in relation to the space weather conditions. The results showed that in determining whether there is any TEC anomaly in the ionosphere, in addition to geomagnetic storm and solar activity indices, plasma density, magnetic field variation, particle flux indices should also be taken into account.

Keywords: Ionosphere, Space Weather Conditions, Space Weather Indices, TEC

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana her zaman destek olan ve yol gösteren, büyük bir sabırla beni her zaman çalışmaya teşvik eden değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Salih ALÇAY'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamda ionolabtecv1.30 yazılımını sağladığı için IONOLAB grubuna ve OMNIWEB arayüzü ile elde edilen uzay iklim koşulları indisleri için NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezine teşekkür ederim.

Bu süreçte yanımda olduklarını her zaman hissettiren, beni destekleyen ve motive eden aileme sonsuz teşekkür ederim.

MERVE GÜNGÖR
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. UZAY İKLİM KOŞULLARI VE İNDİSLER.....	3
2.1. Uzay İklim Koşulları.....	3
2.1.1. Galaktik Kozmik Işınlr	4
2.1.2. Güneş Radyasyon Fırtınası.....	5
2.1.3. İyonosferik Parıldama	6
2.1.4. Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınımı	6
2.1.5. Kutup Işıkları.....	7
2.1.6. Gezici İyonosferik Bozucu Etki	8
2.1.7. Taçküre Kütle Atımı.....	8
2.1.8. Koronal Delikler.....	9
2.1.9. Jeomanyetik Fırtınalar	10
2.1.10. Radyasyon Kuşakları.....	11
2.1.11. Güneş Patlamaları	12
2.1.12. Güneş Rüzgârı	13
2.2. İndisler.....	14
2.2.1. Güneş Aktivite İndisleri	14
2.2.1.1. F10.7 İndisi.....	14

2.2.1.2. Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) (26-34 nm / 0.1-50 nm) İndisi.....	15
2.2.2. Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri.....	16
2.2.2.1. Jeomanyetik Fırtına İndisi (Kp)	16
2.2.2.2. Jeomanyetik Aktivite İndisi (Dst)	18
2.2.3. Manyetik Alan Değişim İndisleri	19
2.2.3.1. Bx, By, Bz İndisi	19
2.2.4. Plazma Yoğunluğu ve Proton Akısı İndisleri.....	20
2.2.4.1. Proton Yoğunluğu İndisi	20
2.2.4.2. Proton Akı İndisleri	21
2.2.5. AE İndisi	21
3. TEC KESTİRİMİ VE ANOMALİLERİN BELİRLENMESİ.....	23
3.1. IONOLAB-TEC Kestirimi	23
3.1.1. Çift Frekans GPS Sinyallerinin İyonosferik Gecikme Modeli.....	23
3.2. GPS-TEC Belirleme	26
3.3. TEC Anomalilerinin Belirlenmesi	27
4. UYGULAMA.....	28
4.1 Uygulama 1	28
4.1.1 Uzay İklim Koşulları İndislerinin Analizi.....	28
4.1.2 GPS-TEC Verilerinin Analizi	33
4.2 Uygulama 2	42
4.2.1 Uzay İklim Koşulları İndislerinin Analizi.....	42
4.2.2 GPS-TEC Verilerinin Analizi	45
5. SONUÇLAR	53
6. KAYNAKÇA	54
ÖZGEÇMİŞ.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltmalar

A	: Active
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AE	: Auroral Electrojet
AGW	: Atmospheric Gravity Waves
CIR	: Corotating Interaction Region
CME	: Coronal Mass Ejections
CR	: Cosmic Rays
DOM	: Day of Month
DST	: Disturbance Storm Time
EUV	: Solar Extreme Ultraviolet
GCR	: Galactic Cosmic Rays
GIC	: Geomagnetic Induced Currents
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GS	: Geomagnetic Storms
HF	: High Frequency
HSSW	: High Speed Solar Wind
HT	: Height-Time
IGS	: International GNSS Service
IMF	: Interplanetary Magnetic Field
Kp	: A 3 Hourly Planetary Index of Geomagnetic Activity
LB	: Lower Bound
LSTID	: Large Scale Traveling Ionospheric Disturbances
LQ	: Lower Quartile
M	: Median
MeV	: Million Electro Volt
MHD	: Magnetohydrodynamic
MSFC	: Marshall Space Flight Center
MSTID	: Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbances
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NCEI	: National Centers for Environmental Information
NM	: Neutron Monitor
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
nT	: Nano Tesla
NWRA	: Northwest Research Associates
PFU	: Particle Flux Units
PVT	: Positioning, Velocity and Timing
Re	: Earth Radii
Reg-Est	: Regularized Estimation
SBAS	: Satellite-based Augmentation Systems
SEP	: Solar Energetic Particle
SEM	: Solar EUV Monitoring
SFU	: Solar Flux Units
SOHO	: Solar Heliospheric Observatory
SRS	: Solar Radiation Storm
SSN	: Sunspot Number

SSTID	: Medium Scale Traveling Ionospheric Disturbances
STEC	: Slant TEC
SWPC	: Space Weather Prediction Center
TEC	: Total Electron Content
TECU	: TEC Changes
TID	: Traveling Ionospheric Disturbances
UB	: Upper Bound
UV	: UltraViolet
UQ	: Upper Quartile



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1 Uzay iklim koşulları etkileri (URL-2)	3
Şekil 2. 2 Galaktik Kozmik Işınlr (URL-4).....	4
Şekil 2. 3 Güneş Radyasyon Fırtınaları (URL-8)	5
Şekil 2. 4 Bear Gölü Üzerindeki Kuzey Kutup Işıkları (URL-12)	7
Şekil 2. 5 27 Şubat 2000'de SOHO LASCO C2 ve C3 tarafından alınan bir taçküre kütle atımı (URL-14).....	9
Şekil 2. 6 NASA'nın Güneş Dinamikleri Rasathanesi tarafından görülen tipik bir koronal delik (URL-17).....	10
Şekil 2. 7 Dünya çevresindeki yeni, geçici üçüncü bir radyasyon kuşağı (URL-22)	11
Şekil 2. 8 15 Eylül 2010 'da gerçekleşen Güneş patlaması (URL-24)	12
Şekil 2. 9 Dünya manyetosferinin güneş rüzgâr plazması ile etkileşimi (Wang, 2018)	13
Şekil 2. 10 Güneş Radyo Akısı (URL-32)	15
Şekil 2. 11 Seçilen tüm parıldama olayları için 0,1–50 nm ve 26–34 nm bölgelerindeki TEC artışı ile EUV akısının artışları arasındaki ilişki (Zhang ve ark. 2011).....	16
Şekil 2. 12 Kp gözlemevlerinin dağılımı (URL-34)	17
Şekil 2. 13 Dst gözlemevlerinin dağılımı (URL-37).....	19
Şekil 2. 14 Manyetik Alan Değişim İndisleri (URL-39)	20
Şekil 2. 15 AE gözlemevlerinin dağılımı (URL-44).....	22
Şekil 4. 1 Çalışmada kullanılan istasyonların konumu (Alcay ve Gungor,2020).....	33
Şekil 4. 2 2001 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020).....	39
Şekil 4. 3 2003 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020).....	40
Şekil 4. 4 2004 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020).....	40
Şekil 4. 5 2015 Yılı Kasım ve Aralık AylarındaTOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020).....	41
Şekil 4. 6 Çalışmada kullanılan istasyonların konumu	45
Şekil 4. 7 2000 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri	51
Şekil 4. 8 2000 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri	51
Şekil 4. 9 2009 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri	51
Şekil 4. 10 2009 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri	52

Şekil 4. 11 2014 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri 52

Şekil 4. 12 2014 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri 52



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 4. 1	2001 Yılı Şubat Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020).....	28
Tablo 4. 2	2001 Yılı Mart Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020).....	29
Tablo 4. 3	2001 Yılı Nisan Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	29
Tablo 4. 4	2003 Yılı Kasım Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	30
Tablo 4. 5	2003 Yılı Aralık Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	30
Tablo 4. 6	2004 Yılı Kasım Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	31
Tablo 4. 7	2004 Yılı Aralık Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	31
Tablo 4. 8	2015 Yılı Mart Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020).....	32
Tablo 4. 9	2015 Yılı Haziran Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)	32
Tablo 4. 10	Çalışmada kullanılan istasyonların detayları (Alcay ve Gungor,2020)	34
Tablo 4. 11	2001 Şubat, Mart ve Nisan aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)	35
Tablo 4. 12	2003 Yılı Kasım ve Aralık Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)	36
Tablo 4. 13	2004 Yılı Kasım ve Aralık Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)	37
Tablo 4. 14	2015 Yılı Mart ve Haziran Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)	38
Tablo 4. 15	2000 Yılı Temmuz Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi.....	42
Tablo 4. 16	2000 Yılı Kasım Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi.....	43
Tablo 4. 17	2009 Yılı Haziran Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi	43
Tablo 4. 18	2014 Yılı Ocak Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi	44
Tablo 4. 19	2014 Yılı Nisan Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi.....	44
Tablo 4. 20	Çalışmada kullanılan istasyonların detayları.....	45
Tablo 4. 21	2000 Yılı Temmuz Ayı anormal günlere ait detaylar.....	46
Tablo 4. 22	2000 Yılı Kasım Ayı anormal günlere ait detaylar	47
Tablo 4. 23	2009 Yılı Haziran Ayı anormal günlere ait detaylar	48
Tablo 4. 24	2014 Yılı Ocak Ayı anormal günlere ait detaylar	49
Tablo 4. 25	2014 Yılı Nisan Ayı anormal günlere ait detaylar	50

1. GİRİŞ

Sıcaklığa göre ana katmanlardan (troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer ve ekzosfer) oluşan Dünya atmosferi, yer çekimi tarafından korunur. İyonosfer, yeryüzünden 60 ile 1000 km arasında yükseklikte yer alan iyonize kısımdır ve termosferin tamamı ile mezosfer ve ekzosferin bir kısmını içerir. İyonosfer, düzenli, bölgesel ve zamansal (11 yıllık, yıllık, altı aylık, mevsimlik, 27 günlük, günlük) değişimler göstermektedir (Sentürk ve Cepni, 2018). Modellenen bu değişimlerin etkileri büyük ölçüde belirlenebilir. İyonosferde ki beklenmedik düzensiz değişimler ise uzay iklim koşulları (galaktik kozmik ışınlar, güneş radyasyon fırtınası, iyonosferik parıldama, güneş aşırı ultraviyole (EUV) ışınımı, kutup ışıkları, gezici iyonosferik bozucu etki, taçküre kütle atımı, koronal delikler, jeomanyetik fırtınalar, radyasyon kuşakları, güneş patlamaları, güneş rüzgârı) gibi çeşitli etmenden kaynaklanır (URL-1).

İyonosfer, izlenerek Parametrelili İyonosfer Modeli, Bent İyonosfer Modeli, Uluslararası Referans İyonosfer Modeli ve NeQuick Modeli gibi birden çok iyonosfer modeli üretilmiştir. Herhangi bir zamanda ve yerde bu modeller, iyonosferin küresel davranışını tanımlamaktadır (Alcay ve ark. 2014; Alcay ve Gungor, 2020). Ancak bu deneysel modeller sakin iyonosfer koşulları için geçerlidir. Günümüzde, modelleme çalışmalarının yanı sıra, iyonosferdeki düzensiz değişimleri belirlemek için yaygın olarak GNSS kullanılmaktadır.

İyonosferdeki uzay iklim koşullarını tanımlamak için ise çeşitli indisler kullanılmaktadır. Bunlar güneş aktivite indisleri (F10.7 ve EUV), jeomanyetik fırtına indisi (Kp), jeomanyetik aktivite indisi (Dst), manyetik alan değişim indisleri (Bx, By, Bz), plazma yoğunluğu, proton akı ve AE indisidir.

Bu çalışmada, uzay iklim koşullarından kaynaklanan iyonosferdeki değişimler ve indisler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. Ayrıca uzay iklim koşullarından kaynaklanan iyonosferdeki değişimler, farklı zaman aralıklarında GPS TEC verilerinden yararlanılarak araştırılmıştır. GPS TEC verilerini elde etmek için

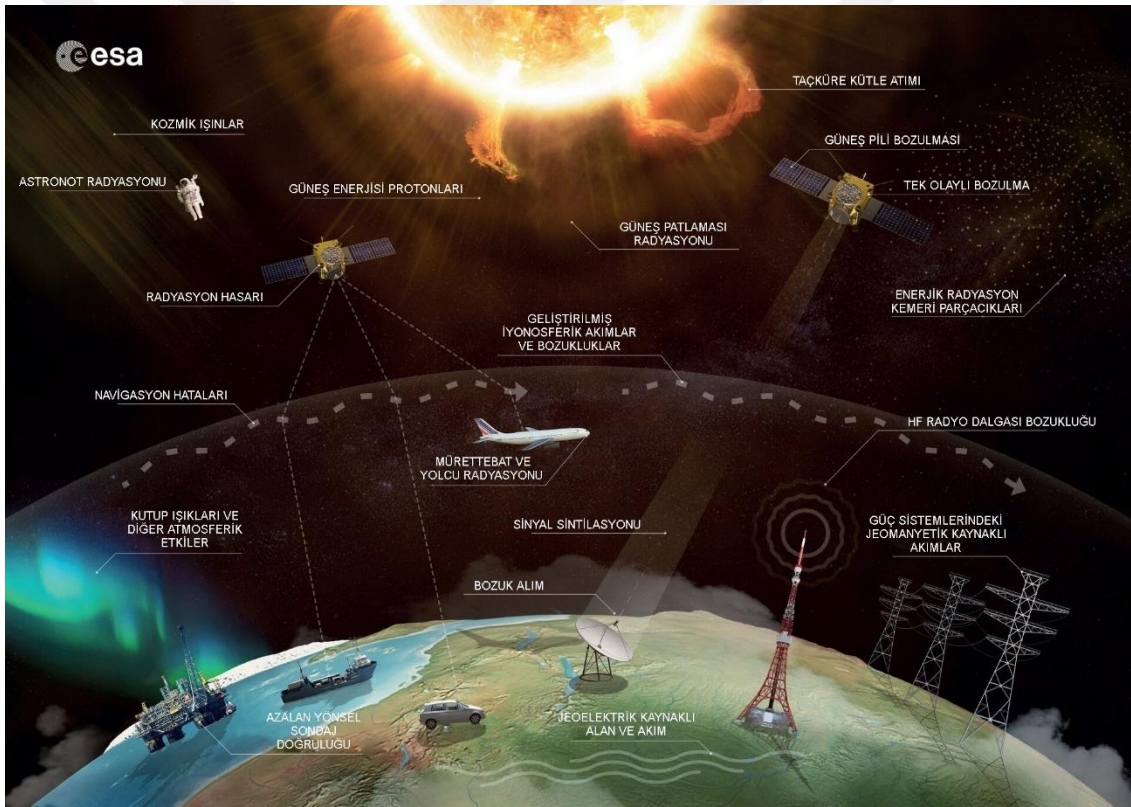
kullanılan GPS gözlemleri, farklı coğrafi bölgelerde bulunan Uluslararası GNSS Servis (IGS) istasyonlarından elde edilmiştir. Böylece olası TEC anomalilerinin belirlenmesinde hangi indislerin dikkate alınması gerektiği araştırılmıştır.



2. UZAY İKLİM KOŞULLARI VE İNDİSLER

2.1. Uzay İklim Koşulları

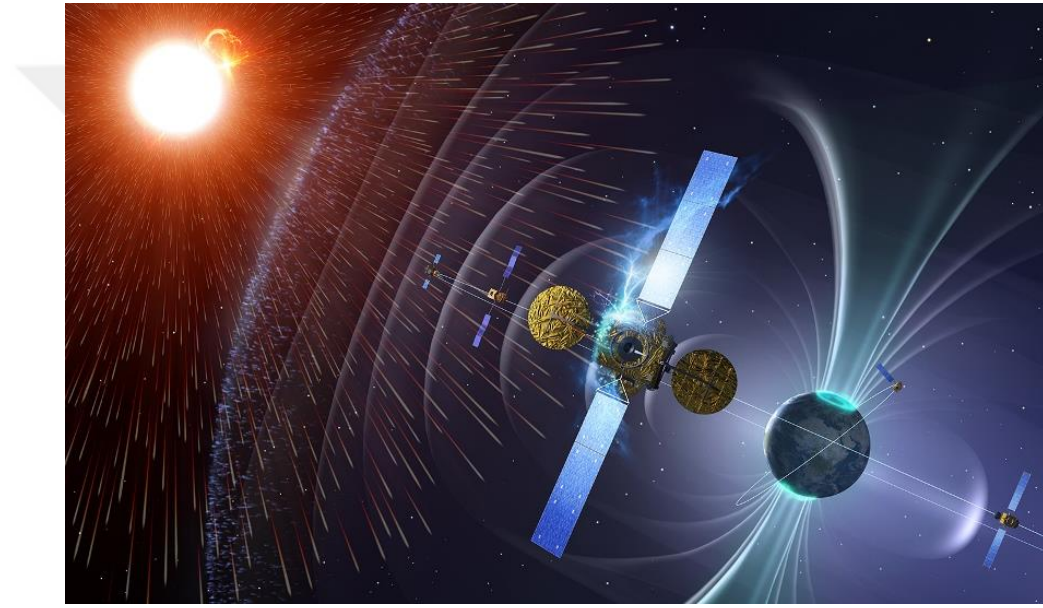
Güneş veya Güneş dışı kaynaklı iyonosferde beklenmedik düzensiz değişimler uzay iklim koşullarını oluşturmaktadır. Bunlar galaktik kozmik ışınlar, güneş radyasyon fırtınası, iyonosferik parıltı, güneş aşırı ultraviyole (EUV) ışınımı, kutup ışıkları, gezici iyonosferik bozucu etki, koronal delikler, jeomanyetik fırtınalar, taçküre kütle atımı, radyasyon kuşakları, güneş patlamaları ve güneş rüzgârıdır (Alcay ve Gungor, 2020; URL-1). Bu koşullar hakkında alt bölümlerde bilgi verilmektedir ve Şekil 2.1’de uzay iklim koşullarından bazıları ve etkileri gösterilmektedir (URL-2).



Şekil 2. 1 Uzay iklim koşulları etkileri (URL-2)

2.1.1. Galaktik Kozmik Işınlr

1912’de Hess tarafından keşfedilen yüksek enerjili ve evrende her yerde bulunan Galaktik Kozmik Işınlrın (GCR) bazıları Güneşten kaynaklanırken çoğu güneş sistemi dışındaki kaynaklardan gelir (URL-3). Sürekli olarak Dünyanın atmosferini bombardıman eden GCR’ler süpernova gibi patlamalardan oluşmaktadır (Baade ve Zwicky, 1934; Alcay ve Gungor,2020). Şekil 2.2’de dünya atmosferinin ve manyetik alanın dışındaki uzay araçlarının galaktik kozmik ışınlardan zarar görme görüntüsü verilmiştir (URL-4).



Şekil 2. 2 Galaktik Kozmik Işınlr (URL-4)

Bu yüksek enerjili parçacıkların çoğu tamamen iyonlanmış atom çekirdeği olduğu için manyetik alanlarla etkileşime girerler. Dünyadaki GCR akısını ve çeşitliliğini uyarlayan Güneş'in güçlü manyetik alanlarıdır (Blasi, 2013).

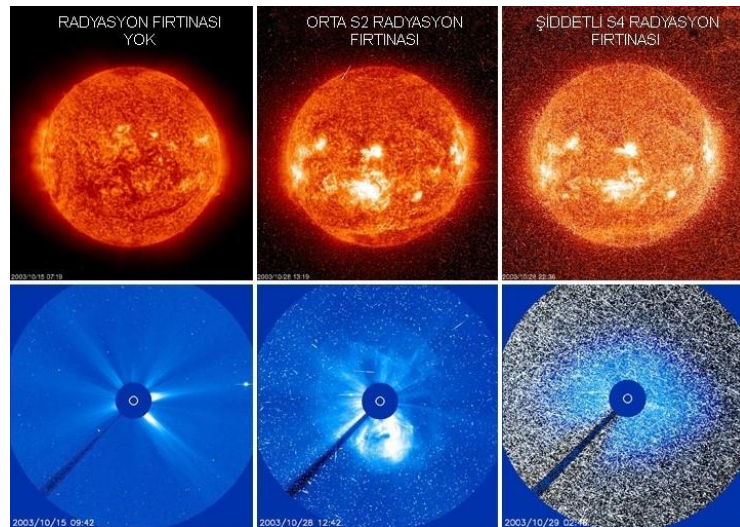
Muhteşem enerjiye sahip olan bu parçacıklar nötron monitörü (NM) tarafından kaydedilir (Saad Farid, 2019). Atmosfere çarpan ve yere ulaşan parçacıklar, insanlar ve sistemler için az tehdit oluştururken hassas aletler ile de ölçülebilirler. Dünyanın manyetik alanı, GCR’lerden korumak için çalışır, ancak kutup bölgelerine yakın yerlerde çok az koruma sağlar. Yüksek enlemlerde ise yolcular ve uçak mürettebatının radyasyona uğramalarına sebep olabilir. Uydu sistemlerinden kolayca geçebilen bu parçacıklar bazen uzay araçlarına da hasar verebilir (URL-5).

2.1.2. Güneş Radyasyon Fırtınası

Güneş radyasyon fırtınası (SRS) bazen güneş enerjili parçacık (SEP) olarak da adlandırılmaktadır. Genellikle Güneşteki büyük patlamalardan sonra meydana gelir ve 10 MeV'den daha büyük protonları hızlandırır (Augusto ve ark. 2015; Alçay ve Gungor, 2020). NOAA, Güneş radyasyon fırtınalarını S1 (küçük) ile S5 (büyük) arasında bir ölçekte derecelendirir. SRS'ler, patlamanın büyüklüğüne bağlı olarak saatlerden günlere kadar değişen zaman dilimleri boyunca devam edebilir (URL-6).

Radyasyon fırtınaları, manyetosfer ve atmosfer tarafından engellenir ve Dünyada ki insanlara ulaşması çok zordur. Ancak Dünya yakınında uydular ve astronotlar üzerinde farklı olumsuz etkilere sebep olur. Güneş radyasyon fırtınaları yüksek frekanslı (HF) radyo kesintilerine, uydulardaki elektronik, bellek ve görüntüleme sistemlerinde zarara ve Dünya'nın manyetosferinin dışındaki astronotlarda radyasyon zehirlenmesine neden olabilir (URL-7).

Şekil 2.3'te farklı şiddette ki güneş radyasyon fırtınaları esnasında uydularda meydana gelen değişim görülmektedir. Sol görüntüde, güneş radyasyonu fırtınası olmadığında görüntünün normalde nasıl olduğu görülmektedir. Sağdaki görüntüde ise şiddetli bir S4 güneş radyasyonu fırtınası hakimdir. Sağdaki kameranın sensörüne çok proton çarptığı için, görüntülerde çok fazla parazite neden olmaktadır. Bu da görüntülerin kullanılamaz hale geldiğini göstermektedir (URL-8).



Şekil 2. 3 Güneş Radyasyon Fırtınaları (URL-8)

2.1.3. İyonosferik Parıldama

Bir sinyal iyonosferden geçerken üretilen radyo frekansı sinyal genliğinin veya fazının hızlı dalgalanması olayına iyonosferik parıldama denir. Parıldama, düzlem dalga şeklindeki bir radyo frekansı sinyalinin elektron yoğunluğundaki küçük ölçekli düzensizliklerden oluşan bir bölgeden geçtiğinde oluşmaktadır (URL-9). Parıldama, yerel saatin, jeomanyetik aktivite seviyesinin, frekansın, mevsimin, 11 yıllık güneş döngüsünün ve kullanıcının konumunun bir işlevidir (Koulouri ve ark. 2020; Alcay ve Gungor, 2020).

Solar maksimum sırasında daha çok görülen parıldama genellikle ekvator ve yüksek enlem bölgelerinde görülür. Güneş aktivitesindeki bir artış, iyonosferde uydu sinyallerinin kalitesini bozabilen sözde parıldama olaylarına neden olur. GNSS alıcılarında, hafif parıldama, konum doğruluğunu birkaç metreye kadar düşürebilirken şiddetli parıldama, döngü kaymalarına veya aşırı durumlarda sinyal kilidinin tamamen kaybolmasına yol açabilir. Şiddetli parıldamalar normal radyo iletişimini bile ciddi şekilde bozabilir (URL-10).

2.1.4. Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınımı

Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınımı, elektromanyetik spektrumun 10-121 nm arası dalga boylarını kapsayan güneş radyasyonudur. Tüm enlemlerde ve jeomanyetik açıdan sessiz dönemlerde görülen Dünya'nın üst atmosferine giren birincil enerjidir (Thiemann ve ark. 2019). EUV ışınımı üst atmosferi sadece ısıtmaz aynı zamanda iyonlaştırmaktadır (Qian ve ark. 2010). Bu ışınım üst atmosfer tarafından emildiğinden yerden ölçüm yapmak imkânsızdır. Bu yüzden uydular ve roketlerden ölçümler yapılmalıdır (URL-1).

Bir güneş döngüsü süresince on kat değişen Güneş aşırı ultraviyole (EUV) ışınımı, üst atmosferde ve iyonosferde benzer değişimlere sebep olur. Bu değişimler, iyonosferik değişimin üç ana faktöründen biridir. Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınımı, atmosferin kromosfer ve koronasından kaynaklanır ve genel olarak termosfer, EUV radyasyonu ile ısıtılır. EUV fotonları demir (Fe), magnezyum (Mg), hidrojen (H), sodyum (Na), helyum (He), silikon (Si) ve oksijenden (O) oluşur. Dünya'ya ulaşan bu fotonlar 80 km'nin üzerindeki atmosferde tamamen emilir. Ayrıca atmosferi

iyonlaştıran bu fotonlar iyonosferi meydana getiren elektronları oluşturur. EUV ışıınımı, güneş patlamaları olan dakikalardan saatlere, 27 günlük güneş dönüşü olan günlerden aylara ve 11 yıllık güneş döngüsü olan yıllardan on yıllara değişir (URL-11).

Termosfer ve iyonosferin EUV değişimlerine tepkisi farklıdır. Termosfer 2-4 saat aralığında yanıt verirken iyonosfer anında yanıt verir. Bu nedenle, uzay iklim koşullarının doğru tahmini için gerçek zamanlı Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) Işınım bilgisi gereklidir (Thiemann ve ark. 2019).

2.1.5. Kutup Işıkları

Kutup ışıkları, yeryüzünün manyetik alanı ile Güneşten gelen yüklü parçacıkların çarpışması sonucu oluşan gökyüzünde görülen doğal ışımalardır (URL-12). Kuzey ve güneydeki bu ışıklar Borealis (kuzey) kutup ışıkları (Şekil 2.4) ve Australis (güney) kutup ışıkları olarak isimlendirilir. Kutup ışıkları, dünya yüzeyinin 80 ila 500 km üzerinde oluşmaktadır (URL-1). Bu ışıkları daha düşük enlemlerden de görmek mümkündür (Alcay ve Gungor, 2020).



Şekil 2. 4 Bear Gölü Üzerindeki Kuzey Kutup Işıkları (URL-12)

Güneşten gelen parçacıklar farklı moleküllerle çarpıştığı için farklı renklerde olabilirler. Çoğu yeşilimsi sarı olan kutup ışıklarının mavi, mor ve nadirde olsa kırmızı renkleri de olabilir. Kutup ışıkları ışık üretmeye ek olarak ısı da biriktirir. Bu biriken ısı, kızılötesi ışınlama ile dağıtılır veya atmosferdeki güçlü rüzgârlar aracılığıyla uzaklaşması sağlanır (Combs ve Viereck, 1996).

Kutup ışıkları, mevcut jeomanyetik fırtına koşullarının bir belirtisidir ve bir dizi teknoloji için durumsal farkındalık sağlar. Jeomanyetik fırtınalar auroral alt fırtınalarda kutup ışıklarının hareketinde ve parlaklığında ani değişiklikler meydana getirebilir. Kutup ışıkları, ekipman arızalarını, GPS/GNSS uydu navigasyonunu, HF radyo iletişimini ve elektrik hatlarındaki dalgalanmaları olumsuz yönde etkiler (URL-13; Combs ve Viereck, 1996).

2.1.6. Gezici İyonosferik Bozucu Etki

İyonosferde ki düzensiz değişimlere sebep olan ve çoğu enlemde bulunan Gezici İyonosferik Bozucu Etki (TID) nötr atmosferdeki atmosferik yerçekimi dalgalarının (AGW) iyonosferde görünmesi olup manyetik fırtınalar ile ortaya çıkar (Hines, 1960). TID'ler periyot, dalga boyu ve hıza göre küçük (SSTID), orta (MSTID) ve büyük ölçekli (LSTID) olmak üzere üçe ayrılır (Hunsucker, 1982).

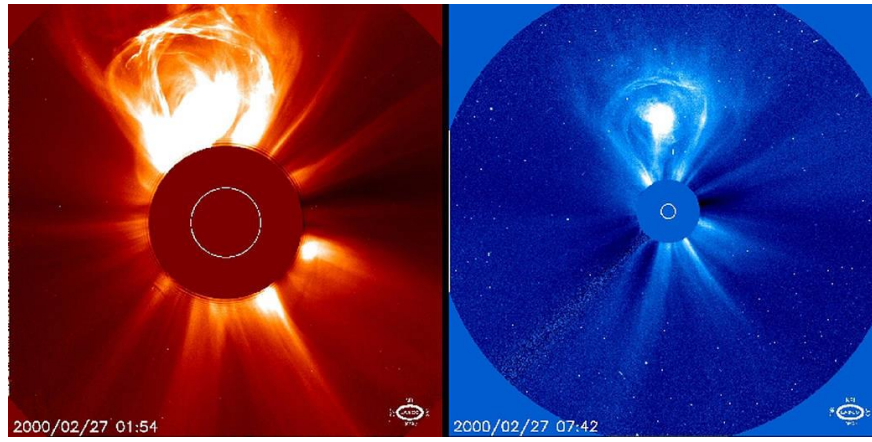
MSTID'ler 50-300 m/s arasında değişen hızlara sahipken LSTID'ler ise 300 m/s'den daha hızlı yatay hızlara sahiptir. LSTID'ler 60 dakikadan daha uzun, MSTID'ler 10-60 dakika arasında SSTID'ler ise birkaç dakikalık zamansal periyotlara sahiptir. Bu bozucu etkiler iyonosferdeki elektron içeriğinin zamansal ve uzaysal değişimi gözlemlenerek tespit edilebilir (Cander, 2019; Alcay ve Gungor, 2020).

TID'ler GNSS gibi uydu navigasyon teknolojilerini etkileyerek hassas konumlandırma uygulamalarında bozulmaya sebebiyet verir. Genelde LSTID'ler, jeomanyetik olarak bozulan koşullarla ilişkilidir (Davis ve da Rosa, 1969; Bolmgren ve ark. 2020).

2.1.7. Taçküre Kütle Atımı

Taçküre kütle atımları (CME'ler), Güneş'in dış atmosferinden heliosfere (Güneş sistemimizdeki tüm gezegenleri içine alan güneş rüzgârı tarafından

oluşturulmuş manyetik baloncuk) fırlatılan plazma ve manyetik alan patlamalarıdır. CME'nin hızı, uzay iklim koşulları tahminleri için önemlidir (Jin ve ark. 2017). CME'ler düşük, hızlı ve daha hızlı olmak üzere üç farklı hıza sahiptirler (Kumar ve Pandeya, 2020). Jeomanyetik fırtınalara sebep olan CME'ler, Dünya'nın manyetosferini bozabilir (Gosling, 1993; Alcay ve Gungor, 2020). Şekil 2.5'te 27 Şubat 2000'de SOHO LASCO C2 ve C3 tarafından alınan bir CME görüntüsü verilmektedir (URL-14).



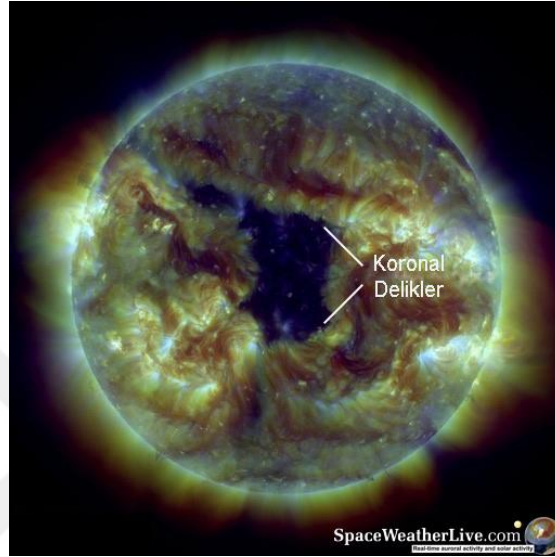
Şekil 2. 5 27 Şubat 2000'de SOHO LASCO C2 ve C3 tarafından alınan bir taçküre kütle atımı (URL-14)

CME'ler, Güneş lekeleri ve patlamaları ile ilişkilidir. CME'lerde artış, Güneş lekeleri arttığı zaman meydana gelmektedir. Solar maksimuma yakın Güneş her gün yaklaşık üç CME üretirken, minimum dönemde ise her beş günde bir CME üretir. CME'nin oluşturduğu parçacıkların toplam kütlesi, yükü ve hızı Dünyayı ne derecede etkileyeceğini gösterir (URL-15).

2.1.8. Koronal Delikler

Güneş koronası Güneş'in dış atmosferidir. Koronal delikler yüksek hızlı güneş rüzgâr akışlarının kaynağıdır ve jeomanyetik fırtınalar üretebilir. Bu yüksek hızlı rüzgârlar uyduları da olumsuz yönde etkilemektedir (URL-16). Özel ekipmanlarla görülebilen koronal delikler, çevresine göre daha az yoğun ve soğuktur. Bu delikler güneş döngüsünün herhangi bir anında ortaya çıkar ve Güneş aktivitesinin düşük olduğu zamanlarda jeomanyetik fırtınaların en yaygın kaynağıdır. Bu kaynaktan

oluşan jeomanyetik fırtınaların dereceli bir başlangıcı vardır. Genellikle CME'lerin neden olduğu fırtınalar kadar şiddetli değildir (URL-9). Şekil 2.6'da NASA'nın Güneş Dinamikleri Rasathanesi tarafından görülen tipik bir koronal delik örneği verilmiştir (URL-17).



Şekil 2. 6 NASA'nın Güneş Dinamikleri Rasathanesi tarafından görülen tipik bir koronal delik (URL-17)

Koronal delikler aylarca, haftalarca süren Güneş özellikleridir. Bu deliklerin boyutları, heliografik konumları ve sayısı güneş aktivitesi döngüsünün işlevini oluşturur (Cranmer, 2009).

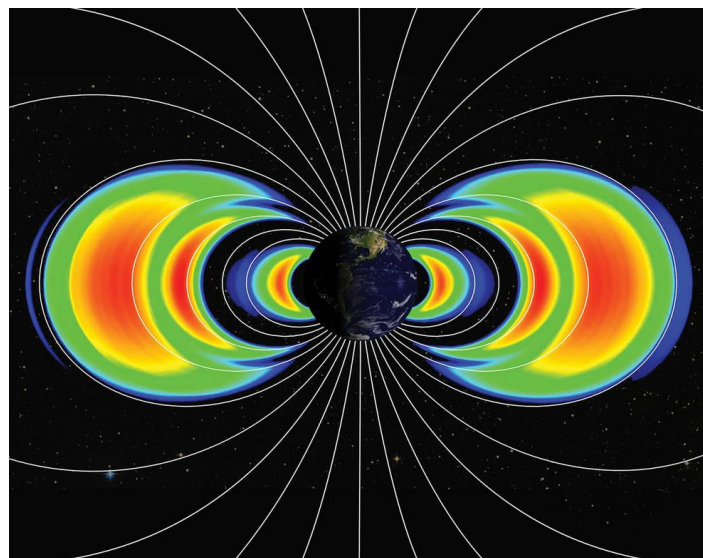
2.1.9. Jeomanyetik Fırtınalar

Jeomanyetik fırtınalar, CME'lerden, güneş rüzgârlarından veya güneş patlamalarından gelen yüksek konsantrasyonlarda elektrik yüklü parçacıkların, Dünya'nın atmosferiyle etkileşime girmesiyle oluşmaktadır (URL-18). Bu fırtınaların sıklığı, güneş lekeleri döngüsüyle birlikte artar veya azalır. Jeomanyetik fırtınalar, güneş maksimum sırasında daha çok meydana gelir ve çoğunluğu CME tarafından yönlendirilir. Jeomanyetik fırtınalar Dst indisindeki değişikliklerle tanımlanmaktadır ve boyutu Dst indisinin ölçüsüne göre orta, şiddetli veya süper fırtına olarak sınıflandırılmaktadır. (Gonzalez ve ark. 1994; Cander ve Mihajlovic, 1998).

Jeomanyetik fırtına esnasında iyonosferin toplam elektron yoğunluğu (TEC) artar ve uydulardan sinyal yayılmasında gecikmelere yol açabilir. Radyo iletişimi jeomanyetik fırtınalara karşı hassastır. İyonosfer, fırtınalar sırasında ısındığı ve bozulduğu için radyo iletişimi, GPS iletişimi, uydu iletişimi gibi uzaya bağlı hizmetlerin işleyişi ve elektrik dağıtım şebekeleri bozulabilir. Jeomanyetik fırtına ne kadar güçlü olursa, bu bozulmalar o kadar şiddetli ve uzun süreli olabilir. Astronotlar ve yüksek irtifa pilotları artan radyasyon seviyelerine maruz kalabilirler. Ayrıca jeomanyetik fırtınalar kutup ışıklarının oluşmasında etkilidir (URL-18; URL-19; URL-20).

2.1.10. Radyasyon Kuşakları

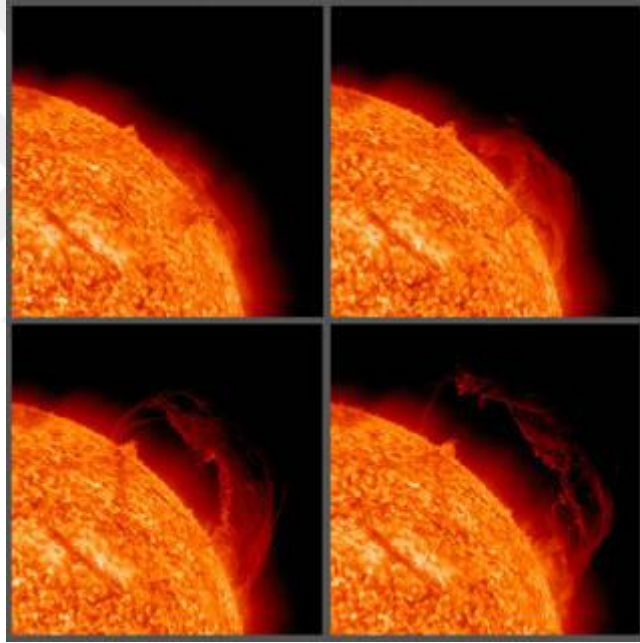
Enerjik proton ve elektronların Dünya'yı çevrelemesiyle radyasyon kuşakları oluşmaktadır. 1958'de iç ve dış olmak üzere iki radyasyon kuşağı keşfedilmiştir. Parçacıkların enerji seviyesine bağlı olarak, yaklaşık bir kuşak 1.1-3 Re (Dünya yarıçapı) arasında olabilir (URL-1). Oldukça hareketli olan radyasyon kuşaklarının bazı parçacıkları bazen ışık hızında hareket eder (URL-21). Parçacıklar iyonosferi, astronotları ve uyduları olumsuz etkiler (Baker ve ark. 1998 ; URL-1; Alcay ve Gungor, 2020). Şekil 2.7'de 30 Ağustos 2012'de fırlatılan NASA'nın ikiz Van Allen Problarındaki parçacık algılama cihazları, Dünya çevresinde yeni, geçici ve üçüncü bir radyasyon kuşağının varlığını bilim insanlarına göstermiştir (URL-22).



Şekil 2. 7 Dünya çevresindeki yeni, geçici üçüncü bir radyasyon kuşağı (URL-22)

2.1.11. Güneş Patlamaları

Güneş patlamaları, Güneş yüzeyinin yakınında gözlenen ve Güneşin dış atmosferinde biriken manyetik enerjinin aniden salınımı ile gerçekleşen yoğun radyasyon patlamasıdır (Kharayat ve ark. 2018). Güneş patlamasının üç aşaması vardır ve bu aşamaların süresi bazen bir saat kadar uzun olabilirken bazen de birkaç saniye kadar kısa olabilir. Bir patlamanın sıcaklığı 10-100 milyon Kelvin arasında değişebilir. Güneş patlamalarının meydana gelme sıklığı, 11 yıllık Güneş döngüsüne denk gelir ve minimum ve maksimum dönemlerinde doğru orantılı olarak patlamaların sayısı değişir (URL-23). Şekil 2.8’de NASA tarafından yayımlanan 15 Eylül 2010 da gerçekleşen Güneş patlamasının ilerleyişi gösterilmektedir (URL-24).

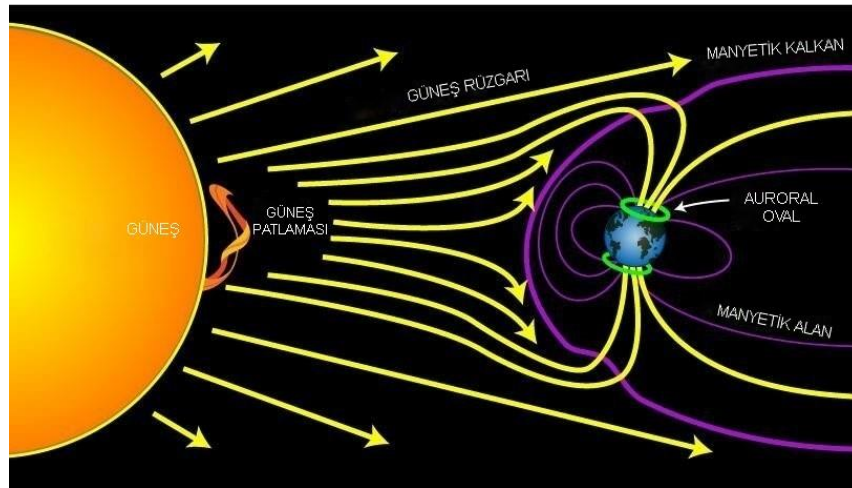


Şekil 2. 8 15 Eylül 2010 ‘da gerçekleşen Güneş patlaması (URL-24)

Güneş lekeleri ile ilişkili olan Güneş patlamalarına bazen CME eşlik eder (URL-25). Aktif bölgelerde oluşan bu patlamalar elektromanyetik radyasyon içeren çok fazla enerji açığa salabilirler (URL-26). Güneş patlamaları, X-ışını parlaklıklarına göre küçükten büyüğe göre A,B,C,M ve X olarak sınıflandırılır. Bu patlamalar GPS ölçümlerinin hassasiyetini bozmaya, uzay araçlarına zarar vermeye, iletişim sistemlerinde bozulmaya, uyduların sürüklenmesine, ömrünü kısaltmasına ve sinyallerinin bozulmasına neden olur (URL-27; Kiruthiga ve ark. 2021).

2.1.12. Güneş Rüzgârı

Güneş'in üst atmosferinden yayılan ve elektron ve protonlardan oluşan yüklü parçacık akışına güneş rüzgârı denir. Güneş rüzgârı hız, yoğunluk ve sıcaklık bakımından zamanla değişir. Güneş rüzgârı parametreleri, manyetik fırtınalar, alt fırtınalar, kutup ışıkları, göreceli elektronların hızlanması vb. gibi çeşitli olayları içeren uzay-hava etkinliklerinin başlatılmasında önemli bir rol oynar (Ahluwalia, 2003). Bu bozulmalar, Güneş'in güneş patlamaları, taçküre kütle atımı ve yüksek hızlı güneş rüzgârı (HSSW) akışları gibi çeşitli aktivitelerinden kaynaklanır (Kharayat ve Prasad, 2017). Şekil 2.9'da NASA tarafından Dünya manyetosferinin güneş rüzgârı manyetik alanı ile etkileşimi gösterilmektedir (Wang, 2018).



Şekil 2. 9 Dünya manyetosferinin güneş rüzgâr plazması ile etkileşimi (Wang, 2018)

Farklı yoğunluk ve hızlarda güneş rüzgârları mevcuttur. Bu rüzgârlar genelde 500 km/s'den daha düşük hızlara sahipken 800 km/s'yi aşan rüzgârlarda vardır (Gogoberidze ve Voitenko, 2020). Güneş rüzgâr hızı 800 km/s'nin üzerine çıktığında uydulara, elektrik güç sistemlerine, ozon tabakasına, GPS'e zarar verebilir (URL-28; Li ve ark. 2021). Jeomanyetik fırtınalara neden olan yüksek hızlı güneş rüzgârlarıdır. Bu nedenle uzay iklim koşullarının tahminleri için güneş rüzgârları büyük öneme sahiptir (URL-29).

2.2. İndisler

2.2.1. Güneş Aktivite İndisleri

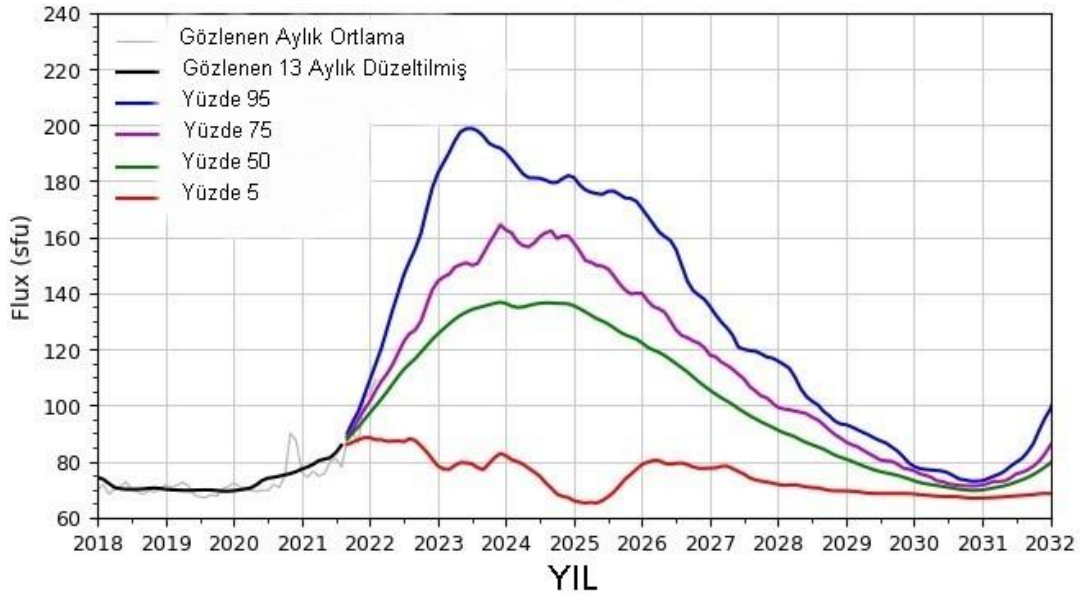
2.2.1.1. F10.7 İndisi

Güneş aktivite indislerinden biri olan ve en yaygın kullanılan 10.7 cm (2800 MHz) dalga boyuna sahip F10.7 indisinin birimi Solar Flux Units'dir (SFU) (Mukesh ve ark. 2019). Güneş aktivitesinin en köklü kayıtlarından biri olan F10.7, 1947'den beri ölçülmektedir (URL-30). F10.7 indisi, Güneş Lekesi Sayısı (SSN) ile ilişkilidir (URL-9). F10.7 değerleri geniş bir aralıkta değişir. Güneş lekesinin minimum olduğu dönemlerde 50 sfu kadar düşük olabilirken güneş lekesinin maksimum olduğu dönemlerde ise 300 sfu'ya çıkabilir. Bu indisin eşik değeri 150 sfu'dur ve bu değerin üstüne çıkarsa yüksek güneş aktivitesi durumu söz konusudur ($1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ Wm}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$) (Alcay ve Gungor, 2020).

F10.7 indisi Güneşin dış atmosferinden ve kromosferinden geldiği için Güneş aktivitesinin diğer bir indisi olan Extreme UltraViolet (EUV) ile birlikte izlenebilir. Her türlü hava koşulunda Dünya yüzeyinden ölçülebilen F10.7 indisi sağlam ve güvenilir veri kaynağıdır (URL-30).

GPS navigasyon sinyalinden iletilen ve iyonosferik model katsayılarından çıkarılan F10.7 indisi GPS'den türetilir. J. Klobuchar tarafından geliştirilen bu model GPS tek frekans kullanıcıları için tasarlanmıştır. Bu model iyonosferin GPS frekansları üzerindeki etkisinin dünya üzerindeki konumun, günün saatinin, mevsimin ve 10.7cm güneş radyo akısının (F10.7) bir işlevi olarak tahminlerini sağlamaktadır (Klobuchar,1987; URL-31).

Güneş döngüsü tahmin tekniği mevcut döngünün devamını tahmin etmek için kullanılır. Şekil 2.10'da görev planlaması ve mühendislik uygulamaları için bir sonraki güneş döngüsü için genişletilmiş bir tahmin verilmektedir (URL-32).



Şekil 2. 10 Güneş Radyo Akısı (URL-32)

F10.7 indisinin yıllık, aylık ve günlük değerleri Ulusal Çevresel Bilgi Merkezleri (NCEI) NOAA web sitesinde "Güneş İndisleri" bölümünde verilmektedir (URL-33).

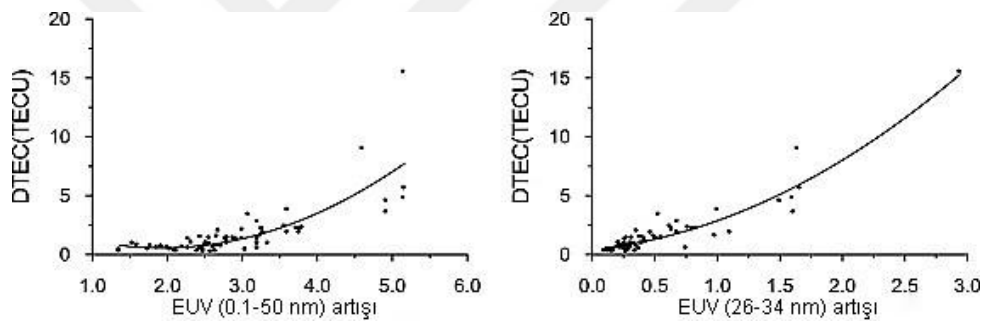
2.2.1.2. Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) (26-34 nm / 0.1-50 nm) İndisi

Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) ışınımı ve X-ışını fotonları, Dünya'nın termosferinin ve iyonosferinin birincil enerji kaynağıdır (Mitra, 1974; Liu ve ark. 2011; Le ve ark. 2011). Elektromanyetik spektrumun 10-120 nm arası dalga boylarına sahip Güneş Aşırı Ultraviyole (EUV) ışınımı, bir güneş radyasyonudur (Alcay ve Gungor, 2020). EUV ışınımının verileri, birinci derece akı olan 26-34 nm ve sıfır derece akı olan 0.1-50 nm dalga boyu bantlarına sahiptir. Bu dalga boyları, üst iyonosferin iyonlaşmasına sebep olmaktadır (Rishbeth ve Garriott, 1969; Le ve ark. 2011).

10-120 nm arasındaki Güneş EUV radyasyonu, Güneş atmosferinin kromosferinden ve dış atmosferinden kaynaklanmaktadır. Bu radyasyonda oksijen (O), silikon (Si), hidrojen (H), demir (Fe), sodyum (Na), helyum (He) ve magnezyumdan (Mg) gelen spektral çizgiler hakimdir. Güneş EUV radyasyonu üst atmosfer tarafından emildiğinden yerden ölçüm yapmak imkânsızdır. Bu yüzden uydu ve roketlerden ölçüm yapılmaktadır (URL-1).

Güneş ve Heliosferik Gözlemevi (SOHO), 1996 yılından beri EUV izlemesi yapmaktadır (Judge ve ark. 1998; Alçay ve Gungor, 2020). Bu izleme özel tasarlanmış bir spektrometre aracılığıyla EUV verilerini kesintisiz bir şekilde sunmaktadır (Judge ve ark. 1998). SOHO'dan farklı olarak CELIAS ve SEM'de uzun zamandır EUV ölçümleri sağlamaktadır. 26-34 nm (+/-1. derece) ve 0.1-50 nm (0. derece) bantları güneş akısını ölçmektedir (Wieman ve ark. 2013).

Hem 26-34 nm hem de 0.1-50 nm EUV bantları için, EUV akısı ve TEC arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. 26-34 nm bölgesindeki akı artışı Güneş parıldaması sırasında TEC ile daha bağlantılıdır. Tüm Güneş parıldaması olayları için EUV akısı ve TEC artışları arasındaki ilişki Şekil 2.11'de verilmektedir (Zhang ve ark. 2011).

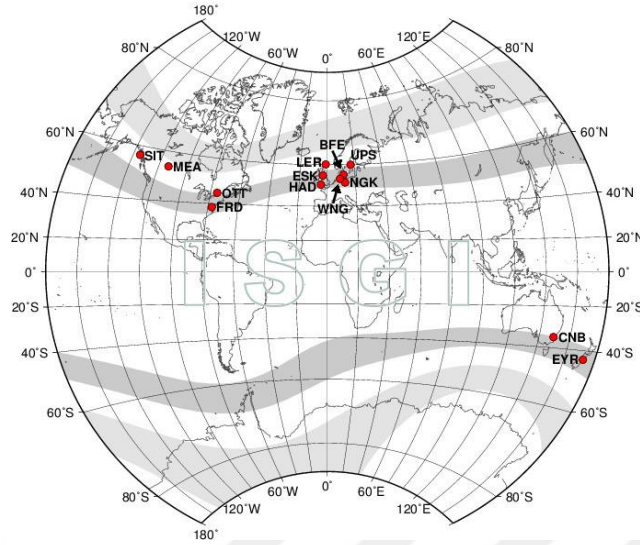


Şekil 2. 11 Seçilen tüm parıldama olayları için 0,1–50 nm ve 26–34 nm bölgelerindeki TEC artışı ile EUV akısının artışları arasındaki ilişki (Zhang ve ark. 2011)

2.2.2. Jeomanyetik Fırtına ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri

2.2.2.1. Jeomanyetik Fırtına İndisi (Kp)

Gezegen indisi (planetarische Kennziffer) anlamına gelen jeomanyetik fırtına (Kp) indisi, Dünya'nın manyetik alanının değişimini ölçmek, izlemek ve bu alandaki bozuklukların şiddetini göstermek için kullanılır. Ayrıca jeomanyetik aktivitenin altında yatan sebepleri incelemek için de kullanılır. Kp indisi, 13 yer tabanlı manyetik gözlemevi (Şekil 2.12) (URL-34) tarafından izlenen, 3 saat aralıklarla türetilen, iki yatay manyetik alan bileşenindeki jeomanyetik bozulma seviyelerinin ortalama değerini temsil etmektedir (Menvielle ve Berthelier, 1991). Kp indisi 0 ile 9 arasında değişir; burada 0 değeri minimum jeomanyetik aktiviteyi gösterirken 9 değeri aşırı jeomanyetik fırtınalar anlamına gelmektedir (Lemmerer ve Unger, 2019).



Şekil 2. 12 Kp gözlemvlerinin dağılımı (URL-34)

Kp gözlemvlerindeki her istasyon, bulunduğu enleme göre kalibre edilir ve manyetometrede ölçülen jeomanyetik aktiviteyle ilişkili olarak bir K indisi vermektedir. Bu K indisi verilen zaman ve konumdaki jeomanyetik aktivitenin üç saatlik yarı-logaritmik yerel indisi. Her istasyondan alınan K değerlerinin bir araya gelmesiyle de Global Kp indisi belirlenir (URL-35). Kp indisi küresel manyetik aktivitenin göstergesi iken, K indisi yerel manyetik bozukluğun bir göstergesidir (Prölss, 2004; Uwamahoro ve Habarulema, 2014).

Güneş rüzgâr hızıyla ilişkili olan Kp indisinin tahminini zorlaştıran Güneş rüzgâr hızının değişkenliğidir. Kp indisi ile güneş rüzgâr parametreleri arasındaki ilişkiler, uzay iklim koşulları tahminleri için gereklidir (Lemmerer ve Unger, 2019).

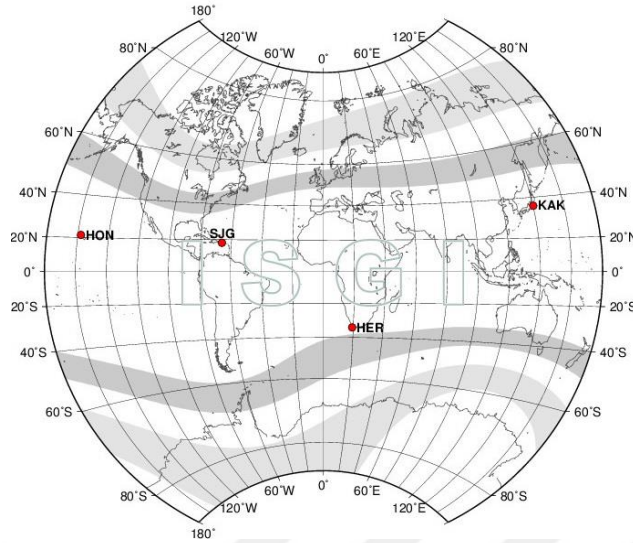
Hem gözlemlenen hem de tahmin edilen jeomanyetik aktivitenin şiddetini göstermek için G ölçeği adı verilen beş seviyeli bir sistem NOAA tarafından kullanılmaktadır. G ölçeği 1'den 5'e kadar değişmektedir ve G1 en düşük seviyeyken G5 en yüksek seviyedir. 0 ile 9 arası değer alan Kp indisi, Kp=5 iken G1 ölçeğinde küçük fırtına, Kp=6 iken G2 ölçeğinde orta şiddetli fırtına, Kp=7 iken G3 ölçeğinde güçlü fırtına, Kp=8 iken G4 ölçeğinde şiddetli fırtına ve Kp=9 iken G5 ölçeğinde olup aşırı fırtına hakimdir. Uzay Hava Tahmin Merkezi, jeomanyetik aktivitenin yüksek

olduğu zamanlarda yani $K_p=4$ veya daha yüksek bir eşiğe geldiğinde uyarılar gönderir (URL-35).

G ölçeğinin seviyesi arttıkça fırtınaların şiddeti de artmaktadır ve buna bağlı olarak etkileri de artmaktadır. G1 ölçeği güç şebekesinde hafif olumsuz etkiler yaratırken G2 ölçeğinde uzun süren fırtınalar yüzünden trafo hasarına neden olabilir. G3 ölçeğinde uydularda yönelim ve sürüklenme problemleri meydana gelebilirken radyo navigasyon sorunları da ortaya çıkabilir. High Frequency (HF) radyo yayılımını olumsuz etkileyen ve radyo navigasyonunu kesintiye uğratan ise G4 ölçeğidir. En etkili en şiddetli G5 ölçeğinde elektrik kesintileri yaşanabilir ve uydu navigasyonu günlerce bozulabilir (URL-36).

2.2.2.2. Jeomanyetik Aktivite İndisi (Dst)

Jeomanyetik aktivitenin karakterize edilmesinde kullanılan en yaygın indislerden biri de Dst'dir (Disturbance storm time) ve birimi Nano Tesla (nT)'dir. İndis, manyetik fırtınalar sırasında karasal manyetosferden kaynaklanan ve manyetik alanın yatay bileşeninde azalmaya yol açan halka akımının etkisiyle jeomanyetik alanda meydana gelen değişikliklerin bir ölçüsüdür. Dst, Dünya'nın manyetik alan kuvvetinin yatay bileşeninin (H bileşeni) bozulmalarının ortalamasından saatlik aralıkta elde edilmektedir (Myagkova ve ark. 2021). Bir fırtınanın olup olmadığını belirleyen Dst indisi, Honolulu (21.0° kuzey, 266.4°), Kakioka (26.0° kuzey, 206.0°), San Juan (29.9° kuzey, 3.2°) ve Hermanus (33.3° güney, 80.3°) olmak üzere 4 gözlemevinin (Şekil 2.13) verilerinden hesaplanmaktadır (URL-37; Banerjee ve ark. 2012).



Şekil 2. 13 Dst gözlemlerinin dağılımı (URL-37)

Jeomanyetik fırtınalar, Dst indisinin değerlerine göre sınıflandırılmaktadır. $-50 \text{ nT} < \text{Dst} < -30 \text{ nT}$ arasındaysa zayıf fırtına, $-100 \text{ nT} < \text{Dst} < -50 \text{ nT}$ arasındaysa orta şiddetli fırtına, $-200 \text{ nT} < \text{Dst} < -100 \text{ nT}$ arasındaysa yoğun fırtına ve $\text{Dst} < -200 \text{ nT}$ süper fırtınalar olarak tanımlanmaktadır (URL-38).

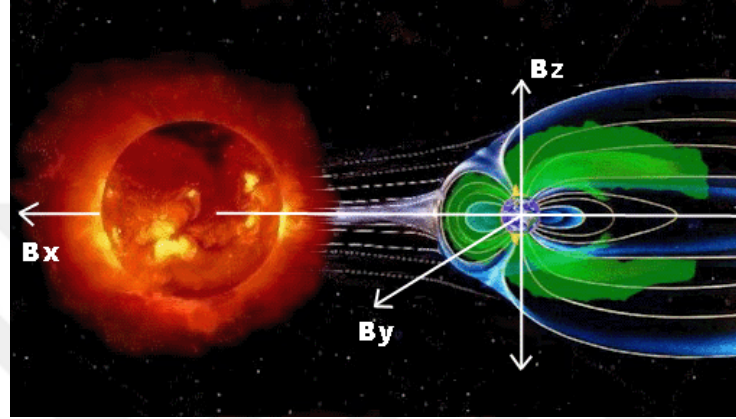
Dst'nin pozitif değerleri bir fırtınanın ilk aşamasında gündüz manyetosferinin sıkışmasından kaynaklanırken, negatif değerleri ise fırtına ile ilgili akımların, özellikle de halka akımının oluşumundan sorumludur. Bu nedenle Dst indisinin pozitif ve negatif değerleri farklı fiziksel süreçlerden kaynaklanmaktadır (Takalo, 2021). Ayrıca Güneş fırtınaları sırasında meydana gelen negatif bir Dst, hem bir manyetik fırtınayı hem de dünyanın manyetik alanının zayıfladığını göstermektedir (Banerjee ve ark. 2012).

2.2.3. Manyetik Alan Değişim İndisleri

2.2.3.1. Bx, By, Bz İndisi

Gezegenler arası manyetik alan (IMF), güneş rüzgârları tarafından uzaya taşınan Güneş'in manyetik alanının bir parçasıdır. IMF, alt fırtınalar ve manyetik fırtınalar gibi Dünya çevresindeki uzay bozukluklarını belirleyen kritik etkindir (Choi ve Lee, 2019). IMF indisleri Bx, By ve Bz'dir (Şekil 2.14) ve birimi nanoTesla'dır (nT). Bx ve By bileşenleri yörünge düzlemine paralelken Bz bileşeni yörünge

düzlemine diktir (URL-39). Bz bileşeni jeomanyetik sessiz dönemde kuzeye, aktif dönemde ise güneye yönelmektedir (Abraha, 2014; Alcay ve Gungor, 2020). Güneye yönelen Bz bileşeninin hacmi manyetik fırtınaların ana sebebidir (Adhikari ve ark. 2019). Gonzalez ve ark. (1994) Bz indisini, kuvvetli fırtına (-10 nT), hafif fırtına (-5 nT) ve zayıf fırtına (-3 nT) olmak üzere üç farklı ölçekte sınıflandırmıştır (Ulukavak, 2016).



Şekil 2. 14 Manyetik Alan Değişim İndisleri (URL-39)

Bz bileşeni, güneş rüzgârındaki dalgalanmalardan ve diğer etkilerden kaynaklanır. IMF ve jeomanyetik alan çizgileri zıt yönlerde yönlendiğinde, güneş rüzgârı akımından manyetosphere momentum, kütle ve enerji aktarımı gerçekleşir (Sentürk, 2018). Güneye yönelmiş kuvvetli bir Bz bileşeni Dünya'nın manyetik alanına zarar verebilir ve manyetosferi bozabilir. Ayrıca kutup ışıklarına da neden olabilir (URL-39).

2.2.4. Plazma Yoğunluğu ve Proton Akısı İndisleri

2.2.4.1. Proton Yoğunluğu İndisi

Plazma yoğunluğu, radyasyon fırtınalarının taşıdığı protonlardır ve Dünya'nın manyetik alanı tarafından iletilen bu protonlar kuzey ve güney kutuplarda karşılaşırlar. Yüksek enlemlerde olan bu protonlar yüksek frekanslı sinyal iletişimde kesintiye neden olurlar (Ulukavak, 2016). Aktivite ölçüsü olarak kullanılan proton yoğunluğunun birimi Np/cm^3 'dir ve birim cm^3 hacmi içinden geçen protonların sayısını belirtmektedir. Proton yoğunluğu hızlı güneş rüzgârı sırasında azalır, yavaş güneş rüzgârı sırasında ise artmaktadır (Schwenn, 2001). Eşik değeri 15 $\text{proton}/\text{cm}^3$ (Ulukavak ve Yalçinkaya, 2018) olan proton yoğunluğu eşik değerinden

büyükse aktif uzay iklim koşulu olarak değerlendirilir ve bu indisin verileri bir saat çözünürlükte elde edilir.

NOAA Uzay Çevre Hizmetleri Merkezi'nin tanımına göre, bir güneş proton olayı (SPE), >10 MeV proton için >10 pfu tepe yoğunluğuna sahip bir olay olarak tanımlanır (Le ve ark. 2014). 1960'lı yıllardan beri Güneş proton olayı gözlemleri yapılmaktadır. En fazla güneş maksimum dönemlerde meydana gelen güneş proton olayları, hızlı taçküre atımından kaynaklanmaktadır. Güneş proton olayı esnasında uydular, yüksek enerjili parçacıklar tarafından bombardıman yaşamaktadır ve bu olay uyduları olumsuz etkilemektedir. Bu parçacıklar güneş olayını takip eden dakika ile saat aralığında Dünya'ya ulaşabilir (URL-40).

2.2.4.2. Proton Akı İndisleri

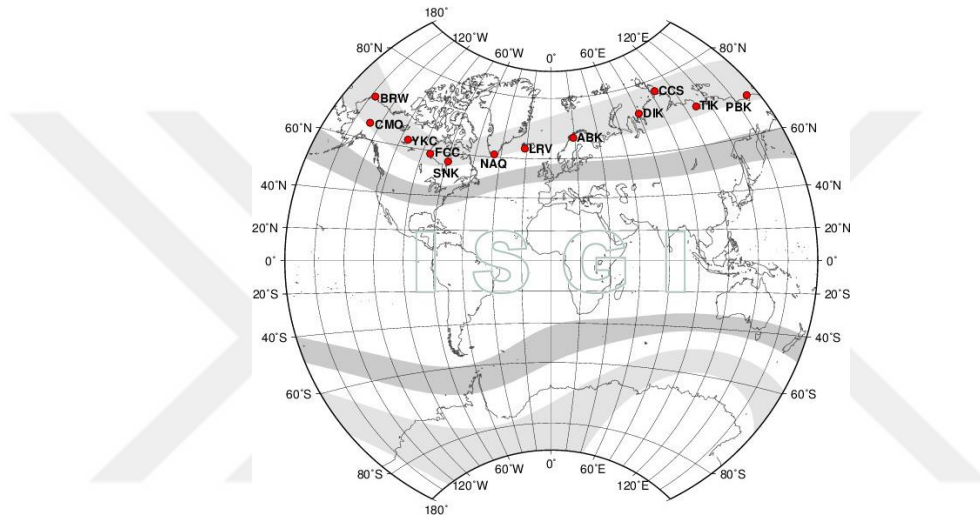
Güneş radyasyonu fırtınalarını tanımlamak üzere kullanılan proton akı indislerinin 1, 2, 4, 10, 30, 50, 60 ve 100 MeV (Milyon Elektro Volt) olmak üzere farklı enerji eşikleri vardır (URL-40; URL-41). Proton akısı eşik değeri ≥ 10 MeV'de 10 proton akısıdır (URL-6; Alcay ve Gungor, 2020). MeV'lerin birimi proton akı birimidir ($1 \text{ pfu} = 1 \text{ parçacık cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ ster}^{-1}$) ve protonların enerji miktarını gösterir (Schwenn, 2001, Shollykutty ve Kurian, 2009; Ulukavak, 2016). Proton akısı, gezegenler arası manyetik alanın ve güneş patlamalarının etkileriyle saçılan protonların miktarı ile belirlenmektedir (Melnikov, 1990; Shea ve Smart, 1993; Ulukavak, 2016).

Güneş radyasyonu fırtınalarını, NOAA S1-S5 arası bir ölçekte sınıflandırmıştır (URL-6) ve S1 ölçeğinde düşük, S5 ölçeğinde ise güçlü etkiler meydana gelmektedir. S1 ve S2 ölçeğinin etkileri çok düşüktür. S3 ölçeğinde yüksek enlemlerdeki uçakların içindeki yolcular ve mürettebat radyasyon riskine maruz kalabilirken, S4 ölçeğinde HF telsiz iletişiminde bozulma ve navigasyon hataları olabilir. En şiddetli S5 ölçeğinde ise uydular kullanılamaz hale gelebilir (URL-36).

2.2.5. AE İndisi

AE ve ilgili indisler 1966'da T.N. Davis ve M. Sugiura tarafından geliştirilmiştir (URL-42). AE indisi, kuzey yarımkürede auroral bölge boyunca

seçilmiş (10-13) gözlemlerinde (Şekil 2.15) gözlemlenen yatay bileşendeki jeomanyetik değişimlerden türetilmiştir. $AE=AU-AL$ ve $AO=(AU+AL)/2$ formülleri ile hesaplanmaktadır. "AE indisleri" ifadesi genellikle bu dört indisi (AU, AL, AE ve AO) tanımlamak için kullanılmaktadır. AU indisi doğuya doğru auroral elektrojetlerin en güçlü akım yoğunluğunu, AL ise batıya doğru auroral elektrojetlerin en güçlü akım yoğunluğunu göstermektedir. AO indisi eşdeğer bölgesel akımın bir ölçüsünü sağlarken AE indisi elektrojetlerin genel aktivitesini temsil etmektedir (URL-43).



Şekil 2. 15 AE gözlemlerinin dağılımı (URL-44)

3. TEC KESTİRİMİ VE ANOMALİLERİN BELİRLENMESİ

3.1. IONOLAB-TEC Kestirimi

3.1.1. Çift Frekans GPS Sinyallerinin İyonosferik Gecikme Modeli

GPS sinyalinin uydudan çıkış zamanı ile alıcıya ulaşma zamanı arasındaki farkın elektromanyetik dalganın boşluktaki hızı olan ışık hızı ile çarpılması sonucunda uydu alıcı arasındaki mesafe (pseudorange) hesaplanmaktadır. Hesaplanan bu uzunluğa troposferik etki, iyonosferik etki, uydu-alıcı hataları ilave edildiğinde f_1 ve f_2 frekansları için GPS alıcılarına ait kod gözlemleri için standart model Eşitlik 3.1 ve 3.2'deki gibi olmaktadır (Nayir ve ark. 2007; Arikan ve ark. 2008).

$$P_{1,u}^m = p_u^m + c(\delta t_u - \delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) \quad (3.1)$$

$$P_{2,u}^m = p_u^m + c(\delta t_u - \delta t^m) + d_{trop,u}^m + d_{ion2,u}^m + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) \quad (3.2)$$

Burada u , alıcı numaralarını m ise uydu numaralarını, p uydu ve alıcı arasındaki pseudorange, c ışığın boşluktaki hızını, δt_u ve δt^m sırasıyla alıcı ve uydu saat hatalarını, d_{trop} ve d_{ion} sırasıyla troposfer ve iyonosferden kaynaklanan grup gecikmelerini, ε^m ve ε_u frekansa bağlı uydu ve alıcı hatalarını göstermektedir (Leick, 2004).

GPS gözlemlerinden TEC değerinin elde edilebilmesi için geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon kullanılmaktadır. Bu amaçla eşitlik (3.1) ve (3.2)'nin farkı alınması ile elde edilen geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon eşitlik (3.3)'te verilmektedir (Nayir ve ark. 2007, Arikan ve ark. 2008).

$$\begin{aligned} P_{4,u}^m &= P_{2,u}^m - P_{1,u}^m \\ &= d_{ion2,u}^m - d_{ion1,u}^m + c(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) + c(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

f_1 ve f_2 frekans sinyalleri için uydu ve alıcı hataları kullanılarak, uydu ve alıcı için diferansiyel kod hataları (DCB'ler) eşitlik (3.4) ve (3.5)'teki gibi tanımlanmaktadır (Leick, 2004):

$$DCB^m = \varepsilon_1^m - \varepsilon_2^m \quad (3.4)$$

$$DCB_u = \varepsilon_{1,u} - \varepsilon_{2,u} \quad (3.5)$$

Benzer bir durum faz ölçüleri için de oluşturulabilir. $L_{1,u}^m$ ve $L_{2,u}^m$ faz gözlemleri için oluşturulan denklemler eşitlik (3.6) ve (3.7) de verilmektedir (Leick, 2004):

$$L_{1,u}^m = \lambda_1 \Phi_{1,u}^m = p_u^m + c(\delta t_u - \delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m + \lambda_1 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m \quad (3.6)$$

$$L_{2,u}^m = \lambda_2 \Phi_{2,u}^m = p_u^m + c(\delta t_u - \delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + \lambda_2 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \lambda_2 N_2^m \quad (3.7)$$

Burada λ_1 ve λ_2 , f_1 ve f_2 frekanslarına karşılık gelen dalga boylarıdır, $\Phi_{1,u}^m$ ve $\Phi_{2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarına göre alıcının kaydettiği faz gecikmeleridir. $\Phi_{ion1,u}^m$ ve $\Phi_{ion2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarına karşılık gelen iyonosferden kaynaklanan faz gecikmeleridir. N_1^m ve N_2^m , m^{th} uydu için sırasıyla f_1 ve f_2 frekanslarına karşılık gelen tamsayı faz belirsizliğini göstermektedir. $\Phi_{trop,u}^m$ ise troposfer kaynaklı faz gecikmesidir.

Eşitlik (3.6) ve (3.7)'nin farkı alındığında ise faz gecikmesinin geometriden bağımsız lineer kombinasyonları Eşitlik (3.8)'deki gibi elde edilmektedir (Nayir ve ark. 2007; Leick, 2004):

$$L_{4,u}^m = \lambda_1 \Phi_{1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \lambda_1 \Phi_{ion1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{ion2,u}^m + c(DCB^m) + c(DCB_u) + \Delta N^m \quad (3.8)$$

Burada ΔN^m faz belirsizliği farkı olup Eşitlik 3.9'daki gibi ifade edilmektedir.

$$\Delta N^m = \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m \quad (3.9)$$

Liao (2000) ve Leick (2004) tarafından verilen yaklaşım kullanarak (3.10) eşitliği elde edilmektedir.

$$d_{ion,u}^m = -\Phi_{ion,u}^m \frac{c}{f} \approx A \frac{STEC_u^m}{f^2} \quad (3.10)$$

Burada $A = 40.3 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ve $STEC_u^m$, her bir alıcı u ve uydu m arasındaki eğik TEC değeridir. Eşitlik (3.3) ve (3.8)'e Eşitlik (3.10) dahil edildiğinde Eşitlik 3.11 ve 3.12 elde edilmektedir (Komjathy, 1997; Leick, 2004; Nayir, 2007):

$$P_{4,u}^m = A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) STEC_u^m - c(DCB^m + DCB_u) \quad (3.11)$$

$$L_{4,u}^m = A \left(\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 f_2^2} \right) STEC_u^m - c(DCB^m + DCB_u) + \Delta N^m \quad (3.12)$$

DCB'lerin yatay (slant) TEC (STEC) hesaplamasına dahil edilmesi ile de Eşitlik (3.13) elde edilmektedir (Komjathy, 1997; Nayir, 2007).

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [P_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u)] \quad (3.13)$$

Burada n zaman indisini göstermektedir. STEC eşitlik (3.12)' den hesaplandığında başlangıç faz belirsizliğinin (ΔN^m) çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla eşitlik (3.14)'te ki baz yöntemi kullanılmaktadır (Arikan ve ark. 2008).

$$B = \frac{1}{N_{me}} \sum_{n_{me}=1}^{N_{me}} (P_{4,u}^m(n_{me}) - L_{4,u}^m(n_{me})) \quad (3.14)$$

Burada N_{me} bağlı faz arkındaki ölçüm sayısıdır. B 'nin (3.12) eşitliğine dahil edilmesiyle STEC Eşitlik (3.15)'teki gibi hesaplanmaktadır (Arikan ve ark. 2008).

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) (B + L_{4,u}^m(n) + c(DCB^m + DCB_u)) \quad (3.15)$$

Elde edilen STEC değerinden sonra düşey TEC değerinin (VTEC) hesabına geçilir. Bu amaçla izdüşüm fonksiyonu kullanılmaktadır (Nayir ve ark. 2007).

$$VTEC_u^m(n) = STEC_u^m(n) / M(\epsilon^m(n)) \quad (3.16)$$

Burada ki $M(\epsilon)$ izdüşüm fonksiyonu Eşitlik (3.17)'deki gibi hesaplanır.

$$M(\epsilon^m(n)) = [1 - (\frac{R \cos \epsilon^m(n)}{R+h})^2]^{-1/2} \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.16) ve (3.17)'de ϵ^m , m^{th} uydunun yükseklik açısı, h tek tabakla yüksekliği, R , Dünya'nın yarıçapıdır. Eşitlik (3.16) ve (3.17)'nin $VTEC_u^m(n)$ 'si Reg-Est (Düzenli Tahmin) yönteminin girdisi olarak kullanıldığında, Reg-Est TEC tahminleri $N \times 1$ vektörü, $\sim x_{b1}$ olarak gösterilir. VTEC hesaplamasında alıcı ve uydu hatalarının dahil edilmesi ile alternatif bir yöntem Arikan ve ark. (2003, 2004) tarafından aşağıdaki gibi tanımlanmıştır (Nayir ve ark. 2007):

$$STEC_u^m(n) = \frac{1}{A} \left(\frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [P_{4,u}^m(n)] \quad (3.18)$$

$$VTEC_u^m(n) = (STEC_u^m(n) / M(\epsilon^m(n))) + b^m + b_u \quad (3.19)$$

Burada b^m ve b_u uydu ve alıcı hataları TECU birimindedir ($1 \text{ ns} = 2.854 \text{ TECU}$). Eşitlik (3.19) Reg-Est'e girdi olarak kullanıldığında, Reg-Est TEC tahminleri bir $N \times 1$ vektörü, $\sim x_{b2}$ olarak gösterilir (Nayir ve ark. 2007).

3.2. GPS-TEC Belirleme

GPS-TEC verileri pseudorange ve faz ölçümleri kullanılarak geometriden bağımsız doğrusal kombinasyon yoluyla elde edilebilmektedir. Bunların yanı sıra, her iki yöntemin avantajlarını birleştirmek için çoğunlukla daha az gürültülü veri sağlayan faz seviyeli TEC yöntemi kullanılmaktadır (Nayir ve ark. 2007). IONOLAB-TEC yazılımı sayesinde GPS istasyonlarına ait RINEX gözlem verileri kullanarak TEC değeri elde edilebilmektedir (Sezen ve ark. 2013). Bu çalışma kapsamında seçilen IGS istasyonlarına ait TEC değerleri ionolabtecv1.30 yazılımı (URL-45) kullanılarak elde edilmiştir. Bu yazılım ile her bir epokta uydu-alıcı için STEC değerleri 30 saniye zaman çözünürlüğü ile hesaplanmaktadır. Ardından STEC değerleri izdüşüm fonksiyonu yardımı ile VTEC değerlerine dönüştürülmektedir (Nayir ve ark. 2007; Sezen ve ark. 2013). Tüm uydulardan aynı epokta elde edilen VTEC değerleri Reg-Est algoritması kullanılarak zenit doğrultusundaki TEC değeri elde edilmektedir (Arikan ve ark. 2003, 2004 ve Nayir ve ark. 2007).

3.3. TEC Anomalilerinin Belirlenmesi

İyonosferde uzay iklim koşullarından kaynaklanan herhangi bir TEC anomali olup olmadığını belirlemek için TEC verileri çeyrek açıklık tabanlı hareketli ortanca yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Liu ve ark. 2009). Bu yöntemde birinci çeyrek (Alt Çeyrek (LQ)), ortanca (Medyan (M)) ve üçüncü çeyrek (Üst Çeyrek (UQ)) değerleri belirlenmiştir. İlk 15 gün için elde edilen bu değerler 16. gün için sınır değeri oluştururken, 2-16 gün için elde edilen değerler ise 17. gün için sınır değeri olarak kullanılmıştır. TEC için ortalama ve standart sapmalarla normal dağılım varsayımıyla, M, LQ veya UQ için beklenen değeri sırasıyla m (ortalama) ve 1.34 (standart sapma) olur (Klotz ve Johnson, 1983). Alt sınır $LB=M-1.5(M-LQ)$ formülü ile üst sınır $UB=M+1.5(UQ-M)$ formülü ile hesaplanmıştır. 8 saate karşılık gelen TEC verileri üst sınırı aşarsa pozitif anomali gün, alt sınırı aşarsa negatif anomali gün olarak adlandırılmaktadır (Ulukavak, 2016; Alcay ve Gungor, 2020).

4. UYGULAMA

4.1 Uygulama 1

4.1.1 Uzak İklim Koşulları İndislerinin Analizi

Uzak iklim koşullarının etkisini araştırmak için çeşitli zaman dilimleri; 2001'de üç ay, 2003, 2004 ve 2015 yıllarından ikişer ay dikkate alınmıştır. Bu dönemlerde farklı indisler; jeomanyetik fırtına, jeomanyetik aktivite, güneş aktivitesi, manyetik alan değişim indisleri, partikül akısı ve plazma yoğunluğu indisleri dikkate alınmıştır. Herhangi bir indis eşik değerini aştığında o gün aktif gün (A) olarak belirlenmiştir (Tablo 4.1-4.9). Kp indisi 3 saatlik periyotlar da, güneş aktivite indisleri günlük ve diğer indisler ise saatlik periyotlarla elde edildiğinden bu durum dikkate alınarak eşik değerlerini aşan indislerin zaman periyotları saat biriminde verilmiştir. Güneş aktivite indisleri Tablo 4.1-4.3'te görüldüğü gibi, 2001 yılı güneş döngüsü 23'ün baskın olduğu dönemdir (Alcay ve Gungor,2020).

Tablo 4. 1 2001 Yılı Şubat Ayı Uzak İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)

ŞUBAT																														
Yıl:2001	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp																													
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)													1																
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)	24	24	24		24	24	24	24	24	24																			
	EUV(26-34 nm)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24								24									
	EUV(0.1-50 nm)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24								24									
Manyetik Alan Değişim İndisleri	Bx (nT)						15	2						11	1					3	4			3					6	
	By (nT)	2					17	2					4	9	2				1	1	7	4		11			7	10	7	
	Bz (nT)	2					8	1			1			6							6	1	4	2			6	3		
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu						8																	3			1	2		
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)																													
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A					A	A	A	A	A	A			A	A	A

Tablo 4. 4 2003 Yılı Kasım Ayı Uzak İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)

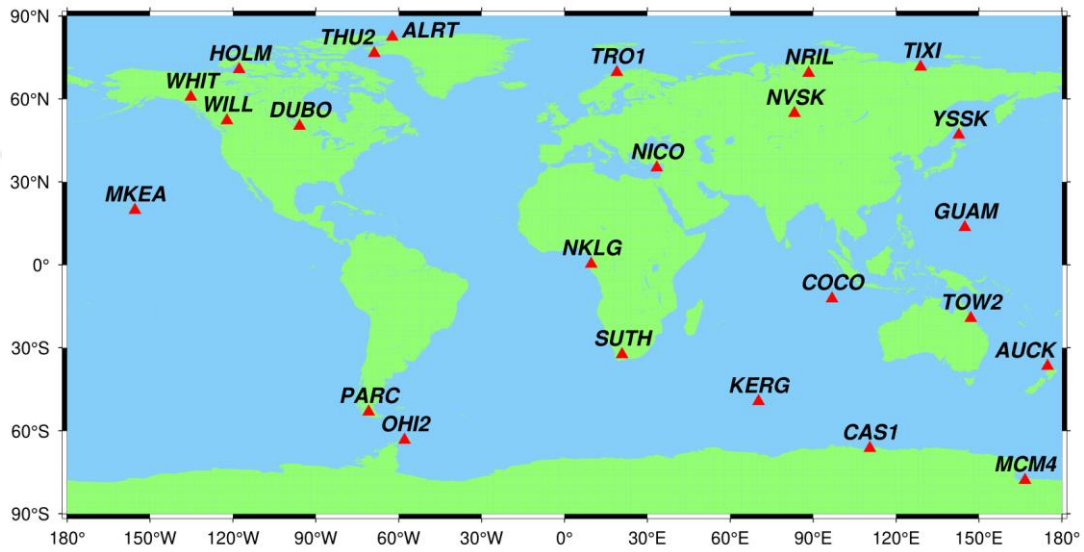
KASIM																															
Yıl:2003	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp	3			6		3			6		21	6	18	6	9	12	6	3		18	9	3	3							
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)	7			8						10			5	3	1					13	24	20	12							
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)	24	24	24	24															24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	
	EUV(26-34 nm)			24	24																										
	EUV(0.1-50 nm)			24	24																										
Manyetik Alan Değişim İndisleri	Bx (nT)	1		2	4		4	2	3	18	11	16	6	9	7	14	11				6	16	16	20	22	2	3			10	19
	By (nT)			1	5	1		5	7	6	8	12		3	4	8					16	11	1	7	8	3	3		4	3	12
	Bz (nT)				8		2		3	2	1	1					1				18	5	8	4	1				1	1	9
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu				1				5												7										
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)	4	11	12	10	8	1															1	3								
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Tablo 4. 5 2003 Yılı Aralık Ayı Uzak İklim Koşulları Analizi (Alcay ve Gungor,2020)

		ARALIK																														
Yıl:2003	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp					9			3	3	12	9			3																	
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)						3		2	1	2																					
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)																															
	EUV(26-34 nm)																															
	EUV(0.1-50 nm)																															
Manyetik Alan Değişim İndisleri	Bx (nT)	4	1	5	1	15	10	11	16	16	10	1	2	6	6						15	15					3	16	14		9	10
	By (nT)	7	7	2	6	15	12	13	14	15	3	3	1	1		2					18	9	1				1	11	17	1	5	5
	Bz (nT)		4		1	8	2	4	7		2										6	1					2	8	4	3	1	1
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu																				9											4
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)		1	9																												
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A					A	A	A				A	A	A	A	A	A

4.1.2 GPS-TEC Verilerinin Analizi

Uzay iklim koşullarının TEC verileri üzerindeki etkisini incelemek için dünya genelinde farklı coğrafi bölgelerden toplam 24 IGS istasyonu seçilmiştir (Şekil 4.1). Seçilen istasyonların 15'i kuzey yarım kürede, 9'u ise güney yarım kürede bulunmaktadır. Bu istasyonların bölge, enlem, boylam ve yükseklik gibi detayları Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4. 1 Çalışmada kullanılan istasyonların konumu (Alcay ve Gungor,2020)

Tablo 4. 10 Çalışmada kullanılan istasyonların detayları (Alcay ve Gungor,2020)

YARIMKÜRE	BÖLGE	İSTASYON	ÜLKE	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (m)
Kuzey	Yüksek Enlem	ALRT	Kanada	82.49429	-62.34046	78.11
		HOLM	Kanada	70.73640	-117.76090	39.50
		NRIL	Rusya Federasyonu	69.36183	88.35978	47.89
		THU2	Grönland	76.53700	-68.82500	36.10
		TIXI	Rusya Federasyonu	71.63448	128.86641	46.98
		TRO1	Norveç	69.66271	18.93963	138.00
		WHIT	Kanada	60.75050	-135.22210	1427.00
	Orta Enlem	DUBO	Kanada	50.25880	-95.86620	251.00
		NICO	Kıbrıs	35.14098	33.39643	191.70
		NVSK	Rusya Federasyonu	54.84060	83.23550	123.64
		WILL	Kanada	52.23690	-122.16780	1096.00
		YSSK	Rusya Federasyonu	47.02974	142.71672	91.29
	Ekvator	GUAM	Dededo	13.58933	144.86836	201.91
		MKEA	ABD	19.80136	-155.45635	3754.70
		NKLG	Gabon	0.35391	9.67213	31.50
Güney	Ekvator	COCO	Avustralya	-12.18830	96.83390	-35.20
		TOW2	Avustralya	-19.26929	147.05569	88.20
	Orta Enlem	AUCK	Yeni Zelanda	-36.60280	174.83440	132.71
		KERG	Fransız Güney Toprakları	-49.35147	70.25552	73.01
		PARC	Şili	-53.13700	-70.87990	22.30
		SUTH	Güney Afrika	-32.38021	20.81046	1799.77
	Yüksek Enlem	CAS1	Antarktika	-66.28340	110.51970	22.60
		MCM4	Antarktika	-77.83835	166.66933	98.02
		OHI2	Antarktika	-63.32110	-57.90130	33.10

Seçilen istasyonların TEC verileri 30 saniyelik epoklarla elde edilmiştir. Ayrıca herhangi bir TEC anomalisi olup olmadığını belirlemek için ilgili Alt Sınır (LB) ve Üst Sınır (UB) değerleri de hesaplanmıştır. Hangi günün anormal gün olduğunun belirlenmesinde, o güne ait TEC verilerinin üçte birinin (>8 saat) UB veya LB sınır değerlerini aşması koşulu dikkate alınmıştır. Seçilen aylarda elde edilen anormal günlerin sayısı, anormal günlerdeki TEC değişimlerinin ortalaması (%) ve maksimum değişimler tüm istasyonlar için hesaplanmış ve Tablo 4.11-4.14'te verilmiştir. Eksik veriler nedeniyle bazı istasyonlar belirli aylarda dikkate alınmamıştır. 2001 yılı Mart ve Nisan aylarında, 2003 ve 2004 yılları Kasım aylarında ve ayrıca 2015 yılının Mart ve Haziran aylarında güçlü jeomanyetik fırtınalar söz konusudur. Bu günlerde iyonosferde jeomanyetik fırtınadan kaynaklı anomaliler meydana gelmiş ve Tablo 4.11-4.14'te renkli olarak ifade edilen bölümler dikkate alındığında maksimum TEC artışının çoğunlukla $Kp \geq 7$ olduğunda meydana geldiği görülmüştür (Alcay ve Gungor,2020).

2003 yılına ait detaylar Tablo 4.12’de verilmiştir. Anormal günlerin sayısı Kasım ayında 10 ile 22 arasında değişmektedir ve ALRT hariç anormal günlerde TEC değişimlerinin ortalaması %50'nin üzerindedir. 4 Kasım'da Kp indisi 7'ye, Dst indisi -69 nT'ye, 20 Kasım'da ise Kp ve Dst değerleri sırasıyla 8.7 ve -422 nT'ye ulaşmıştır. Bu değerler 4 ve 20 Kasım'da güçlü jeomanyetik fırtınanın varlığını göstermektedir. Bu sebeple, maksimum TEC değişimleri çoğunlukla bu günlerde gözlenmiştir. Aralık ayında Kp ve Dst indisleri 5-14 Aralık arasındaki kısa dönemlerde eşik değerlerini aşsalar bile etkileri düşüktür. Bu ayda güneş aktivitesi yoktur (Tablo 4.5). Ayrıca anomaliler genelde manyetik alan değişim indislerinin ve plazma yoğunluğunun sınır değerlerin üzerinde olduğu ayın 20. ve 21. gününde ortaya çıkmıştır. Anormal günlerde TEC değişimlerinin ortalaması çoğunlukla %50'nin üzerinde olup, GUAM istasyonunda %73'tür (Alcay ve Gungor,2020).

Tablo 4. 12 2003 Yılı Kasım ve Aralık Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)

2003								
Yarımküre	Bölge	İstasyon	Kasım			Aralık		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)	Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	ALRT	16	48	26 (20)	23	53	10 (21)
		HOLM	22	50	23 (22)	17	58	9 (20)
		NRIL	16	55	17 (20)	20	48	9 (09)
		THU2	15	51	47 (20)	20	49	11 (27)
		TIXI	13	59	13 (4)	19	55	8 (20)
		TRO1	20	50	36 (20)	20	55	8 (20)
		WHIT	15	50	16 (24)	18	58	15 (27)
	Orta Enlem	DUBO	15	53	24 (22)	14	62	18 (20)
		NICO	15	50	18 (20)	15	69	14 (21)
		NVSK	13	51	29 (20)	18	66	10 (21)
		WILL						
	Ekvator	YSSK	16	60	7 (8)	17	65	37 (21)
		GUAM	17	61	30 (8)	18	73	17 (10)
		MKEA	10	59	35 (20)	17	48	32 (08)
		NKLG	13	64	33 (20)	21	58	16 (20)
Güney	Ekvator	COCO	20	54	32 (04)	16	60	29 (10)
		TOW2	18	63	21 (21)	20	61	24 (27)
	Orta Enlem	AUCK	19	64	14 (01)	19	66	42 (04)
		KERG	18	50	16 (20)	15	58	8 (20)
		PARC						
		SUTH	19	56	23 (20)	14	67	14 (20)
	Yüksek Enlem	CAS1	13	63	17 (01)	14	65	13 (19)
		MCM4	17	59	17 (01)	12	76	17 (20)
		OHI2	12	61	14 (05)	14	58	14 (20)

Tablo 4.13'te Kasım ve Aralık 2004 için detaylar verilmektedir. Anormal günlerin sayısı Kasım ayında 10 ila 20, Aralık ayında ise 13 ila 22 arasında değişmektedir. TEC değişimlerinin ortalaması genellikle %50'nin üzerindedir. Kasım ayının 7-10 günlerinde, Kp indisi maksimum 8.7'ye, Dst indisi ise maksimum -374 nT'ye ulaşmıştır. Bu süre zarfında manyetik alan değişim indisleri, plazma yoğunluğu ve partikül akı indisleri de sınır değerlerini aşmıştır. Manyetik alan değişim indisleri (Bx, By, Bz) sırasıyla -21.7 nT, 37.9 nT ve -44.9 nT'ye ulaşırken, plazma yoğunluğunun maksimum değeri 84.9 N/cm³ ve partikül akı indisi 205 MeV'dir. Bu nedenle, bu günlerde tüm istasyonlarda maksimum TEC değişimleri meydana gelmiştir. Aralık 2004'te, önemli bir jeomanyetik veya güneş aktivitesi gerçekleşmemiştir (Tablo 4.7). Manyetik alan değişim indisleri ve plazma yoğunluğunun eşik değerleri aştığı durumlarda anormal günlerin meydana geldiği görülmüştür (Alcay ve Gungor,2020).

Tablo 4. 13 2004 Yılı Kasım ve Aralık Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)

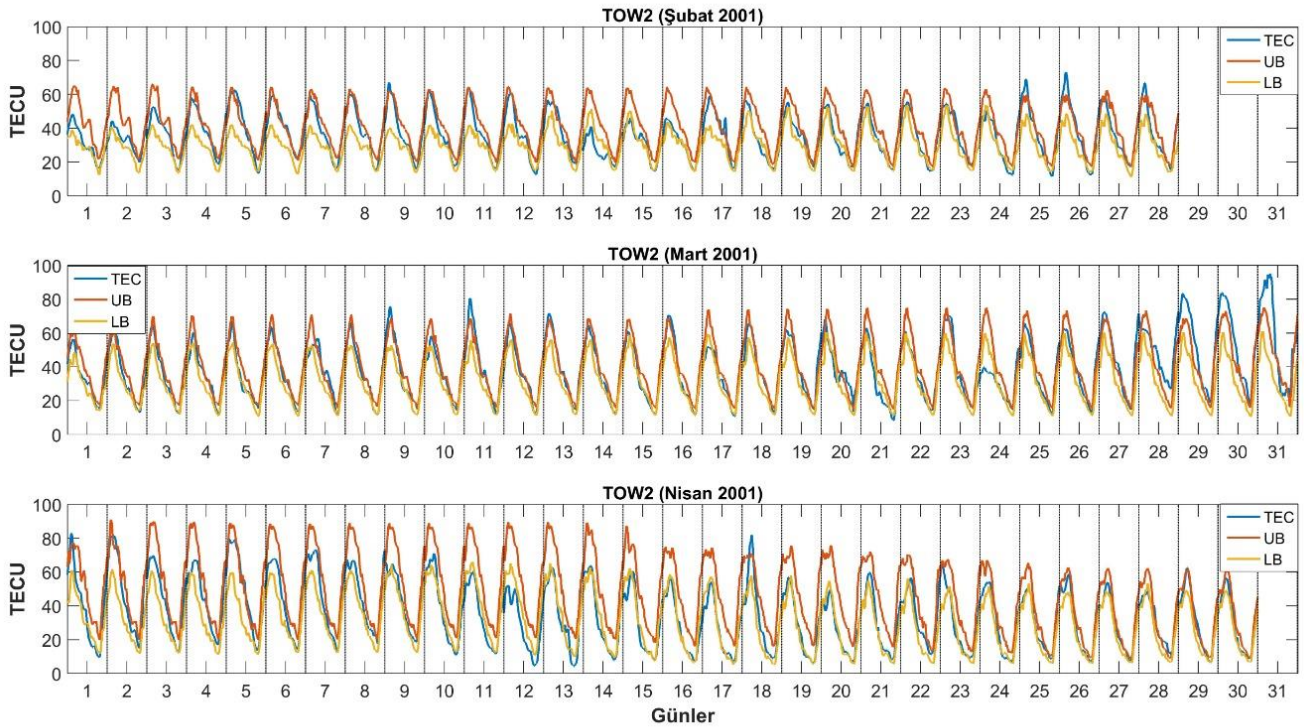
2004								
Yarımküre	Bölge	İstasyon	Kasım			Aralık		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)	Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	ALRT	13	51	9 (07)	13	47	8 (28)
		HOLM	16	50	23 (08)	18	50	12 (05)
		NRIL	16	54	8 (07)	17	50	5 (28)
		THU2	14	48	10 (07)	15	49	8 (05)
		TIXI	10	53	10 (07)	18	52	4 (22)
		TRO1	20	46	13 (07)	15	50	5 (21)
		WHIT	14	58	13 (08)	18	53	5 (22)
	Orta Enlem	DUBO	18	59	15 (10)	19	52	7 (28)
		NICO	13	60	8 (08)	20	52	5 (29)
		NVSK	14	63	9 (08)	20	51	4 (25)
		WILL	15	65	20 (07)	17	52	8 (28)
		YSSK	18	60	44 (08)	16	65	43 (31)
	Ekvator	GUAM	12	65	21 (10)	22	51	13 (04)
		MKEA	12	58	43 (10)	14	54	20 (17)
		NKLG	16	50	23 (10)	21	49	13 (04)
Güney	Ekvator	COCO	15	53	44 (10)	18	49	14 (07)
		TOW2	17	62	34 (08)	17	48	8 (29)
	Orta Enlem	AUCK	14	65	33 (08)	15	54	8 (27)
		KERG	15	61	14 (09)	18	46	7 (13)
		PARC	13	55	18 (08)	15	56	12 (11)
		SUTH	13	60	22 (10)	16	54	10 (07)
	Yüksek Enlem	CAS1	13	63	10 (09)	18	49	10 (06)
		MCM4	13	63	14 (10)	15	54	12 (13)
		OHI2	10	65	15 (09)	15	50	13 (11)

Mart ve Haziran 2015'te elde edilen sonuçların detayları Tablo 4.14'te verilmiştir. Anormal gün sayısı Mart ayında MCM4 hariç 12'den fazla iken Haziran ayında 12-21 arasında değişmektedir. 17 Mart'ta Kp indisinin 7,7'yi gösterdiği dönemde şiddetli bir jeomanyetik fırtına meydana gelmiştir. 17-19 Mart tarihlerinde fırtınanın etkisi devam etmiştir. İstasyonlarda maksimum TEC değişimleri bu günlerde meydana gelmiştir. Bu dönemde manyetik alan değişim indisleri ve plazma yoğunluk değerleri de artmıştır. ALRT, WHIT ve YSSK istasyonlarında maksimum değişimler, manyetik alan değişim indislerinin arttığı 27-28 Mart'ta gözlemlenmiştir. 22 Haziran 2015'te şiddetli jeomanyetik fırtına/aktiviteye (Kp 8.3, Dst -121 nT) ek olarak, F10.7 indisinin 255 sfu olduğu bir güneş aktivitesi mevcuttur. 23 Haziran'da Kp değeri maksimum 7,7 ve Dst -204 nT' ye ulaşmıştır. Bu günde güneş aktivitesi olmayıp, manyetik alan değişim indisleri, plazma yoğunluğu ve partikül akısı indisleri eşik değerlerin üzerinde olup her iki günde de artış söz konusudur. Maksimum TEC değişimleri çoğunlukla bu iki günde gerçekleşmiştir (Alcay ve Gungor,2020).

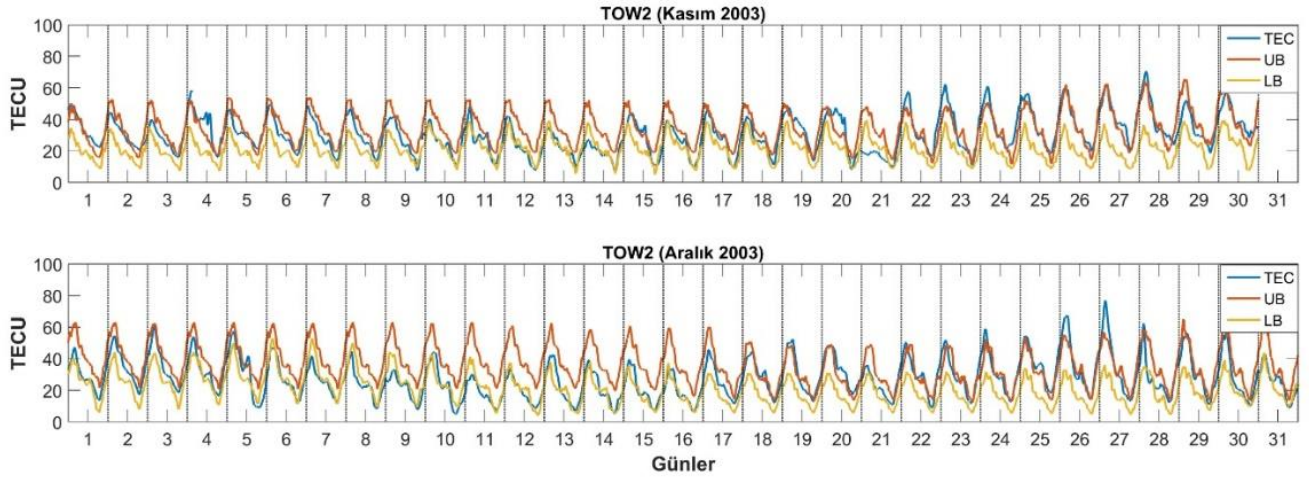
Tablo 4. 14 2015 Yılı Mart ve Haziran Aylarına ait anormal günlere ait detaylar (Alcay ve Gungor,2020)

2015								
Yarımküre	Bölge	İstasyon	Mart			Haziran		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)	Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	ALRT	16	51	12 (27)	17	60	8 (23)
		HOLM	18	54	10 (18)	16	64	7 (22)
		NRIL	19	52	17 (18)	14	72	8 (23)
		THU2	13	58	12 (04)			
		TIXI	18	53	16 (18)	15	72	9 (23)
		TRO1	14	57	10 (02)	17	70	9 (23)
		WHIT	15	55	10 (28)	17	63	6 (22)
	Orta Enlem	DUBO	20	58	14 (17)	19	60	12 (22)
		NICO	19	67	16 (19)	19	64	16 (23)
		NVSK	19	63	18 (18)	19	71	10 (23)
		WILL	16	63	12 (17)	16	62	8 (24)
		YSSK	19	65	23 (28)	15	69	12 (08)
	Ekvator	GUAM	16	55	33 (18)	18	59	11 (09)
		MKEA				18	58	15 (08)
		NKLG	16	49	23 (17)	15	47	17 (10)
Güney	Ekvator	COCO	18	53	47 (18)	15	56	27 (08)
		TOW2	12	63	29 (18)	18	57	34 (23)
	Orta Enlem	AUCK	13	63	13 (18)	21	59	11 (23)
		KERG	13	59	18 (17)	15	57	24 (08)
		PARC	15	56	25 (17)	18	62	11 (22)
		SUTH	15	61	24 (18)			
	Yüksek Enlem	CAS1	13	52	17 (11)	12	48	12 (08)
		MCM4	7	64	14 (18)	12	50	13 (22)
		OHI2	13	58	27 (16)	18	64	10 (22)

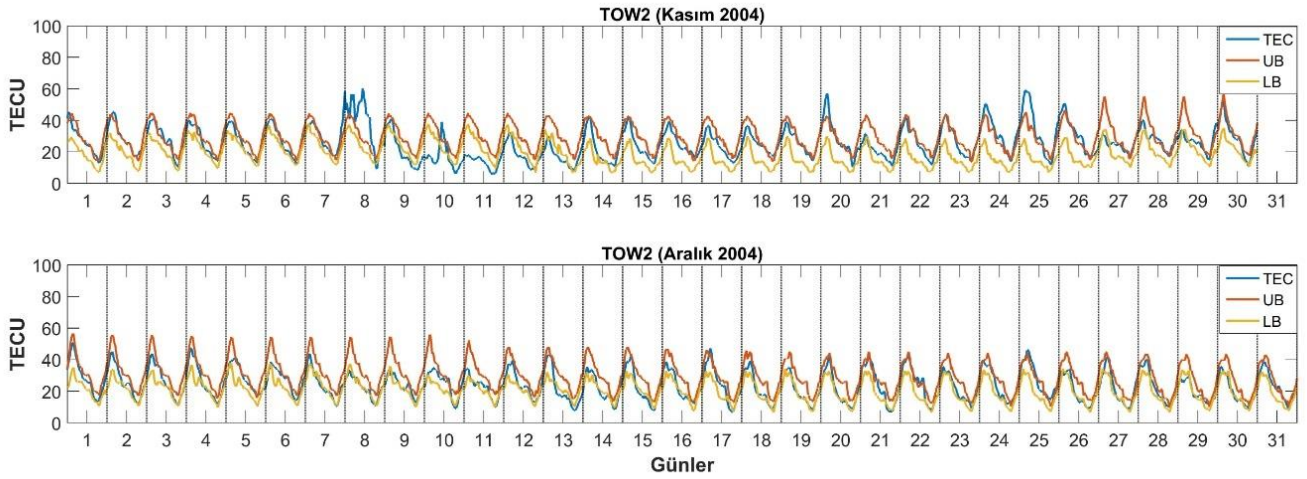
Tablo 4.11-4.14’te tüm istasyonlar için verilen ayrıntılara ilave olarak TOW2 istasyonu için TEC, UB ve LB değerleri grafiksel olarak hazırlanmış ve Şekil 4.2-4.5’te verilmiştir. Bu grafikler sadece maksimum TEC değişimlerini değil, tüm anormal günlerdeki değişimleri göstermektedir. Şekil 4.2-4.5’te negatif ve pozitif anomalilerin varlığı görülmektedir. Bu grafikler Tablo 4.1-4.9 ile karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelendiğinde, çoklu indislerin sınır değerleri aşması durumunda büyük anomalilerin meydana geldiği görülmüştür (Ör: 31 Mart 2001, 21 Kasım 2003, 8 Kasım 2004 ve 23 Haziran 2015). Ayrıca bazı günlerde indisler sınır değerlerini aşmasalar da, sınır değerlerine yaklaştıklarında (Ör:17 Şubat 2001, 19 Aralık 2003) düşük seviyede pozitif veya negatif anomali durumu gözlenmiştir. Ancak bu anomaliler kısa sürelidir ve ilgili günü anormal olarak tanımlamak için gereken 8 saatlik süreye ulaşamamaktadır (Alcay ve Gungor,2020).



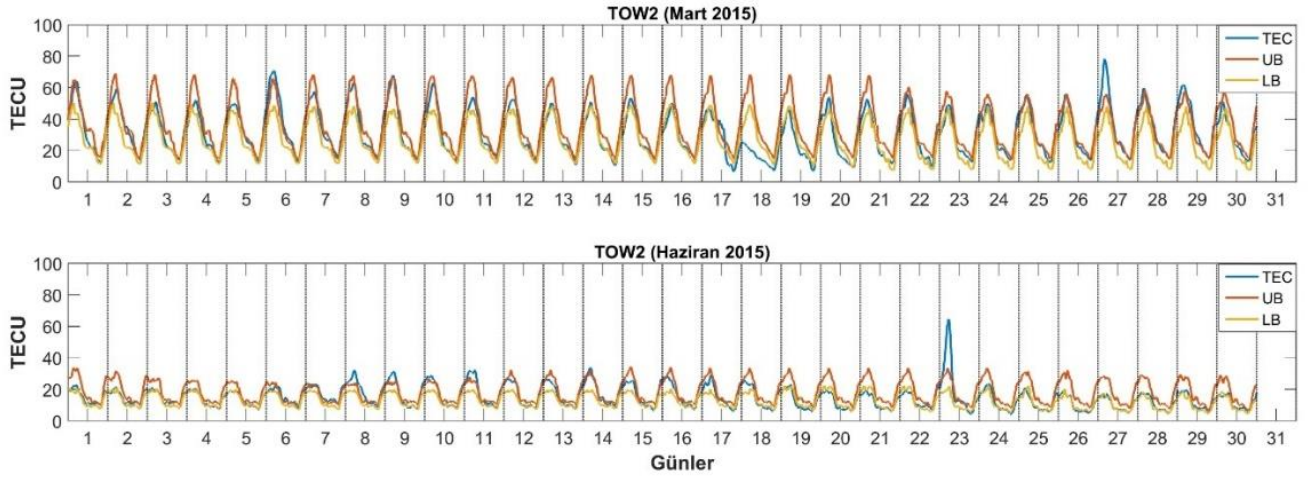
Şekil 4. 2 2001 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020)



Şekil 4. 3 2003 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020)



Şekil 4. 4 2004 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor,2020)



Şekil 4. 5 2015 Yılı Kasım ve Aralık Aylarında TOW2 İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri (Alcay ve Gungor, 2020)

Tablo 4. 16 2000 Yılı Kasım Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi

KASIM																															
Yıl:2000	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp				3		15	12			9																6	9	3	12	
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)						9	19			14	4																10	13	24	10
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24						24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	EUV(26-34 nm)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24							24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
	EUV(0.1-50 nm)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24						24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Manyetik Alan Değişim İndisi	Bx (nT)	8			19	15		11	10	12	15	3					6			4	1		2	1	12	2	8	11	10	4	
	By (nT)	2		1	11	11	10	19		15	6	6							5	5	10	4	5		7	3	12	17	4	8	4
	Bz (nT)				12	8	10	21	12	1	8	4							1		2	2			8		9	3	4	16	1
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu (N/cm3)				4		2	1	4	3	1																12	8		2	
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)		1		1				1	24	24	24	21												9	20	24	17	21		
AE İndisi	AE				7	4	12	11		4	8		2								3	2	2		1		4	8	14	11	
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A				A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

Tablo 4. 17 2009 Yılı Haziran Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi

HAZİRAN																															
Yıl:2009	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp																								3						
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)																														
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)																														
	EUV(26-34 nm)																														
	EUV(0.1-50 nm)																														
Manyetik Alan Değişim İndisi	Bx (nT)																					2			1				2	2	
	By (nT)			3	4			2							10						2	2			5	1		3	10	3	
	Bz (nT)				1	1											1					1							15	1	
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu (N/cm3)			4																	1	2		14	17				3		
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)																														
AE İndisi	AE																												7	2	1
SONUÇ	(A:Aktif Gün)			A	A	A		A							A		A				A	A		A	A	A		A	A	A	A

Tablo 4. 18 2014 Yılı Ocak Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi

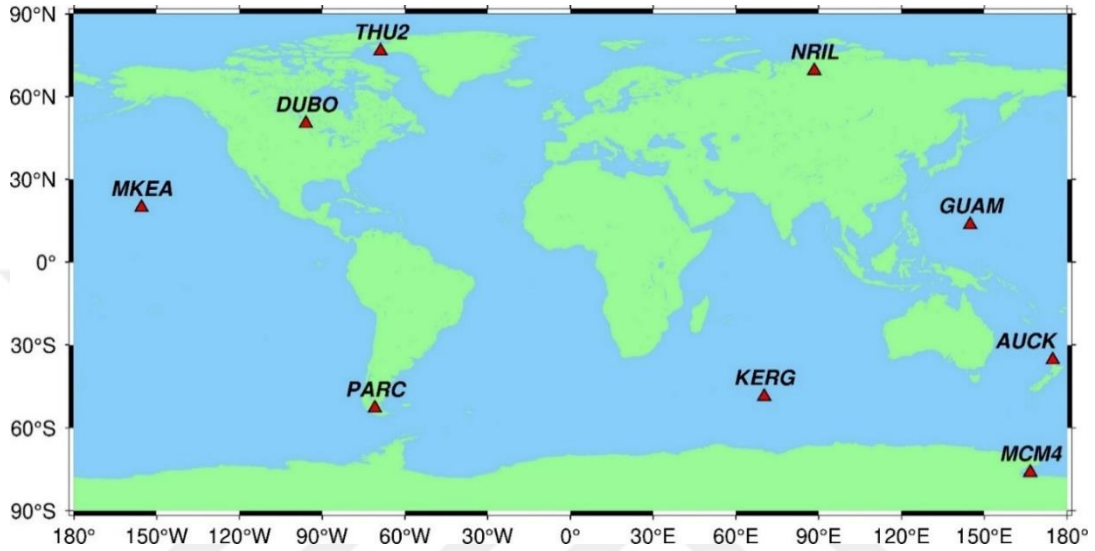
OCAK																																
Yıl:2014	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp																															
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)																															
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24																24	24	24	24
	EUV(26-34 nm)								24																							
	EUV(0.1-50 nm)								24																							
Manyetik Alan Değişim İndisi	Bx (nT)	8	1	1	2			4	2	5	7	1	8	22	5							8	3						1	6		
	By (nT)	13	3						2	11	4	4	3	1	1							7	9	3					18	8		5
	Bz (nT)	3						2	1	3	1	3										3	1		3	2						
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu (N/cm3)	1								1												6										
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)						15	20	24	24	24	10																				
AE İndisi	AE	5	2	1											1								1									
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A							A	A	A	A	A			A	A	A	A

Tablo 4. 19 2014 Yılı Nisan Ayı Uzay İklim Koşulları Analizi

NİSAN																															
Yıl:2014	Gün	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Jeomanyetik Fırtına İndisi	Kp																				3										
Jeomanyetik Aktivite İndisi	Dst (nT)											1	23	7																	12
Güneş Aktivite İndisi	F10.7 (sfu)	24	24	24	24										24	24	24	24	24	24	24	24									
	EUV(26-34 nm)																														
	EUV(0.1-50 nm)																														
Manyetik Alan Değişim İndisi	Bx (nT)					3	24	12	8	2				1	8			4		5	4	6									
	By (nT)	1				11	4	14				11	13	6				11	8	12	7	1		1					2	7	
	Bz (nT)				1	1	5	5				9	11	6				4	5	2	5								1	18	
Plazma Yoğunluğu	Proton Yoğunluğu (N/cm3)					8		1					1				1	5												3	4
Parçacık Akı İndisi	Proton Akısı (>10 MeV)																		7	24	12										
AE İndisi	AE							2				5	9	5				1		2	2	4			1						19
SONUÇ	(A:Aktif Gün)	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		A	A					A	A

4.2.2 GPS-TEC Verilerinin Analizi

Uygulama 2 kapsamında 9 IGS istasyonu seçilmiştir (Şekil 4.6). İstasyonların 5'i kuzey yarım kürede, 4'ü ise güney yarım kürede bulunmaktadır. Bu istasyonların bölge, enlem, boylam ve yükseklik gibi detayları Tablo 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4. 6 Çalışmada kullanılan istasyonların konumu

Tablo 4. 20 Çalışmada kullanılan istasyonların detayları

YARIMKÜRE	BÖLGE	İSTASYON	ÜLKE	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (m)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL	Rusya Federasyonu	69.36183	88.35978	47.89
		THU2	Grönland	76.53700	-68.82500	36.10
	Orta Enlem	DUBO	Kanada	50.25880	-95.86620	251.00
	Ekvator	GUAM	Dededo	13.58933	144.86836	201.91
		MKEA	ABD	19.80136	-155.45635	3754.70
Güney	Orta Enlem	AUCK	Yeni Zelanda	-36.60280	174.83440	132.71
		KERG	Fransız Güney Toprakları	-49.35147	70.25552	73.01
		PARC	Şili	-53.13700	-70.87990	22.30
	Yüksek Enlem	MCM4	Antarktika	-77.83835	166.66933	98.02

Bu çalışmada da anomali olup olmadığını belirlemek için Uygulama 1’de olduğu gibi çeyrek açıklık tabanlı hareketli ortalama yöntemi kullanılmıştır. Bu kapsamda TEC verilerinin yanı sıra, Alt Sınır (LB) ve Üst Sınır (UB) değerleri hesaplanmıştır. Tüm istasyonlar için anormal günler belirlenmiştir. Seçilen aylarda elde edilen anormal günlerin sayısı, anormal günlerdeki TEC değişimlerinin ortalaması (%) ve maksimum değişimler tüm istasyonlar için hesaplanmış ve Tablo 4.21 - 4.25’te verilmiştir. Eksik veriler nedeniyle bazı istasyonlar belirli aylarda değerlendirilememiştir.

2000 yılı Temmuz ayına ait sonuçlar Tablo 4.21’de verilmiştir. İstasyonların anomali gün sayısı Temmuz ayında THU2 istasyonu hariç, 12 ile 21 arasında değişmektedir. Anormal günler için TEC değişimlerinin ortalaması THU2 istasyonu dışında %50’nin üzerindedir. Temmuz ayının 11-17 günleri arasında Kp indisinin zaman zaman 9.0’a ulaştığı şiddetli jeomanyetik fırtına durumu söz konusudur. Dst indisi bu zaman zarfı içinde maksimum -300 nT’ye yükselmiştir. Bunlara ek olarak bu ayda F10.7 indisinin 325.1 sfu (12 Temmuz) olduğu şiddetli bir güneş aktivitesi de vardır (Tablo 4.15). 11 Temmuz’da plazma yoğunluğunun en fazla 31.9 N/cm³’e ulaşmasıyla AUCK ve PARC istasyonlarında maksimum TEC değişimi bu günde gerçekleşmiştir (Tablo 4.21). 14 Temmuz’da Kp indisi (7.3), plazma yoğunluğu (26.6 N/cm³), parçacık akı indisi (5760 MeV) ve AE indisi (1657) sınır değerlerini aşarak THU2 istasyonunda maksimum TEC değişimi gözlenmiştir. 15 Temmuz’da tüm indisler sınır değerini aşmıştır özellikle manyetik alan değişim indisleri (Bx, By, Bz) sırasıyla 34.8 nT, 38.1 nT, -45.3 nT iken parçacık akısı indisi 8390 MeV ve AE indisi de 2023’e yükselmiştir. MCM4 istasyonunda maksimum TEC değişimi bu günde gerçekleşmiştir. 23 Temmuzda ise Kp ve Dst indisleri sınır değerlerini aşmıştır fakat etkisi düşüktür. Ayrıca bu günde AE indisi 865’ten 1008’e yükselerek DUBO istasyonunda maksimum TEC değişimi gözlenmiştir.

Tablo 4. 21 2000 Yılı Temmuz Ayı anormal günlere ait detaylar

2000					
Yarımküre	Bölge	İstasyon	TEMMUZ		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL			
		THU2	5	38	6 (14)

	Orta Enlem	DUBO	14	52	14(23)
	Ekvator	GUAM	21	54	35(03)
		MKEA	20	55	29(08)
	Orta Enlem	AUCK	15	56	16(11)
		KERG	16	52	25(10)
		PARC	14	62	53(11)
	Yüksek Enlem	MCM4	12	55	32(15)

2000 yılı Kasım ayına ait sonuçlar Tablo 4.22’de verilmiştir. İstasyonların anomali gün sayısı Kasım ayında 11 ile 22 arasında değişmektedir. Anormal günler için TEC değişimlerinin ortalaması THU2 istasyonu hariç %50’nin üzerindedir. 6-7 Kasım’da jeomanyetik fırtına (7.0) ve jeomanyetik aktivite (-159 nT) hakim olduğu için NRIL istasyonunda maksimum TEC değişimi bu günde gerçekleşmiştir. Kasım ayının 26. ve 29. günleri arasında indislerin sınır değerlerini aştığı gözlenmiştir (Tablo 4.16). 26 Kasım bu ayın plazma yoğunluğunun (35.4 N/cm^3) en çok artış gösterdiği gün olup, DUBO istasyonunda maksimum TEC değişimi bu günde görülmüştür. Bu zaman zarfı içinde özellikle 29 Kasım’da Dst indisinin -119 nT’yi gösterdiği dönemde şiddetli bir jeomanyetik aktivite meydana gelmiştir. Tablo 4.22, Tablo 4.16 ile birlikte değerlendirildiğinde güney yarımküre istasyonlarının tamamında ve kuzey yarımküre ekvator bölgesinin MKEA istasyonunda maksimum TEC değişimi 29 Kasım’da meydana gelmiştir. Ayın 5 günü hariç (11-15 Kasım) geri kalan tüm günlerinde güneş aktivitesi söz konusudur.

Tablo 4. 22 2000 Yılı Kasım Ayı anormal günlere ait detaylar

2000					
Yarımküre	Bölge	İstasyon	KASIM		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL	15	53	23(07)
		THU2	11	47	30(05)
	Orta Enlem	DUBO	20	54	28(26)
	Ekvator	GUAM	22	62	26(23)
		MKEA	14	59	52(29)
Güney	Orta Enlem	AUCK	20	58	22(29)
		KERG	12	60	16(29)
		PARC	17	59	27(29)
	Yüksek Enlem	MCM4	11	56	18(29)

2009 yılı Haziran ayına ait sonuçlar Tablo 4.23'te verilmiştir. İstasyonların anomali gün sayısı Haziran ayında 8 ile 18 arasında değişmektedir. Anormal günler için TEC değişimlerinin ortalaması genellikle %50'nin üzerindedir. Haziran ayında bazı indisler (Kp, manyetik alan değişim indisleri ve AE indisi) sınır değerlerini aşsa da etkileri çok düşüktür. Tablo 4.17 incelendiğinde bu ay için daha etkili olan plazma yoğunluğu indisi artış göstermiştir. Özellikle 24 Haziranda plazma yoğunluğu indisi 112.3 N/cm^3 'e ulaşmıştır ve NRIL, THU2 ve KERG istasyonlarında maksimum TEC değişimi bu günde gözlenmiştir. 28 Haziran günü manyetik alan değişim indisleri, plazma yoğunluğu ve AE indisi sınır değerini aşarak DUBO istasyonunda maksimum TEC değişimi gözlenmiştir. Tablo 4.23'te anomali olarak görülen 1 Haziran, 18 Haziran, 24 Haziran günlerinde TEC değişimleri oldukça düşük seviyede olduğu için UB-TEC ya da LB-TEC farkının düşük olduğu ($\sim 2 \text{ TECU}$) görülmüştür. Dolayısıyla en ufak bir değişim ilgili günler için anomali olarak ortaya çıkmıştır.

Tablo 4. 23 2009 Yılı Haziran Ayı anormal günlere ait detaylar

2009					
Yarımküre	Bölge	İstasyon	HAZİRAN		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL	15	58	3 (24)
		THU2	13	45	2 (24)
	Orta Enlem	DUBO	17	52	5 (28)
	Ekvator	GUAM	16	52	6 (20)
		MKEA	12	44	6 (17)
Güney	Orta Enlem	AUCK	18	52	6 (26)
		KERG	17	44	2 (24)
		PARC	8	58	2 (01)
	Yüksek Enlem	MCM4	9	50	3 (18)

Ocak 2014'te elde edilen sonuçlara ait detaylar ise Tablo 4.24'te verilmiştir. İstasyonların anomali gün sayısı Ocak ayında 11 ile 19 arasında değişmiştir. Anormal günler için TEC değişimlerinin ortalaması THU2, MKEA ve PARC istasyonları hariç %50'nin üzerindedir. Tablo 4.24, Tablo 4.18 ile birlikte incelendiğinde 1 ile 4 Ocak arası F10.7 indisinin 253 sfu'ya yükselerek anomali de etkili olduğu gözlenmiştir. 6 ile 11 Ocak arası ise parçacık akı indisinin 761.67 MeV'e arttığı ve dolayısıyla anomali

oluştugu görülmüştür. Bu sebeple PARC istasyonunda maksimum TEC değişimi 7 Ocak'ta meydana gelmiştir. Ocak ayında diğer indisler sınır değerlerini aşıya da etkileri çok düşüktür. Bu ayda F10.7 ve parçacık akı indislerinin artışı anomalide daha etkilidir. MKEA ve MCM4 istasyonlarına ek olarak AUCK, KERG ve PARC istasyonlarında da F10.7 indisinin arttığı 2 Ocak günü anomali vardır.

Tablo 4. 24 2014 Yılı Ocak Ayı anormal günlere ait detaylar

2014					
Yarımküre	Bölge	İstasyon	OCAK		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL	14	52	9 (01)
		THU2	11	49	11 (03)
	Orta Enlem	DUBO	13	55	13 (28)
	Ekvator	GUAM	14	53	14 (15)
		MKEA	19	49	22 (02)
Güney	Orta Enlem	AUCK	13	54	8 (29)
		KERG	13	56	6 (13)
		PARC	19	47	12 (07)
	Yüksek Enlem	MCM4	13	57	12 (02)

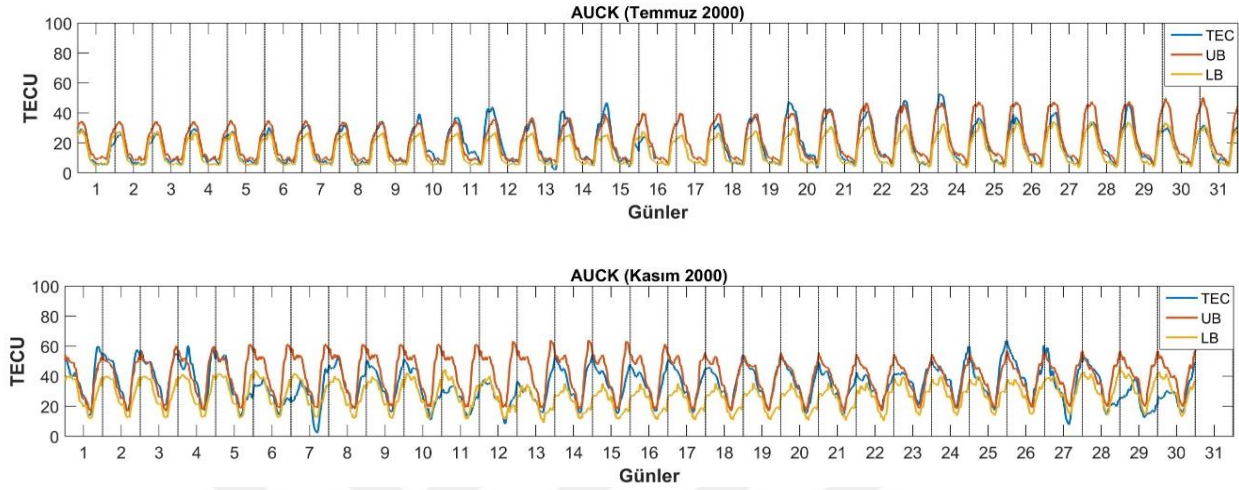
2014 yılı Nisan ayına ait sonuçların detayları Tablo 4.25'te verilmiştir. İstasyonların anomali gün sayısı Nisan ayında 9 ile 22 arasında değişmiştir. Anormal günlerdeki TEC değişimlerinin ortalaması %50'nin üzerinde olup, kuzey yarımküre orta enlem istasyonu DUBO'da %70'e, güney yarımküre orta enlem istasyonu PARC'da %75'e ulaşmıştır. Tablo 4.25 Tablo 4.19 ile birlikte incelendiğinde 12 Nisan'da Dst (-87 nT) ve AE indisinin (773) artış göstermesiyle NRIL, THU2 ve DUBO istasyonlarında maksimum TEC değişimi bu günde gözlenmiştir. Ayrıca bu istasyonlara ek olarak Dst ve AE indislerinde artış olduğu ve dolayısıyla ayın 12. gününde güney yarımküre istasyonlarının (AUCK, KERG, PARC ve MCM4) tamamında anomali olduğu gözlenmiştir. 13 Nisan günü jeomanyetik aktivitenin etkisi düşük de olsa devam etmiştir ve KERG istasyonunda maksimum TEC değişimi bu günde gözlenmiştir. 29 Nisan günü plazma yoğunluğu indisinin 26 N/cm³'e yükselmesiyle de GUAM istasyonunda maksimum TEC değişimi bu günde olmuştur. Bu günde By ve Bz indisleri sınır değerlerini aşıya da etkileri çok düşüktür.

Tablo 4. 25 2014 Yılı Nisan Ayı anormal günlere ait detaylar

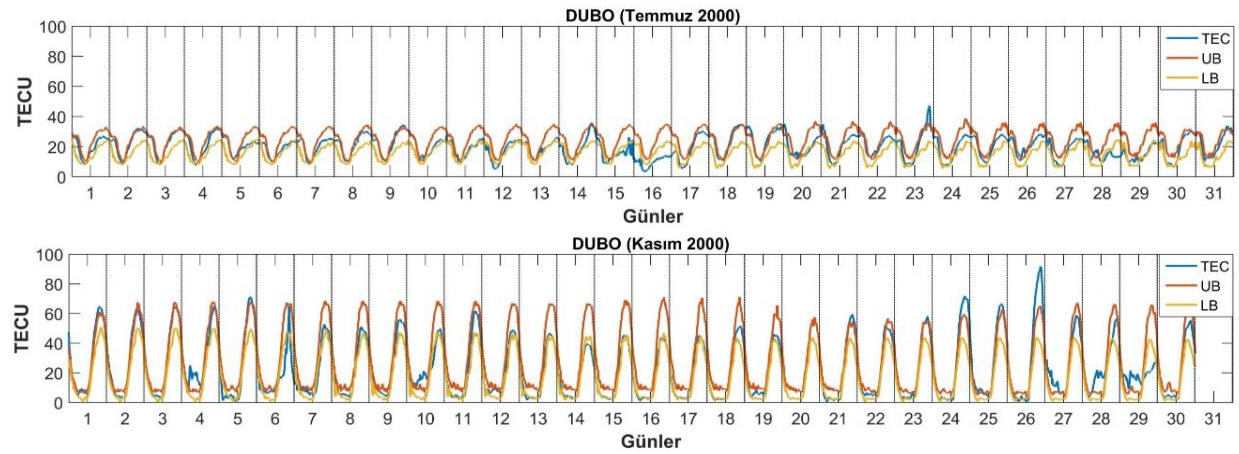
2014					
Yarımküre	Bölge	İstasyon	NİSAN		
			Anormal Günlerin Sayısı	VTEC Değişimlerinin Ortalaması (%)	Maksimum TECU Değişimi (Gün)
Kuzey	Yüksek Enlem	NRIL	9	63	15 (12)
		THU2	10	57	15 (12)
	Orta Enlem	DUBO	12	70	17 (12)
	Ekvator	GUAM	17	59	18 (29)
		MKEA	19	51	24 (23)
Güney	Orta Enlem	AUCK	22	59	11 (11)
		KERG	18	52	25 (13)
		PARC	21	75	9 (27)
	Yüksek Enlem	MCM4	10	60	15 (14)

Tablo 4.21-4.25'te tüm istasyonlar için verilen ayrıntılara ek olarak, sırasıyla kuzey ve güney yarımküre orta enlem istasyonlarından DUBO ve AUCK için TEC, UB ve LB değerleri grafiksel olarak hazırlanmış ve Şekil 4.7-4.12'de verilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi, negatif ve pozitif TEC anomali günler mevcuttur. Şekil 4.7-4.12, Tablo 4.21-4.25 ile karşılaştırmalı bir yaklaşımla incelendiğinde, indislerin sınır değerlerini aşması durumunda büyük anomalilerin meydana geldiği görülmüştür (Ör: 15 Temmuz 2000, 26 Kasım 2000, 29 Kasım 2000). Ayrıca bazı günlerde (15 Ocak 2014, 25 Nisan 2014) indisler sınır değerlerini aşarak aktif gün oluşturmaları bile sınır değerlerine yaklaştıkları için düşük seviyede pozitif veya negatif anomali durumu gözlenmiştir. Ancak bu anomaliler kısa sürelidir ve ilgili günü anormal olarak nitelendirmek için gereken 8 saatlik süreye ulaşmamaktadır. Bunlara ek olarak 12 Temmuz 2000'de Kp ve Dst indisi sınır değerini aşmamış olup güneş aktivite indisi 249.7 sfu'dan 325.1 sfu'ya yükselmiştir. Bu sebepten dolayı Şekil 4.7 ve 4.8'de 12 Temmuz günü anomali görülmektedir. 28 Haziran 2009 gününde ise manyetik alan değişim indisleri ve plazma yoğunluğu sınır değerlerini aşsalar da etkileri çok

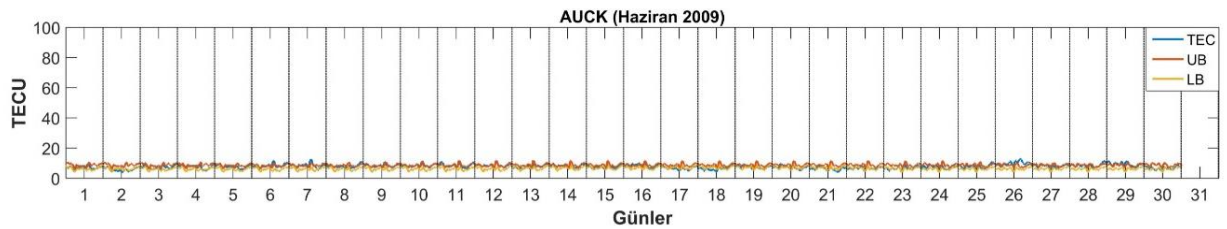
düşüktür. Fakat AE indisinin bu günde 910'a yükselmesiyle Şekil 4.8'de ve Şekil 4.9'da anomali oluştuğu görülmektedir.



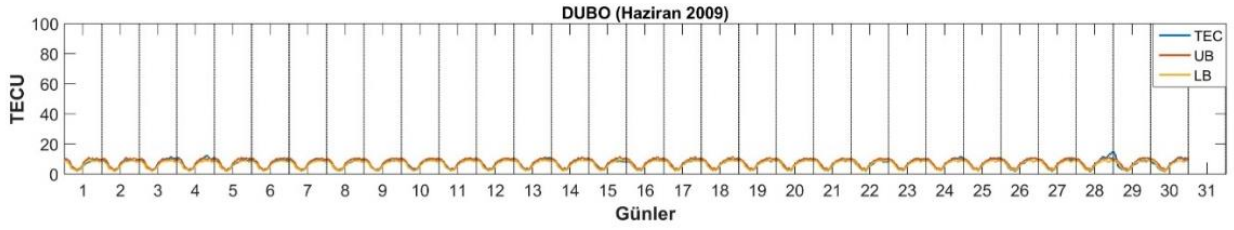
Şekil 4. 7 2000 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri



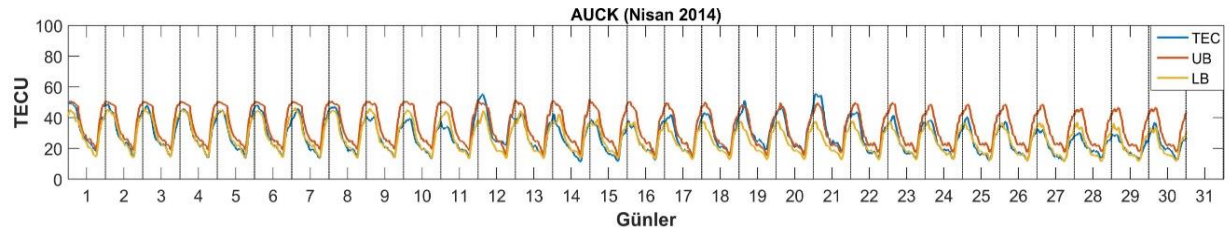
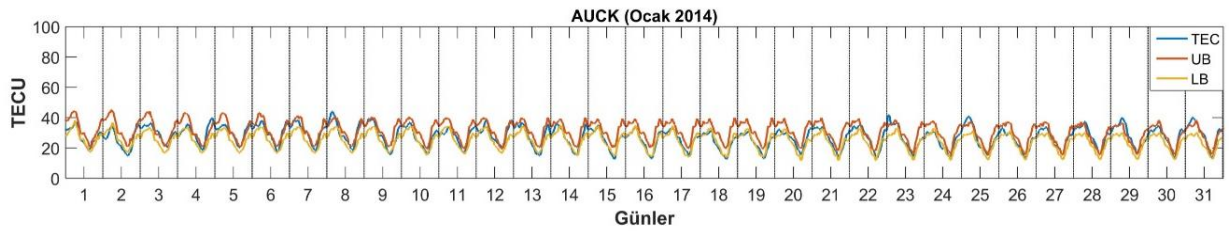
Şekil 4. 8 2000 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri



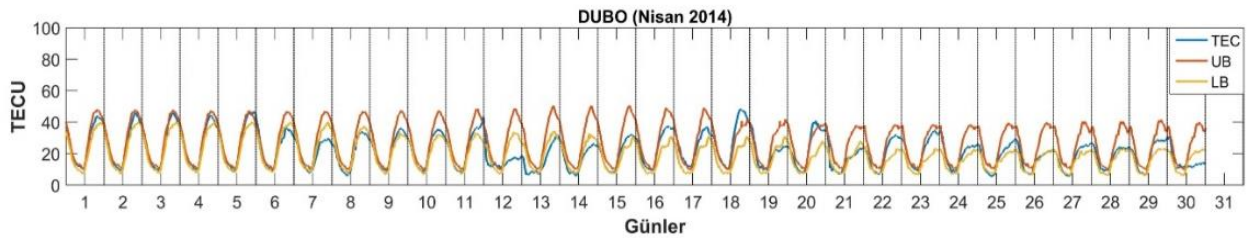
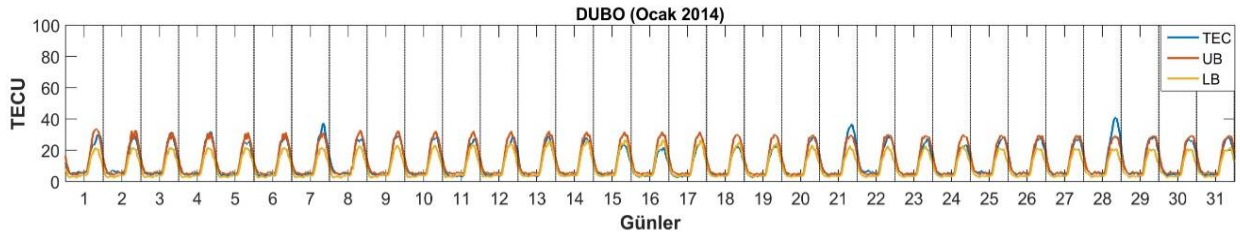
Şekil 4. 9 2009 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri



Şekil 4. 10 2009 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri



Şekil 4. 11 2014 Yılında AUCK İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri



Şekil 4. 12 2014 Yılında DUBO İstasyonunun TEC, Üst Sınır ve Alt Sınır Değerleri

5. SONUÇLAR

Son yıllarda Dünya'daki ve uzaydaki insan faaliyetlerini etkileyen Güneş veya Güneş dışı kaynaklı uzay iklim koşullarının incelenmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle şiddetli güneş olayları meydana geldiğinde uzay kaynaklı ve yer tabanlı teknolojik sistemler için tehlike oluşturabilecek etkiler oluşmaktadır. Bunlar haberleşme sistemleri, uydular, astronotlar, GNSS sistemi gibi birçok alanı olumsuz etkilemektedir. Ayrıca Güneşten fırlatılan enerjik parçacıklar, Dünya'nın manyetik alanıyla etkileşime girerek iyonosferde manyetik fırtınalar üretmektedir. Bu jeomanyetik fırtınaların gücü ve etkisi çeşitli uzay iklim koşulları indisleri ile tahmin edilebilmektedir.

Çalışma kapsamında iyonosferde değişime neden olan uzay iklim koşulları ve indisleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Uygulama iki kısımdan oluşmaktadır. Uygulama 1 çoğunlukla 23. Güneş döngüsünde meydana gelen değişimleri, Uygulama 2 ise çoğunlukla 24. Güneş döngüsünde meydana gelen değişimleri incelemek için yapılmıştır. Bunun için farklı yıllar ve farklı istasyonlar seçilerek indislerin eşik değerlerini aşmasıyla oluşan anomali günleri tespit edilmiştir. Bu kapsamda birinci uygulama için farklı yarım kürelerden 24 istasyon ve 2001 yılı Şubat-Mart-Nisan, 2003-2004 yılı Kasım-Aralık ve 2015 yılı Mart-Haziran ayları, ikinci uygulama için 9 istasyon ve 2000 yılı Temmuz-Kasım, 2009 yılı Haziran, 2014 yılı Ocak-Nisan ayları seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda anormal günler tespit edilerek şekil ve tablolarla gösterilmiştir. Tablo ve şekillerle bağlantılı bir şekilde anomalinin hangi indis kaynaklı olduğu araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en büyük anomaliler tüm indislerin eşik değerlerini aştığı ve yüksek seviyelere ulaştığı günlerde ortaya çıkmaktadır. Ancak herhangi bir indisin sınır değerini aştığı günde de TEC anomalisinin oluştuğu gözlenmiştir. Maksimum TEC değişimlerinde jeomanyetik aktivite ve jeomanyetik fırtına indisleri ile ilişkili olarak meydana gelen anomaliler baskın olmakla birlikte, diğer indislerin sınır değerlerini aştığı durumlarda da TEC anomalileri gözlenmiştir. Bu nedenle, bu çalışma iyonosferle ilgili çalışmalarda yalnızca jeomanyetik fırtına (Kp) ve jeomanyetik aktivite (Dst) indislerinin değil, Güneş aktivite indislerinin, manyetik alan değişim indislerinin, plazma yoğunluğunun, partikül akı indislerinin ve AE indisinin de incelenmesi gerektiğini göstermiştir.

6. KAYNAKÇA

Abraha, G.: Total electron content (TEC) variability of low latitude ionosphere and role of dynamical coupling: quiet and storm-time characteristics. PhD thesis, Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia (2014).

Adhikari, B., Kaphle, B., Adhikari, N. et al. Analysis of cosmic ray, solar wind energies, components of Earth's magnetic field, and ionospheric total electron content during solar superstorm of November 18–22, 2003. *SN Appl. Sci.* 1, 453 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0474-8>

Ahluwalia, H. S. Solar wind modulation of galactic cosmic rays. *Geophysical Research Letters*, 30(3), (2003). <https://doi.org/10.1029/2002GL016017>

Alcay, S., Gungor, M. Investigation of ionospheric TEC anomalies caused by space weather conditions. *Astrophys Space Sci* 365, 150 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10509-020-03862-x>

Alcay, S., Yigit, C.O., Seemala, G., Ceylan, A.: GPS-based ionosphere modeling: a brief review. *Fresenius Environ. Bull.* 23(3a), 815–824 (2014). https://www.prt-parlar.de/download_feb_2014/

Arikan, F., Erol, C.B., Arikan, O.: Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *J. Geophys. Res.* 108(A12), 1469 (2003). <https://doi.org/10.1029/2002JA009605>

Arikan, F., Erol, C.B., Arikan, O.: Regularized estimation of VTEC from GPS data for a desired time period. *Radio Sci.* 39, RS6012 (2004). <https://doi.org/10.1029/2004RS003061>

Arikan, F., Nayir, H., Sezen, U., & Arikan, O. (2008). Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC. *Radio Science*, 43(4), n/a–n/a. doi:10.1029/2007rs003785

Augusto, C., Navia, C., de Oliveira, M. N., Fauth, A., & Nepomuceno, A. (2015). Signals at ground level of relativistic solar particles associated with a radiation storm on 2014 April 18. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 68(1), 8. <https://doi.org/10.1093/pasj/psv111>

Baade, W., Zwicky, F.: Cosmic rays from supernovae. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 20, 259–263 (1934). <https://doi.org/10.1073/pnas.20.5.259>

Baker, D.N., Allen, J.H., Kanekal, S.G., Reeves, G.D.: Disturbed space environment may have been related to pager satellite failure. *IEEE Trans.* 79, 477 (1998). <https://doi.org/10.1029/98EO00359>

Banerjee, A., Bej, A. & Chatterjee, T.N. On the existence of a long range correlation in the Geomagnetic Disturbance storm time (Dst) index. *Astrophys Space Sci* 337, 23–32 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10509-011-0836-1>

Blasi, P. The origin of galactic cosmic rays. *Astron Astrophys Rev* 21, 70 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00159-013-0070-7>

Bolmgren, K., Mitchell, C., Bruno, J., & Bust, G. (2020). Tomographic Imaging of Traveling Ionospheric Disturbances using GNSS and Geostationary Satellite Observations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. <https://doi.org/10.1029/2019JA027551>

Cander, L. R., & Mihajlovic, S. J. (1998). Forecasting ionospheric structure during the great geomagnetic storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 103(A1), 391–398. <https://doi.org/10.1029/97JA02418>

Cander, L.R. (2019).: Ionospheric Space Weather. Springer, Cham
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-99331-7>

Choi, KE., Lee, DY. Origin of Solar Rotational Periodicity and Harmonics Identified in the Interplanetary Magnetic Field (B_z) Component Near the Earth During Solar Cycles 23 and 24. *Sol Phys* 294, 44 (2019).
<https://doi.org/10.1007/s11207-019-1433-7>

Combs, L., Viereck, RA, Space environmental: topics: aurora Boulder, CO (325 Broadway, Boulder 80303-3326) : Space Environment Center (1996).

Cranmer, S.R.: Coronal holes. *Living Rev. Sol. Phys.* 6, 3 (2009). <https://doi.org/10.12942/lrsp-2009-3>

Davis, M. J., & da Rosa, A. V. (1969). Traveling ionospheric disturbances originating in the auroral oval during polar substorms. *Journal of Geophysical Research*, 74(24), 5721–5735. <https://doi.org/10.1029/JA074i024p05721>

Gogoberidze, G., Voitenko, Y.M. Spectrum of imbalanced Alfvénic turbulence at ion-kinetic scales in the solar wind. *Astrophys Space Sci* 365, 149 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s10509-020-03865-8>

Gonzalez, W. D., Joselyn, J. A., Kamide, Y., Kroehl, H. W., Rostoker, G., Tsurutani, B. T., & Vasyliunas, V. M. (1994). What is a geomagnetic storm? *Journal of Geophysical Research*, 99(A4), 5771. <https://doi.org/10.1029/93JA02867>

Gosling, J.T.: The solar flare myth. *J. Geophys. Res.* 98, 18,937–18,949 (1993). <https://doi.org/10.1029/93JA01896>

Hines, C.O.: Internal atmospheric gravity waves at ionospheric heights. *Can. J. Phys.* 38, 1441 (1960). <https://doi.org/10.1139/p60-150>

Hunsucker, R.D.: Atmospheric gravity waves generated in the high-latitude ionosphere: a review. *Rev. Geophys. Space Phys.* 20, 293–315 (1982). <https://doi.org/10.1029/RG020i002p00293>

Jin, M., Manchester, W.B., van der Holst, B., Sokolov, I., Tóh, G., Vourlidas, A., de Koning, C.A., Gombosi, T.I.: Chromosphere to 1 AU simulation of the 2011 March 7th event: a comprehensive study of coronal mass ejection propagation. *Astrophys. J.* 834, 172 (2017). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/834/2/172>

Judge, D.L., McMullin, D.R., Ogawa, H.S., Hovestadt, D., Klecker, B., Hilchenbach, M., Möbius, E., Canfield, L.R., Vest, R.E., Watts, R., Kühne, M., Wurz, P.: First solar EUV irradiances obtained from soho by the celias/sem. *Sol. Phys.* 177, 161–173 (1998). <https://doi.org/10.1023/A:1004929011427>

Kharayat, H., Prasad, L. & Pant, S. Association of solar flares with coronal mass ejections accompanied by Deca-Hectometric type II radio burst for two solar cycles 23 and 24. *Astrophys Space Sci* 363, 87 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10509-018-3309-y>

Kharayat, H., Prasad, L. Study of cosmic ray intensity and geomagnetic storms with solar wind parameters during the period 1998–2005. *Astrophys Space Sci* 362, 20 (2017). <https://doi.org/10.1007/s10509-016-2996-5>

Kiruthiga, S., Mythili, S., Mukesh, R. et al. Analysis of TEC values predicted by OKSM amongst low, mid and high latitude GPS stations during X 9.3 solar flare. *Astrophys Space Sci* 366, 80 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10509-021-03986-8>

Klobuchar J.A., (1987), “Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users”. IEEE Transactions on aerospace and electronic systems ;(3):325-331.

Klotz, S., Johnson, N.L. (eds.): Encyclopedia of Statistical Sciences. Wiley, New York (1983)

Komjathy, A. (1997), Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System, Ph.D. Thesis, Dept. of Geodesy and Geomatics Engineering Technical Report No. 188, Univ. of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, Canada.

Koulouri, A., Smith, N.D., Vani, B.C., Rimpiläinen, V., Astin, I., Forte, B.: Methodology to estimate ionospheric scintillation risk maps and their contribution to position dilution of precision on the ground. J. Geod. 94, 22 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00190-020-01344-0>

Kumar, P., Pandeya, A.: Effect of coronal mass ejection on the Earth's magnetic field during the ascending and descending phase of solar cycles-24. Int. J. Sci. Res. 9, 1 (2020). <https://doi.org/10.36106/ijsr>

Le, G., Yang, X., Ding, L. et al. Solar cycle distribution of strong solar proton events and the related solar-terrestrial phenomena. Astrophys Space Sci 352, 403–408 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10509-014-1964-1>

Le, H., Liu, L., He, H., & Wan, W. (2011). Statistical analysis of solar EUV and X-ray flux enhancements induced by solar flares and its implication to upper atmosphere. Journal of Geophysical Research: Space Physics, 116(A11). <https://doi.org/10.1029/2011JA016704>

Leick, A. (2004), GPS Satellite Surveying, 3rd ed., John Wiley and Sons Inc., New Jersey.

Lemmerer, B., Unger, S. Modeling and pricing of space weather derivatives. *Risk Manag* 21, 265–291 (2019). <https://doi.org/10.1057/s41283-019-00052-0>

Li, J., Wang, S., Li, S. et al. Analysis of ionosphere response during high-speed solar wind stream in early August 2020. *Astrophys Space Sci* 366, 73 (2021). <https://doi.org/10.1007/s10509-021-03969-9>

Liao, X. (2000), Carrier phase based ionosphere recovery over a regional area GPS network, M.Sc. Thesis, Univ. of Calgary, Canada.

Liu, J.Y., Chen, Y.I., Chen, C.H., Liu, C.Y., Chen, C.Y., Nishihashi, M., Li, J.Z., Xia, Y.Q., Oyama, K.I., Hattori, K., Lin, C.H.: Seismoionospheric GPS total electron content anomalies observed before the 12 May 2008 Mw7.9 Wenchuan earthquake. *J. Geophys. Res.* 114(A04320), 1–10 (2009). <https://doi.org/10.1029/2008JA013698>

Liu, L., Wan, W., Chen, Y. et al. Solar activity effects of the ionosphere: A brief review. *Chin. Sci. Bull.* 56, 1202–1211 (2011). <https://doi.org/10.1007/s11434-010-4226-9>

Melnikov, V.F., (1990). Relationships Between Microwave, Hard X-Ray, and Corpuscular Emissions of Solar Flares, PhD Thesis, Radiophysical Research Institute, Nizhniy, Novgorod, Russia.

Menvielle, M. and Berthelier, A. (1991) The K-Derived Planetary Indices: Description and Availability. *Reviews of Geophysics*, 29, 415-432. <https://doi.org/10.1029/91RG00994>

Mitra, A.P. (1974), *Ionospheric Effect of Solar Flares*, Springer, New York.

Mukesh, R., Karthikeyan, V., Soma, P. et al. Cokriging based statistical approximation model for forecasting ionospheric VTEC during high solar activity and storm days. *Astrophys Space Sci* 364, 131 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3612-2>

Myagkova, I.N., Shirokii, V.R., Vladimirov, R.D. et al. Prediction of the Dst Geomagnetic Index Using Adaptive Methods. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 46, 157–162 (2021). <https://doi.org/10.3103/S1068373921030031>

Nayir, H., Arikan, F., Arikan, O., Erol, C.B.: Total electron content estimation with Reg-Est. *J. Geophys. Res.* 112, A11313 (2007). <https://doi.org/10.1029/2007JA012459>

Prölss G.W. (2004).: *Physics Of The Earth's Space Environment: An Introduction* Springer, Berlin Heidelberg.

Qian, L., Burns, A.G., Chamberlin, P.C., Solomon, S.C.: Flare location on the solar disk: modeling the thermosphere and ionosphere response. *J. Geophys. Res. Space Phys.* 115, A09311 (2010). <https://doi.org/10.1029/2009JA015225>

Rishbeth, H. ve Garriott, O., K., (1969). *Introduction to Ionospheric Physics*, Elsevier, New York, 335.

Saad Farid, A.I. High frequency spectral features of galactic cosmic rays at different rigidities during the ascending and maximum phases of the solar cycle 24. *Astrophys Space Sci* 364, 57 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3544-x>

Schwenn, R.: Solar wind: global properties. In: *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*. Institute of Physics, Bristol (2001). <https://doi.org/10.1888/0333750888/2301>

Sezen, U., Arikan, F., Arikan, O., Ugurlu, O., Sadeghimorad, A.: Online, automatic, near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC. Space Weather 11, 297–305 (2013). <https://doi.org/10.1002/swe.20054>

Shea, M., A. ve Smart, D., F., (1993). Solar Proton Events: History, Statistics and Predictions, Solar Terrestrial Predictions-IV, 2, National Oceanic and Atmosph. Admin., Environmental Res. Lab., Boulder, Colorado, USA.

Shollykutty, J. ve Kurian, P., J., (2009). A Statistical Study of the Interdependence of Solar Wind Parameters, Research in Astron. Astrophys, 9, 4, 485-493.

Sentürk, E., Cepni, M.S.: Ionospheric temporal variations over the region of Turkey: a study based on long-time TEC observations. Acta Geod. Geophys. 53, 623–637 (2018). <https://doi.org/10.1007/s40328-018-0233-0>

Sentürk, E. (2018). Türkiye depremlerinin sismik-iyonosferik öncüllerinin GPS/GNSS ölçümleri kullanılarak zamansal, mekansal, spektral ve istatistiksel olarak incelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi.

Takalo, J. Comparison of Geomagnetic Indices During Even and Odd Solar Cycles SC17 – SC24: Signatures of Gnevyshev Gap in Geomagnetic Activity. Sol Phys 296, 19 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11207-021-01765-w>

Thiemann, E.M.B., Eparvier, F.G., Woodraska, D., Chamberlin, P.C., Machol, J., Eden, T., Jones, A.R., Meisner, R., Mueller, S., Snow, M., Viereck, R., Woods, T.N.: The GOES-R EUVS model for EUV irradiance variability. J. Space Weather Space Clim. 2019(9), A43 (2019). <https://doi.org/10.1051/swsc/2019041>

Ulukavak, M., Yalcinkaya, M.: Analysis of ionospheric anomalies due to space weather conditions by using GPS-TEC variations. In: FIG Congress, 2018, May 6–11, Istanbul, Turkey (2018)

Ulukavak, M. (2016).: Ekvatorial ve Orta Kuşak Depremleri ile İyonosferik TEC Anomalileri Arasındaki İlişkinin Araştırılması. Doktora Tezi: Karadeniz Teknik Üniversitesi.

URL-1: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena> (Erişim tarihi: 05.01.2022)

URL-2: <https://swe.ssa.esa.int/what-is-space-weather> (Erişim tarihi: 05.03.2022)

URL-3: http://abyss.uoregon.edu/~js/glossary/cosmic_rays.html (Erişim tarihi: 07.03.2022)

URL-4:

https://www.esa.int/Enabling_Support/Space_Engineering_Technology/ESA_missions_team_up_to_map_cosmic_rays_across_Solar_System (Erişim tarihi: 07.03.2022)

URL-5: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/galactic-cosmic-rays> (Erişim tarihi: 07.03.2022)

URL-6: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-radiation-storm> (Erişim tarihi: 09.02.2022)

URL-7: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/news/storms-on-sun.html (Erişim tarihi: 12.02.2022)

URL-8: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-is-a-solar-radiation-storm.html> (Erişim tarihi: 26.02.2022)

URL-9: <https://www.sws.bom.gov.au/> (Erişim tarihi: 12.02.2022)

URL-10: <https://www.septentrio.com/en/company/septentrio-gnss-technology/ionospheric-scintillation-monitoring> (Erişim tarihi: 21.02.2022)

URL-11: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-euv-irradiance> (Erişim tarihi: 10.01.2022)

URL-12:

https://tr.wikipedia.org/wiki/Kutup_%C4%B1%C5%9F%C4%B1klar%C4%B1 (Erişim tarihi: 23.02.2022)

URL-13: <https://www.swpc.noaa.gov/products/aurora-30-minute-forecast> (Erişim tarihi: 15.03.2022)

URL-14: <https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-coronal-mass-ejection> (Erişim tarihi: 08.03.2022)

- URL-15: <https://www.gunesfizigi.com/cme-koronal-kutle-atimi/> (Erişim tarihi: 08.01.2022)
- URL-16: <https://www.exploratorium.edu/spaceweather/holes.html> (Erişim tarihi: 14.01.2022)
- URL-17: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/what-is-a-coronal-hole.html> (Erişim tarihi: 08.04.2022)
- URL-18: <https://www.treehugger.com/what-is-a-geomagnetic-storm-5191064> (Erişim tarihi: 23.02.2022)
- URL-19: <https://www.usgs.gov/faqs/what-are-hazards-magnetic-storms> (Erişim tarihi: 26.02.2022)
- URL-20: <https://upsccolorfullnotes.com/geomagnetic-storm/> (Erişim tarihi: 23.02.2022)
- URL-21: https://www.nasa.gov/mission_pages/rbsp/mission/fun-facts.html (Erişim tarihi: 06.02.2022)
- URL-22: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/studying-the-van-allen-belts-60-years-after-america-s-first-spacecraft> (Erişim tarihi: 28.03.2022)
- URL-23: <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sfttheory/flare.htm> (Erişim tarihi: 24.02.2022)
- URL-24: https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/spaceweather/index.html#q3 (Erişim tarihi: 12.02.2022)
- URL-25: <https://spaceplace.nasa.gov/solar-activity/en/> (Erişim tarihi: 13.02.2022)
- URL-26: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-flares-radio-blackouts> (Erişim tarihi: 14.01.2022)
- URL-27: <https://hesperia.gsfc.nasa.gov/sfttheory/spaceweather.htm> (Erişim tarihi: 26.03.2022)
- URL-28: <https://www.space.com/22215-solar-wind.html> (Erişim tarihi: 19.01.2022)
- URL-29: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/solar-wind> (Erişim tarihi: 19.03.2022)
- URL-30: <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/f107-cm-radio-emissions> (Erişim tarihi: 09.03.2022)
- URL-31: <https://spawx.nwra.com/spawx/f10.html> (Erişim tarihi: 06.03.2022)
- URL-32: <https://www.nasa.gov/msfcsolar> (Erişim tarihi: 01.04.2022)
- URL-33: http://www.wdcb.ru/stp/solar/solar_flux.html (Erişim tarihi: 12.02.2022)

- URL-34: http://isgi.unistra.fr/indices_kp.php (Erişim tarihi: 10.04.2022)
- URL-35: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html> (Erişim tarihi: 06.02.2022)
- URL-36: <https://www.swpc.noaa.gov/noaa-scales-explanation> (Erişim tarihi: 07.04.2022)
- URL-37: http://isgi.unistra.fr/indices_dst.php (Erişim tarihi: 10.03.2022)
- URL-38: http://roma2.rm.ingv.it/en/themes/23/geomagnetic_indices/27/dst_index (Erişim tarihi: 10.03.2022)
- URL-39: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf.html> (Erişim tarihi: 25.03.2022)
- URL-40: <https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-proton-flux> (Erişim tarihi: 12.04.2022)
- URL-41: https://omniweb.gsfc.nasa.gov/html/ow_data.html#7 (Erişim tarihi: 21.03.2022)
- URL-42: <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/solar/ae.html> (Erişim tarihi: 08.04.2022)
- URL-43: <https://catalog.data.gov/dataset/auroral-electrojet-ae-al-ao-au-a-global-measure-of-auroral-zone-magnetic-activity> (Erişim tarihi: 12.04.2022)
- URL-44: http://isgi.unistra.fr/indices_ae.php (Erişim tarihi: 19.03.2022)
- URL-45: <http://www.ionolab.org/index.php?page=ionolabtec&language=tr> (Erişim tarihi: 15.03.2022)

Uwamahoro, J., Habarulema, J.B. Empirical modeling of the storm time geomagnetic indices: a comparison between the local K and global Kp indices. *Earth Planet Sp* 66, 95 (2014). <https://doi.org/10.1186/1880-5981-66-95>

Wang, N., “Lagrangian Coherent Structures in Ionospheric-Thermospheric Flows”, PhD, (2018).

Wieman, S., Didkovsky, L., Judge, D. (2013). SOHO/Solar EUV Monitor (SEM) and SDO/EVE/EUV SpectroPhotometer (ESP) Calibration, Degradation and Comparisons, STCE Solar EUV Irradiance Working Group April 16, Brussels.

Zhang, D. H., Mo, X. H., Cai, L., Zhang, W., Feng, M., Hao, Y. Q., & Xiao, Z. (2011). Impact factor for the ionospheric total electron content response to solar flare irradiation. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 116(A4). <https://doi.org/10.1029/2010JA016089>

