**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# YERYÜZÜNDEN DERİNLEMESİNE BİR BAKIŞ AÇISI İLE 25. GÜNEŞ DÖNGÜSÜNÜN YÜKSELEN DÖNEMİNDE UZAY HAVASI SÜREÇLERİNİN ANALİZLERİ

**Hasan Şafak ERDAĞ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Danışman

Doç. Dr. Zehra CAN

Haziran, 2024

**T.C.**

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# YERYÜZÜNDEN DERİNLEMESİNE BİR BAKIŞ AÇISI İLE 25. GÜNEŞ DÖNGÜSÜNÜN YÜKSELEN DÖNEMİNDE UZAY HAVASI SÜREÇLERİNİN ANALİZLERİ

Hasan Şafak ERDAĞ tarafından hazırlanan tez çalışması 28.06.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı **YÜKSEK LİSANS** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Zehra CAN
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Zehra CAN, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Macide CANTÜRK RODOP, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. İpek KANAT ÖZTÜRK, Üye
İstanbul Üniversitesi _____

Danışmanım Doç. Dr. Zehra CAN sorumluluğunda tarafımca hazırlanan "Yeryüzünden Derinlemesine Bir Bakış ile 25. Güneş Döngüsünün Yükselen Döneminde Uzay Havası Süreçlerinin Analizleri" başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Hasan Şafak ERDAĞ

İmza

*“Bu dünyanın doğal bir düzeni var ve onu alt üst etmeye çalışanların durumu pek iyi değil. Bu başkaldırı hiçbir zaman ayakta kalamayacak; eğer onlara katılırsan dışlanacaksın. En iyi ihtimalle, tükürülecek ve dövülecek, en kötü ihtimalle linç edilecek veya çarmıha gerileceksin. Ancak son nefesini verirken anlayacaksın, hayatının sonsuz bir okyanustaki tek bir damladan fazlası olmadığını!”*

*Haskell Moore*

*“Ama bir okyanus, sayılamayacak kadar çok damladan başka nedir ki?”*

*Adam Ewing*

*- Bulut Atlası*

*Sevgiye, bilime ve bilinmeyenin ötesini arayan her bir okyanus damlasına*

# TEŞEKKÜR

Rüyalarımda ve gerçekte bilim insanı olmak istediğimde kurduğum hayallerim, hep kafamın içindeki soruların cevapları ve bu dünyada farklı bir şekilde de yaşanabileceğini görebilmek olmuştu. Eğer bunları yanıtlayıp sonuçlandırırsam ya da en önemlisi bunun için çabalarsam hayallerime ulaşabileceğimi düşünürdüm. Fakat akademiye girdiğimde hayallerimde asıl önemli olanın ne olduğunu fark ettim. Her hayal uzun bir yol ve bu yolun bir arkadaş ve kılavuzsuz olmayacağını. Ancak bildiğim bir şey varsa bu yolda çalışacağım kişi ve yolun sevgisiz ilerleyemeyeceğidir. Hayallerime giden bu yolda, kendisini gördüğüm ilk anda bilgisi ile beni büyüleyen ve çalışmak istediğimi söylediğim ilk andan bu zamana kadar geçen onca yılda bilgisini ve sevgisi esirgemeden beni bilim insanı olarak yetiştiren değerli akademik annem Doç. Dr. Zehra Can'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. En uçuk çalışma hayallerimde bile beni tereddütsüzce dinleyip o yolda elimi bırakmadığı ve her mutluluğu ve üzüntüyü içimde bir şüphe duymadan paylaşabildiğim için minnettarlığımı sunuyorum.

Ailem sevgimin ve bilgimin ilk başladığı, hayal kurmamın da başlangıcı olan en değerli hazinem. Benim her hareketimde tek olmadığımı, hayallerimi ve geleceğimi birlikte şekillendirdiğim en değerlim sevgili annem Yıldız Erdağ'a, her zaman yanımda büyük bir sevgi ve gücün olduğunu ve kardeşe sahip olmanın kıymetini hayatımın tüm anlarında yaşatan eşi benzeri olmayan abim Burakcan Erdağ'a ve biricik ablam Başak Erdal'a, ilerlediğim yolda beni hep sevdiğini ve desteklediğini bildiğim değerli babam Osman Erdağ'a tüm kalbimle seviyorum ve teşekkür ediyorum.

Tereddütsüz bir şekilde ilerlediğim bu yolda karşılaştığım ve gönül bağları ile ailem olup benimle yol alan, hayatın gerçekleri ile dalgalanan denizde yoluma ışık tutan bir deniz feneri gibi beni koruyan dostlarım İrem Çakır ve Çiğdem Tarakçı'ya, kuruculardan olduğum ve nice güzel çalışmalara imza attığımız Yıldız Teknik Üniversitesi Uzay Fiziği Araştırma Grubu'na, değerli zamanlarını ayırıp bana kodlama öğreten ve beni teşvik eden ve her geçen gün kalbimin en güzel yerine taht kuran sevgili dostlarım Ömer Faruk Aydın ve Melike Sena Ankara'ya, artık aynı üniversitelerde olmasak bile lisansta kazandığım ailem gibi olan canım dostlarım Tuğçe Sinem Öktemer ve Selena Aprahamyan'a teşekkür ediyorum.

Hislerimiz, hayallerimiz ve merakımızın peşinde koşarak yaptığımız çalışmalara, halka açtıkları veriler ve programlarla bu çalışmaların temelini atan NASA, NOAA, WDC Kyoto, SpaceWeather, SuperMAG, Cluster, R Project, Python, SPSS ve GFZ Potsdam'a, tezimdeki görsellerin düzenlenmesine yardım eden sevgili abim Burakcan Erdağ'a teşekkür ediyorum.

Şanslarını bekleyen değil kendileri yaratan nice bilim insanları, insanlığı evrende muasır medeniyetler seviyesini ulaştırmak için hayatlarını ortaya koyuyorlar. Geçmişte yaşamış, başarmış veya çabalamış olan hayatını bilime adayan, adı hatırlanan ve unutulan tüm kişilere sonsuz teşekkür ediyorum. Bilimin bu denli ilerlemesinde gösterdikleri cesaret, gerçekten hayatını bilime adayan günümüz bilim insanları için en büyük örnektir. Bu çağlar boyu birbirine aktarılan bayrağı taşımayı kendine görev eden tüm herkese şükranlarımı sunuyorum.

Eskimeyecek çalışmalar ve hedefler, geleceği şekillendirecek ve gelecekte de var olacaklardır. Geleceği şekillendirmek ise ileriyi hedefleyen bilim insanlarına ve onların büyük destekçilerine bağlıdır. Beni ve benim gibi yetişen bilim insanların yanında olan ve beni yüksek lisansım boyunca 2210-A genel yurt içi yüksek lisans burs programı ile destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Sonsuz teşekkürlerimi hayatımın her yansımaları ve yanılsamalarında benim yanımda olan ve adını saydığım ve sayamadığım tüm herkese ediyorum. Bu çalışma sizin varlığınız sayesinde var olabildi.

Hasan Şafak ERDAĞ

# İÇİNDEKİLER

**TEŞEKKÜR** iv
**SİMGE LİSTESİ** ix
**KISALTMA LİSTESİ** x
**ŞEKİL LİSTESİ** xi
**TABLO LİSTESİ** xiii
**ÖZET** xiv
**ABSTRACT** xvi
**1 GİRİŞ** 1
1.1 Literatür Özeti 1
1.2 Tezin Amacı 3
1.3 Tezin Hipotezi 4
**2 GÜNEŞ** 5
2.1 Güneş'in Yapısı 5
2.2 Güneş Döngüsü 6
2.3 Güneş Atılımları 7
2.3.1 Koronal Kütle Atılımı 8
2.3.2 CME-CME Atılımı 9
2.3.3 Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri CIR 10
**3 DÜNYA MANYETİK ALANI** 12
3.1 Manyetosfer 12
3.2 Jeomanyetik Fırtına 13
3.3 Çift Adımlı Fırtına 16
**4 ATMOSFER** 17
4.1 Atmosferin Yapısı 17
4.2 Ekzosfer 17
4.2.1 Atmosferik Kaçış 18
4.3 Termosfer 19
4.3.1 İyonosfer 20
4.3.2 Aurora 21
4.3.3 STEVE 22
4.4 Mezosfer 23
4.5 Stratosfer 23

4.5.1 Ozon Tabakası 23
4.6 Troposfer 25
4.6.1 İklim 26
**5 YÖNTEM VE METODOLOJİ 27**
5.1 Tüm Bölgelerin Verileri ve Bazı Veri Yöntemleri 27
5.1.1 Güneş ve Gezegenler Arası Alan 1. Bölge 27
5.1.2 Manyetosfer 2. Bölge 29
5.1.3 Ekzosfer 3. Bölge 31
5.1.4 Atmosfer 4. Bölge 32
5.1.5 Troposfer ve Yer 5. Bölge 39
5.2 Korelasyon Analizi 40
5.3 Çoklu Doğrusal Regresyon 40
5.3.1 Süreklilik 42
5.3.2 Normallik Şartı 43
5.3.3 Doğrusallık Şartı 45
5.3.4 Çoklu Bağlantılılık Şartı 45
5.3.5 Uç Değerler 46
5.3.6 Hataların Tahmini Normal Dağılımı 48
5.4 Lojistik Regresyon 48
5.5 Maxwell- Boltzmann Dağılımının Atmosferik Kaçış Olasılıkları 50
5.6 Kp Değerine Bağlı Atmosferik Kaçış Denklemi 52
5.7 Kodlama ile Grafiksel Çıkarımlar 53
**6 BULGULAR 54**
6.1 Birinci Bölge Bulguları: Güneş ve Atılımları 54
6.2 İkinci Bölge Bulguları: Manyetosfer 54
6.3 Üçüncü Bölge Bulguları: Ekzosfer 57
6.3.1 Teorik Kaçış Olasılıkları 57
6.3.2 Cluster Uydusundan Kaçış Grafikleri 58
6.3.3 Kp'ye Bağlı Kaçış Miktarları 59
6.4 Dördüncü Bölge Bulguları: Atmosfer 61
6.4.1 Termosfer, Mezosfer ve İyonosfer 61
6.4.2 Stratosfer ve Ozon Tabakası 62
6.5 Beşinci Bölge Bulguları: Troposfer ve Yer 62
**7 SONUÇ VE TARTIŞMA 64**
7.1 Güneş Manyetosfer Kuplajı 64

7.2 Manyetosfer Atmosfer Kuplajı ..... 66
7.3 Atmosfer Yer Kuplajı ..... 67
7.4 Uzay Havası: Büyük Resim ..... 68
**KAYNAKÇA** **70**
**TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR** **75**
**ÖZ GEÇMİŞ** **76**

# SİMGE LİSTESİ

| | |
|---|---|
| Kp | Gezegensel K İndeksi |
| G | Jeomanyetik İndeks |
| Np | Proton Yük Yoğunluğu |
| v | Parçacık Hızı |
| β | Bağımsız Değişken Katsayısı |
| e | Euler Sayısı |
| $v_e$ | Dünya Kaçış Hızı |
| P | Parçacık Kaçış Olasılığı |
| k | Boltzmann sabiti |
| m | Parçacık Kütlesi |
| T | Sıcaklık |
| π | Pi Sayısı |
| $\phi_{O^+}^{ms}$ | Manyeto Kılıf $O^+$ Akısı |
| $\phi_{O^+}^{pm}$ | Plazma Örtüsü $O^+$ Akısı |
| R | Değişkenler Arası Korelasyon |
| nT | Nanotesla |

# KISALTMA LİSTESİ

| | |
|---|---|
| SPSS | Statistical Package for the Social Sciences |
| STEVE | Strong Thermal Emission Velocity Enhancement |
| CME | Coronal Mass Ejections |
| ICME | Interplanetary Coronal Mass Ejections |
| CIR | Co-rotating Interaction Regions |
| SIR | Stream Interaction Regions |
| IMF | Interplanetary Magnetic Field |
| Dst | Disturbance Storm-Time |
| IRI | International Reference Ionosphere |
| UV | Ultraviyole |
| HILDCAA | High-Intensity Long-Duration Continuous AE Activity |
| AE | Auroral Electrojet |
| TEC | Total Electron Content |
| TECU | Total Electron Content Unit |
| erf | Error Function |
| erfc | Complementary Error Function |
| pm | Plasma Mantle |
| ms | Magnetic Sheet |

# ŞEKİL LİSTESİ

**Şekil 1.1** Yıllara göre uzay havası ile ilgili yayın sayısı ..... 2
**Şekil 2.1** Güneş'in yapısı ..... 5
**Şekil 2.2** Güneş lekesi ..... 6
**Şekil 2.3** Güneş döngüsü ..... 7
**Şekil 2.4** Koronal Kütle Atılımı ..... 8
**Şekil 2.5** CME-CME/ yamyam atılım ..... 10
**Şekil 2.6** Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri ..... 11
**Şekil 3.1** Jeodinamo ..... 12
**Şekil 3.2** Manyetosfer ..... 13
**Şekil 3.3** Dünya manyetik alanında yeniden bağlantı şematiği ..... 14
**Şekil 3.4** Jeomanyetik fırtına şematiği ve fırtına fazları ..... 15
**Şekil 3.5** Kp ve G indeksleri ..... 16
**Şekil 4.1** Atmosferin katmanları ve iyonosfer bölgeleri ..... 17
**Şekil 4.2** Atmosferik kaçış ..... 18
**Şekil 4.3** İyonosferin günün saatlerine göre bölgeleri ..... 20
**Şekil 4.4** İyonosfer ve radyo dalgaları ..... 21
**Şekil 4.5** Aurora ..... 22
**Şekil 4.6** STEVE ve Picket Fence ..... 23
**Şekil 4.7** Ozon tabakası ..... 24
**Şekil 4.8** Ozon hesabı için yaklaşık atmosfer yüksekliği ..... 25
**Şekil 4.9** Ozon kalınlığının benzetimi ..... 25
**Şekil 5.1** Uzay havası bölgeleri (Kaynaktan alınan görsel tez çalışması için yeniden tasarlanmıştır) ..... 27
**Şekil 5.2** Güncel güneş döngüsü ..... 28
**Şekil 5.3** Çift adımlı jeomanyetik fırtına grafiği ..... 30
**Şekil 5.4** Cluster uydusunun veri işleme programı ..... 31
**Şekil 5.5** SPSS örnek normal dağılım testleri ..... 44
**Şekil 5.6** SPSS örnek korelasyon ..... 46
**Şekil 5.7** SPSS örnek istatistik tablosu ..... 47
**Şekil 5.8** SPSS örnek uç nokta ..... 47
**Şekil 5.9** SPSS örnek Normal P-P Plot grafiği ..... 48
**Şekil 5.10** Lojistik ve doğrusal regresyon farkı ..... 49
**Şekil 6.1** Regresyon sonuçlarında hızın beta değerleri ..... 55

**Şekil 6.2** Regresyon sonuçlarında yük yoğunluğunun beta değerleri ..... 56
**Şekil 6.3** Regresyon sonuçlarında R ve R kare değerleri ..... 56
**Şekil 6.4** Atmosfer parçacıklarının sıcaklığa bağlı olarak kaçışları ..... 58
**Şekil 6.5** Cluster uydusundan atmosferik iyonların kaçışları ..... 59
**Şekil 6.6** Kp denkleminden hesaplanan $O^+$ iyonunun kaçış miktarları ..... 60
**Şekil 6.7** 4 Kasım 2021 fırtınasında kaçan $O^+$ iyonunun Python'dan çizdirilen ısı grafiği ..... 61
**Şekil 6.8** Lojistik regresyon model sonuçları ..... 62
**Şekil 7.1** Araştırmadaki uzay havasının büyük resmi ..... 69

# TABLO LİSTESİ

**Tablo 5.1** Jeomanyetik fırtınaların sınıflandırması ..... 29
**Tablo 5.2** Kp ve G indeksleri ..... 30
**Tablo 5.3** Jeomanyetik fırtınaların analizi ..... 33

# ÖZET

## YERYÜZÜNDEN DERİNLEMESİNE BİR BAKIŞ AÇISI İLE 25. GÜNEŞ DÖNGÜSÜNÜN YÜKSELEN DÖNEMİNDE UZAY HAVASI SÜREÇLERİNİN ANALİZLERİ

Hasan Şafak ERDAĞ

Fizik Anabilim Dalı

Fizik Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Zehra CAN

Uzay havası, Güneş olaylarının güneş sistemindeki bölgede başlattığı çeşitli süreç ve etkilerin bütünüdür. Özellikle Güneş'ten atılan güneş plazması Dünya'da ve manyetik alanında jeomanyetik fırtına olarak tanımlanan bozulmalar oluşturur. Bunun sonucunda uydular, iletişim, navigasyon ve hatta yaşam olumsuz olarak etkilenebilir. Bu tez çalışmasında güneşten başlayan bir olayın zincirleme süreçler oluşturarak Dünya yüzeyinde herhangi bir etki oluşturması ve bu etkinin ne kadar büyük olabileceği üzerine çalışıldı. Tüm süreçleri kapsayacak şekilde incelenilen alan beş bölgeye ayrıldı. Sırasıyla Güneş ve gezegenler arası ortam, manyetosfer, ekzosfer, atmosferik katmanlar ve son olarak troposfer ve yer olacak şekilde beş farklı bölgedeki uzay havası süreçleri analiz edildi. İstatistiksel yöntemler olan çoklu doğrusal regresyon, lojistik regresyon, korelasyon yöntemleri uzay havasındaki süreçlere uygulandı. Modellemeler Excel, SPSS aracılığı ile yapılırken

ayrıca R ve Python programlama dilleri kullanılarak çalışma zenginleştirildi. Veri analizlerinin yanı sıra Maxwell-Boltzmann dağılımları, atmosferik kaçış hızı gibi teorik ve matematiksel çalışmalar sürece dahil edildi. Araştırma 25. güneş döngüsünün yükselen dönemi olan 2021-2022 yıllarını kapsamaktadır. Her bölgede elde edilen en önemli sonuçlar sırasıyla: 82 jeomanyetik fırtına tespit edilerek çoklu doğrusal regresyon modelleri ile jeomanyetik fırtına sırasında hızın artması hem fırtına gücünü hem de fırtına süresini uzattığı, yük yoğunluğunun da fırtınaya tam tersi etki yaptığını, ekzosfere güneş parçacıkların girdiği gibi atmosferik parçacıkların da uzaya kaçtığı, atmosferik kaçış için üç farklı yöntem ile oksijen iyonunun uzaya büyük miktarda sızdığı ve Dünya manyetik alanının her zaman dünyayı koruyan bir kalkan görevi görmediği, optik fenomenlerden STEVE'in oluşum zamanları için literatüre yeni bir lojistik regresyon modeli önerip iyonosferik fenomen kullanılabileceği, ozon ve atmosferik parçacıklar ve buradan da yer yüzeyinin günlük sıcaklıkları arasında korelasyonlar olduğu bu tez çalışmasında ortaya konuldu. Tez sürecinde bahsedilen beş bölgedeki olaylara birçok farklı çalışmalar yapılarak literatüre yeni sonuçlar kazandırıldı. Böylece uzay havasındaki bir olayın zincirleme süreçler oluşturduğu ve yer yüzeyine kadar ki bölgeyi etkilediği gösterildi.

**Anahtar Kelimeler:** Uzay havası, güneş aktivitesi, jeomanyetik fırtına, atmosferik kaçış, istatistiksel model.

# ABSTRACT

## ANALYSES OF SPACE WEATHER PROCESSES DURING THE ASCENDING PHASE OF THE 25TH SOLAR CYCLE FROM AN IN-DEPTH PERSPECTIVE FROM EARTH

Hasan Şafak ERDAĞ

Department of Physics

Master of Science

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zehra CAN

Space weather is the various processes and effects initiated by solar events in the environment. Particularly, solar plasma ejected from the Sun can create disturbances on Earth, including geomagnetic storms within its magnetic field. As a result, satellites, communication, navigation, and even life can be adversely affected. This thesis investigates how an event originating from the Sun can cascade into various processes, potentially impacting the Earth's surface significantly. The studied area is divided into five regions: Solar and interplanetary environment, Magnetosphere, Exosphere, Atmospheric layers, and Earth's surface. Statistical methods such as multiple linear regression, logistic regression, and correlation techniques were applied to space weather processes. Modeling was done using Excel, SPSS, and enriched using R and Python programming languages. In addition to data analysis, theoretical and mathematical studies such as Maxwell-Boltzmann distributions and atmospheric escape velocity were included. The research covers the rising phase of the 25th solar cycle, spanning from 2021 to 2022. The most significant findings in each region include: 82 geomagnetic storms were detected,

and multiple linear regression models showed that an increase in velocity during geomagnetic storms extends both their power and duration, with charge density having the opposite effect. It was observed that not only solar particles enter the Exosphere, but atmospheric particles also escape into space, particularly oxygen ions, in large quantities. Moreover, it was shown that the Earth's magnetic field does not always act as a protective shield. A new logistic regression model for the formation times of the optical phenomenon STEVE was proposed, suggesting the use of ionospheric phenomena. Correlations between ozone, atmospheric particles, and daily surface temperatures were also highlighted. Through various studies in the five regions mentioned, this thesis contributes new insights to the literature, demonstrating how a space weather event can create cascading processes that impact the Earth's surface.

**Keywords:** Space weather, solar activity, geomagnetic storm, atmospheric escape, statistical model.

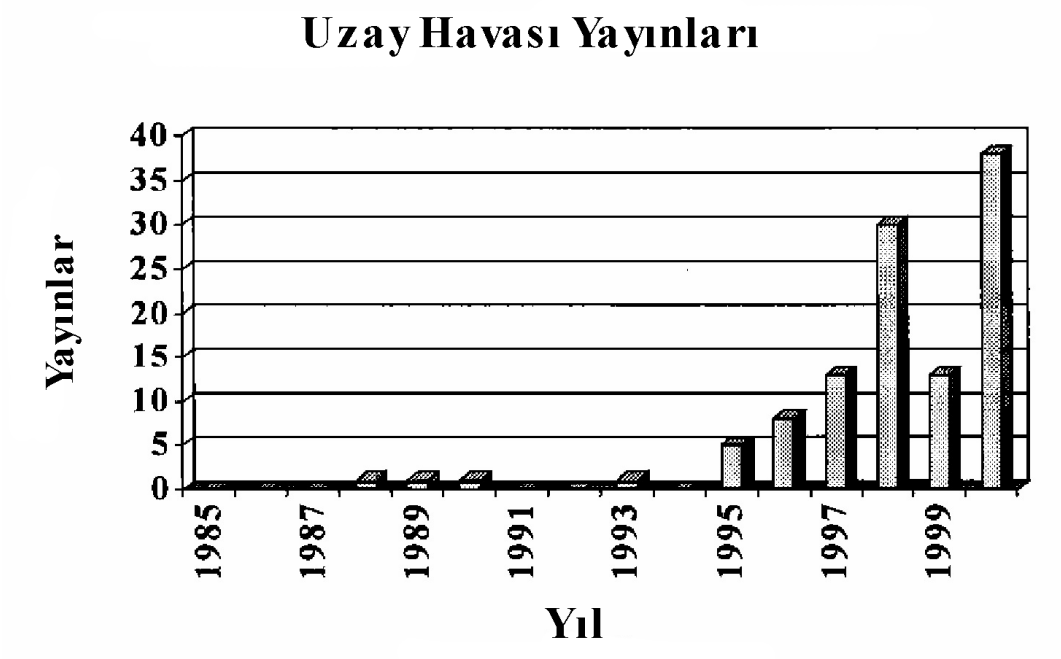
# 1
# GİRİŞ

*"İnsanlık sonsuza dek Dünya'da kalmayacak, ancak ışık ve uzay arayışında önce çekingen bir şekilde atmosferin sınırlarından çıkacak ve daha sonra Güneş'e yakın tüm alanı kendisi için fethedecektir."*

*- Konstantin Eduardovich Tsiolkovsky*

## 1.1 Literatür Özeti

Uzay havası, güneş sistemi için Güneş'teki birtakım manyetik bozulmalar sonucu gezegenler arası ortama salınan çeşitli enerji ve güneş plazmasının başlattığı tüm olay, süreçler ve etkilerin bütününe verilen addır. Yapılan yeni çalışmalarla birlikte günden güne popülerliği artan bir fenomendir. Modern zamanın insanları son yıllarda her konuda uzaya başvurmakta ve modern dünyanın çeşitli konularını artık uzay içerisinde de incelemektedir. Uzay görevleri, iletişim, navigasyon ve gözlemler gibi birçok önemli sürecin artık yer yüzeyinin dışında hayat bulduğu bir çağa geçilmiştir. Yaşamın ve teknolojinin uzaya kayması da uzay biliminin Dünya ve Güneş'i kapsayan kısmı insanlık için önemli hale gelmektedir. Bu da Uzay biliminin içerisinde yeni bir alt başlık olan uzay havasının bilim dünyasında yerini güçlendirmesini sağlamıştır. Aslında uzay havasının doğuşu Auroralar ve güneş lekeleri ile çok önceden başlamaktadır. Eski dönemlerde çıplak gözle ya da teleskopla yapılan gözlemler Güneş'i ve Dünya'da oluşturduğu görkemli ışıkları hep gizemli ve heyecan verici kılmıştır. Kopernik'ten Galileo'ya kadar birçok bilim insanı bu gözlemlerin başlatıcıları olmuştur. Fakat çalışmalar her zaman uzay bilimi içerisinde var olmuşlardır. 90'lı yıllara gelindiğinde, yapılan yayınlarda uzay havası gelişen teknoloji ile büyük bir hızla yaygınlaşmaya başlamıştır (Şekil 1.1). Bu bilim dalı artık herkesin ilgisini çekmekte ve bilim dünyasında uzay havasına dair birçok bilimsel bilgiyle birlikte yeni alanlar açılmaktadır. [1], [2], [3], [4], [5].




**Şekil 1.1** Yıllara göre uzay havası ile ilgili yayın sayısı [2]

25. güneş döngüsü 2019 Aralık'tan bu yana oldukça büyük güneş lekelerine ev sahipliği yaparak, 24. güneş döngüsüne göre büyük farklılıklar göstermektedir. Büyük güneş lekeleri büyük atılımlara yol açarak, gezegenler arası manyetik alanının güneye dönük oluşu yardımıyla Dünya manyetik alanında sık ve yoğun jeomanyetik fırtınalar oluşturmaktadır. Her jeomanyetik fırtınanın kendine özgü oluşu ve üzerine beklenenden daha yoğun yeni bir güneş döngüsüne girmek, uzay havasının çözülememiş veya iyi anlaşılamamış birçok sistemi için yeni kapılar aralamaktadır. Güneş'in kendine özgü mekanizmalarından, jeomanyetik fırtınada güneş parametrelerinin hala Dünya manyetik alanı ile etkileşimi ve etkisinin sonuçları için yeni fırsatlar verir [6], [7].

Jeomanyetik fırtınalar sırasında atmosfere enerji ve parçacık aktarımı olur. Enerji aktarımını göstermek için kullanılan en önemli yöntemlerden biri Akasofu'nun epsilon parametresidir. Aktarılan enerjinin büyüklüğü, oluşan jeomanyetik fırtınanın büyüklüğünü belirlemede kullanılabilmektedir. Böylece manyetik alanının bozulmaları atmosferdeki bozulmalara da yol açar. Çünkü manyetik alan artık dünya için düzgün bir kalkan görevi görmemektedir [8].

Atmosferin her ne kadar çeşitli katmanları olsa da genellikle uzay havası çalışmalarında termosfer ve ekzosfer kısmı kullanılır. Bunun asıl sebebi, atmosferin 100km'den sonra uzay olarak sayılması ve parçacıkların bu bölgeye kolayca

girebilmesidir. Uzay havasının ana konularından olan ve hala tam olarak çözülememiş Auroralar atmosferin termosfer katmanında bulunmaktadırlar. Ayrıca iyonosferi de barındıran termosfer katmanı konum ve iletişimi kapsayan teknolojik konuların da ana bölgesidir. Yapılan çalışmalarda çeşitli uyduların atmosferde geçiş bölgeleri olan termosfer ve ekzosfer, uzay havasının kilit bölgeleridir. Konumsal öneminin yanında atmosferin birer parçası olmalarından dolayı, buradaki her bir sürecin alt atmosferde de etkileri olabilmektedir. Etkilerin süreçleri ise doğrudan üst atmosferden ya da dolaylı yoldan gezegenler arası alandan gelebilmektedir. Her uzay havası süreci geçtiği bölgelerde bir zincirleme olay başlatmaya bilir [9].

Atmosfer ve manyetosfer kuplajının belki de bu denli önemli oluşu, Dünya'daki yaşam olabilir. İnsanlar ve farklı türlerin üzerinde var olan çeşitli hava katmanlarından oluşan atmosfer, uzayın yanı sıra yer yüzeyi ile de bir kuplaja sahiptir. Doğrudan yer yüzeyindeki doğal ve yapay olaylar atmosfere etki edebildiği gibi atmosferdeki süreçler de yer yüzeyinde çeşitli süreçler ve sonuçlar doğurabilir. Buna volkanik bir patlamadaki gaz çıkışını ya da günlük hayatta kullanılan birçok ürünün oluşturduğu kirliliğin atmosfer yapısını bozması örnek verilebilir. Yaşam göz önüne alındığında, atmosferde en değerli hale gelen bölgelerden biri ozon tabakasıdır. Tabakanın kalın bölgelerinde güneşten gelen zararlı ışınları emerken, ince bölgelerinde emilim düşerek hem zararlı ışınların canlılara hasar vermesine hem de iklimsel değişikliklerin ortaya çıkışlarının artmasına sebebiyet verir [10], [11], [12], [13].

Uzay havası aslında tek bir bölge olarak görünse de birçok bölgenin iç içe geçtiği büyük bir sistemdir. Güneş manyetosfer kuplajı, manyetosfer atmosfer kuplajı ve atmosfer yer kuplajı bunlardan bir kısmıdır. Uzay havasının bu denli zenginliği sadece bölgesel değil, bilinen fenomenlerinin de geçen zaman boyunca yenilerini ortaya çıkardığı görülmektedir. Bunlardan Aurora çok uzun yıllar boyunca bilinse bile Aurora'ları fotoğraflayan insanlar sayesinde, çeşitli optik fenomenler ortaya çıkmıştır. Örnek olarak uzun yıllar Aurora sanılan fakat bilim insanların incelediği görüntüler sonucu yeni bir fenomen olduğu anlaşılan STEVE verilebilir [14], [15].

## 1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında sırasıyla Güneş, gezegenler arası alan, manyetosfer, ekzosfer, termosfer, mezosfer, stratosfer, troposfer ve yer yüzeyi bölgelerinde seçilen çeşitli

olaylar analiz edildi. İstatistiksel yöntemlerle birlikte modeller oluşturularak literatürde var olan ve uzay havası konusuna uygulanan yeni yöntemlerle bilimsel sonuçlar elde edildi. Tezin asıl amacı olan, incelenen bölgelerin birbiriyle olan kuplajı ortaya çıkarıldı. Her bir bölgedeki bir olayın bir öncekine bağımlı bir sonrakinin de başlatıcısı olduğu gösterildi.

Tez kapsamı boyunca her bir bölümde sırasıyla bunlar yapıldı.

İlk olarak 2. bölümde Güneş'in yapısı anlatıldı. Güneş döngüsünün önemi ve 25. güneş döngüsünün yükselen döneminde neler beklenildiği incelendi. Çeşitli güneş atılımlarının mekanizmaları gösterildi. Sonrasında 3.bölümde Dünya'nın manyetik alanının yapısı, görevleri ve gelen parçacıklarla etkileşimi sonucu jeomanyetik fırtınaların oluştuğu anlatıldı. Bölge olarak anlatılan son bölüm ise atmosfer ve katmanlarının anlatıldığı 4. bölümdür. Atmosfer katmanlarının genel özellikleri ve ara katmanlara bu bölümde yer verildi. 5. bölümde bu tez çalışmasında verilerin nerelerden alındığı, verilerin nasıl işlendiği ve son olarak da her bir bölgeye uygulanan istatistiksel ve teorik yöntemler olan çeşitli regresyon, korelasyon ya da Maxwell-Boltzmann dağılımlarının atmosferde uygulanışı gibi farklı yöntemlerin neler olduğu ve nasıl uygulandığı anlatıldı. 6.Bölüm'de bir önceki bölümdeki yöntemlerin uygulanmasından sonra ortaya çıkan sonuçlar gösterildi ve 7. bölümde ise çıkan bu sonuçların ne anlama geldiği anlatılıp tartışılarak tez çalışması tamamlandı.

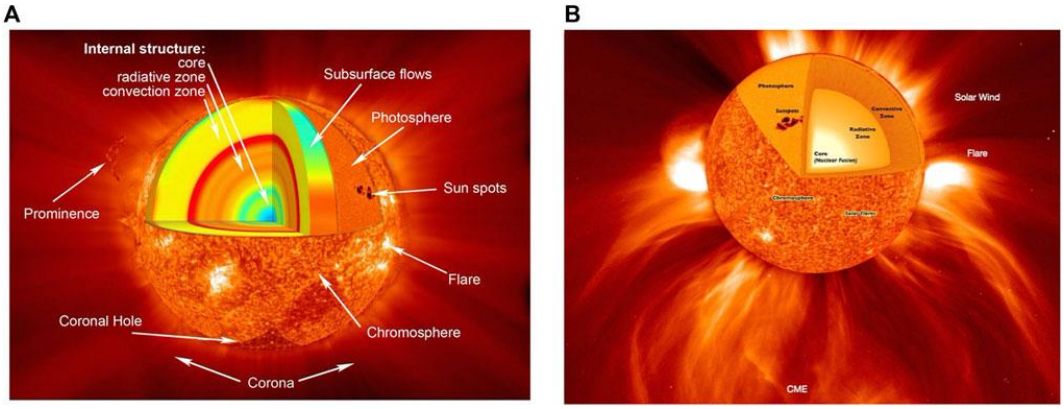
## 1.3 Tezin Hipotezi

Bu araştırmada uzay havası konusunda birden fazla farklı çalışma yapılmıştır. Uzay havasının ana bölgesi olan Güneş'ten Dünya yer yüzeyine kadar olan kısım kendi içinde bölgelere ayrıldı. Ayrılan bölgelerin ana ve ara süreçleri her biri farklı bir çalışma olacak şekilde analiz edildi. Tezin ana konusu olan Güneş'te başlayan bir olayın tüm seçilen bölgelerde bir zincirleme olay başlatıp Dünya yer yüzeyindeki süreçlere doğrudan ya da dolaylı yoldan istatistiksel olarak anlamlı bir katkısı vardır hipotezi üzerinde çalışıldı. Çalışmanın literatüre Güneş, manyetosfer, atmosfer ve yer kuplajının daha iyi anlaşılması üzerine katkı yapacağı düşünülmektedir.

# 2
# GÜNEŞ

## 2.1 Güneş'in Yapısı

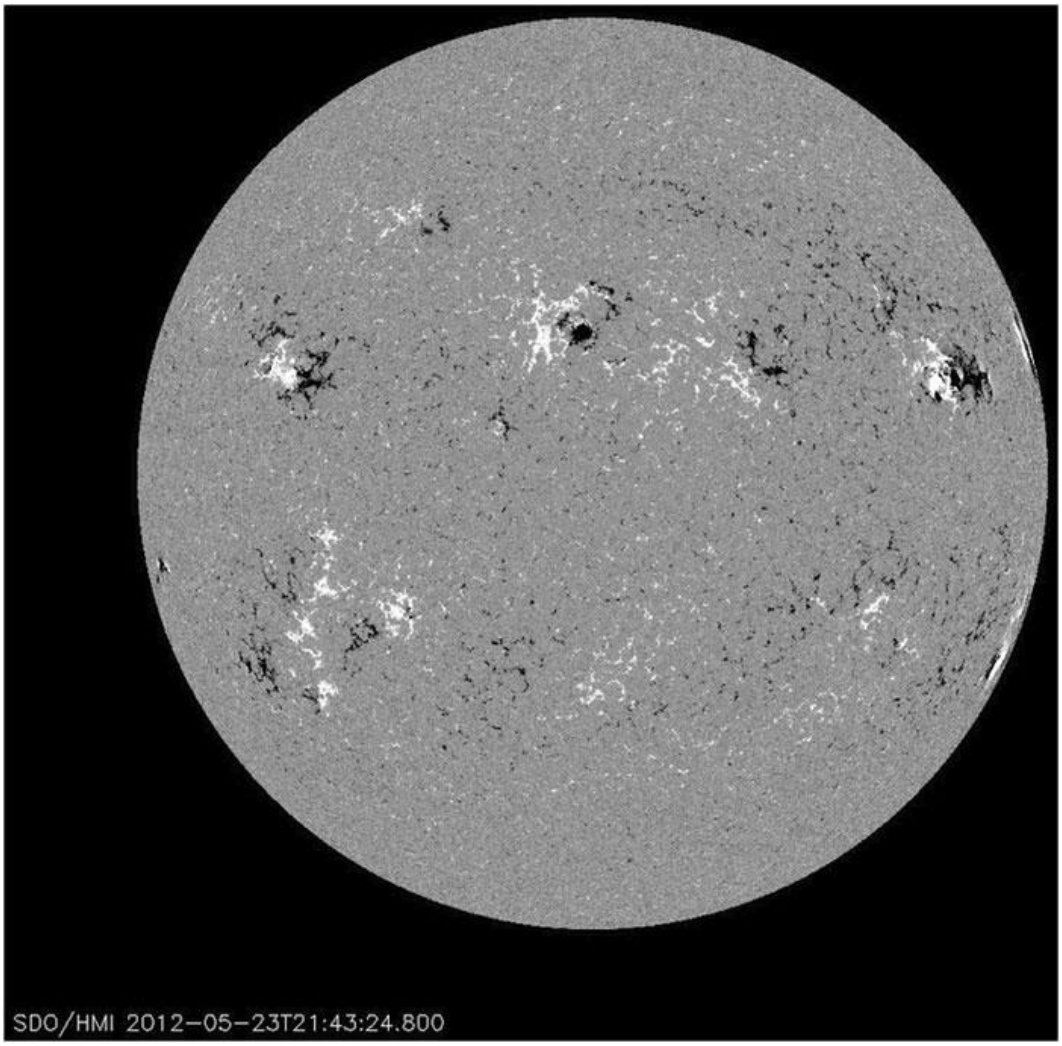
Güneş sistemi; bir yıldız, sekiz gezegen ve bu tüm nesneleri içinde kapsayan tüm süreç ve olayların bütünü olan uzay havasından oluşmaktadır. Sistemin sarı cüce yıldızı olan güneş, yaklaşık olarak 4,6 milyar yıl yaşında ve atmosferinin büyük çoğunluğu yaklaşık %90 Hidrojen, %10 Helyum ve %0,1 oranında diğer bileşenlerden oluşmaktadır [16], [17]. Güneşin genel fiziki özelliklerine bakıldığında $1.988.500\times10^{24}$ kg kütleli, $1.412.000x10^{12}$ $km^3$ hacimli ve 1,41 $g/cm^3$ yoğunluğunda bir yıldızdır (Şekil 2.1). Güneş sisteminin kütlesinin yaklaşık %98'ini güneş kendi içinde barındırmakla birlikte, güneş hacmi ortalama olarak 1,3 milyondan fazla Dünya'yı barındırabileceğini belirtir. Dünya'ya kıyasla Güneş'in de kuzey ve güney kutbu olup bu eksen etrafında Dünya ile aynı yönde döner. Ama Dünya tüm enlemlerde bir dünya gününde (24 saat) dönerken, Güneş kendi ekseninde ekvator çevresinde yaklaşık 25 dünya günü, kutup bölgelerine doğru bu süre 35 dünya gününe kadar çıkmaktadır. Bunun nedeni, güneşin yüzeyi (ve yüzeye yakın iç bölgesi) Dünya gibi neredeyse bir bütün halinde hareket etmemektedir. Fotosfer olarak adlandırılan bu alan plazma bölgesidir ve süper sıcak (6000 $^oC$) elektrik yüklü gazdan oluşmuştur. Bu plazma yapısı ve dönüş farklılığı ile güneş yüzeyi karmaşıklaşmaya başlamaktadır [16], [18].




**Şekil 2.1** Güneş'in yapısı [17]

## 2.2 Güneş Döngüsü

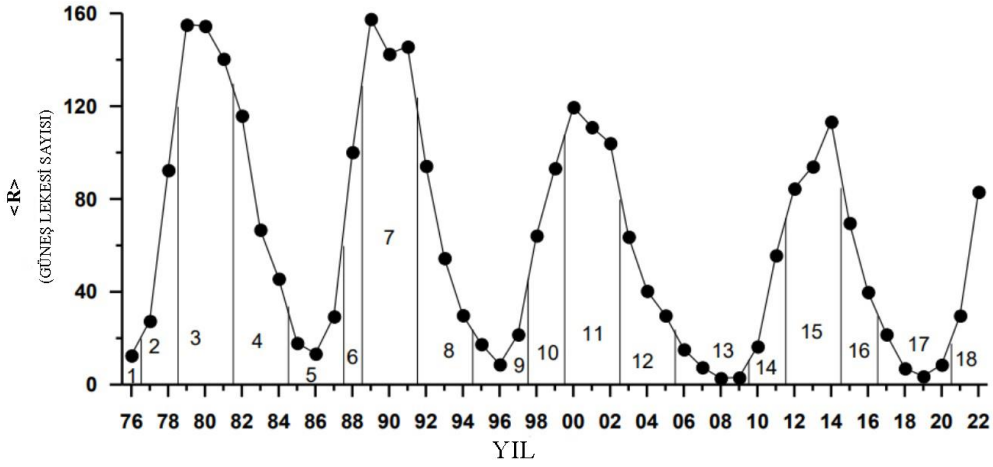
Güneş'te hızlı dönen Ekvator bölgesinde güneşin manyetik alanı kutup bölgelerine göre bükülür ve bunun sonucunda bazı bölgelerde kırılmalar meydana gelir. Güneş yüzeyinde kırılmaların sonucu olarak Şekil 2.2'de görüldüğü gibi kuzey ve güney kutup manyetik alan noktaları meydana gelir ve bu noktalar güneş lekesi olarak isimlendirilir [19].




**Şekil 2.2** Güneş lekesi [17]

Güneş lekeleri güçlü güneş olaylarının bir habercisidir. Çevresinden daha az sıcak olduğu için (4000°C) güneş yüzeyinde siyah lekeler olarak görülmektedir. Güneş lekelerinin morfolojisi iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım Umbra adı verilen lekenin merkezindeki siyah alandır. Manyetik bozulma nedeniyle oluştuğundan birkaç kilogauss güçteki manyetik alanlara sahip olabilmektedir. İkinci kısım ise, lekenin merkezini saran Penumbra bölgesidir. Umbra'ya göre daha zayıf ve eğimli

manyetik alan çizgilerine sahiptir [20], [21]. Genel olarak güneşteki manyetik alan, güneş lekelerinde 3000 Gauss'a, kutup çevresinde 1- 2 Gauss'a, Güneş çıkıntılarında 10-100 Gauss ve geçici aktif bölgelerde ise 20 Gauss olarak belirlenmiştir. Bu güçlü yapıların güneş yüzeyinde artış ve azalışlarının belirmesi güneş döngüsü ile bağlantılıdır. Güneş lekeleri her 11,4 yılda bir solar maksimum (lekelerin yoğun olduğu zaman) ve solar minimum (lekelerin az olduğu zaman) şeklinde güneş üzerinde rastgele konumlarda ortaya çıkmaktadır. Döngünün belirli zamanlarında lekeler ve güneşin üst atmosferi olan Korona'da karmaşık bir ortamla birlikte açık manyetik alan çizgileri oluşur. Güneşin üst atmosferindeki bu bölgelere koronal delik adı verilmektedir. Koronal delikler güneş minimumu zamanlarında artış göstermektedir [16], [17], [22].




**Şekil 2.3** Güneş döngüsü [6]

2019 Aralık ayından itibaren artık 25. güneş döngüsü başlamıştır. 2021 ve 2022 yılları güneş döngüsünün yükselen dönemine denk gelmektedir. Bu durum birçok güneş olayının başlayacağını ve bu durumda da Dünya'ya birçok güneş olayının ulaşacağının habercisidir. Yapılan çalışmalar her ne kadar bir öncekinden daha düşük bir güneş döngüsü olacağı tahminleri olsa da son birkaç yılda oldukça büyük güneş lekeleri (Şekil 2.3) ve atılımların olduğu gözlemlendi [6].

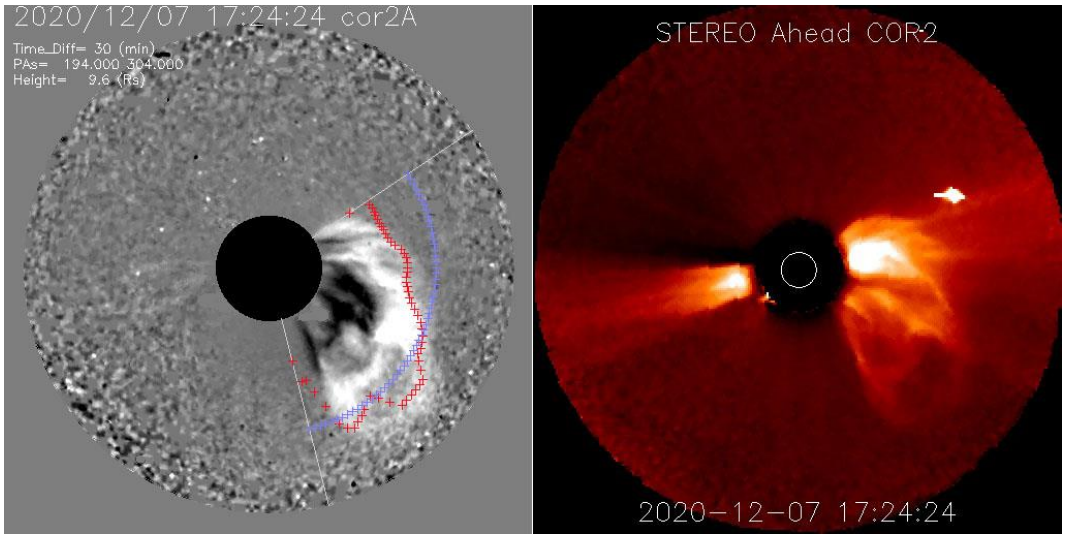
## 2.3 Güneş Atılımları

Güneş rüzgârları kısaca, güneşten ayrılarak uzaklaşıp gezegenler arası ortama saçılan parçacıklara verilen addır. Hızlı ve yavaş olmak üzere iki kategoride

incelenmektedir. Hızlı güneş rüzgârları, koronal delik kaynaklı açık manyetik alanlar boyunca uzaya saçılan parçacıklardır. Yavaş güneş rüzgârları ise, güneşte oluşan reaksiyonlardan güneş lekelerine kadar neredeyse her durumda uzaya saçılan parçacıkları kapsamaktadır. İsimlerinden de belli olduğu gibi, güneş rüzgârları parçacıkların uzaya saçılma hızına bakılarak sınıflandırılmaktadır. Yavaş güneş rüzgârları ortalama olarak 250-450 km/s'nin civarındaki hızlarda hareket ederken, hızlı güneş rüzgârları için bu hız 450-900 km/s'nin arasındadır. Güneş maddesi gezegenler arası ortama sadece bu iki kategorideki güneş rüzgârları ile yayılmamaktadırlar [23].

### 2.3.1 Koronal Kütle Atılımı

Güneş üzerinde hem koronal delikte hem de güneş lekelerinde atılmalar meydana gelmektedir. Özellikle güneş lekelerindeki manyetik yeniden bağlanma adı verilen, zıt yönlü manyetik çizgilerin birleşip plazma ile uzaya saçılması buna en iyi örnek olarak söylenebilir. Uzay havası ve gezegenleri en çok etkileyen durum ise, güneş maddesi atılımı olan yüksek miktarda parçacığın uzaya atılması olarak tanımlanan Koronal Kütle Atılımıdır (Coronal Mass Ejection (CME)) (Şekil 2.4) [17], [24]. Bu atılımlar güneş sistemindeki gezegenlerden, güneş sisteminin dışına kadar ortalama güneş rüzgârı hızı 250 km/s'den 3000 km/s'ye kadar hızla yayılırlar. En hızlı haliyle bile Dünya'ya ulaşması 15 ila 18 saat sürebilmektedir ve bu nedenle saatler hatta günler önce patlamalar tespit edilebilmektedir [16].

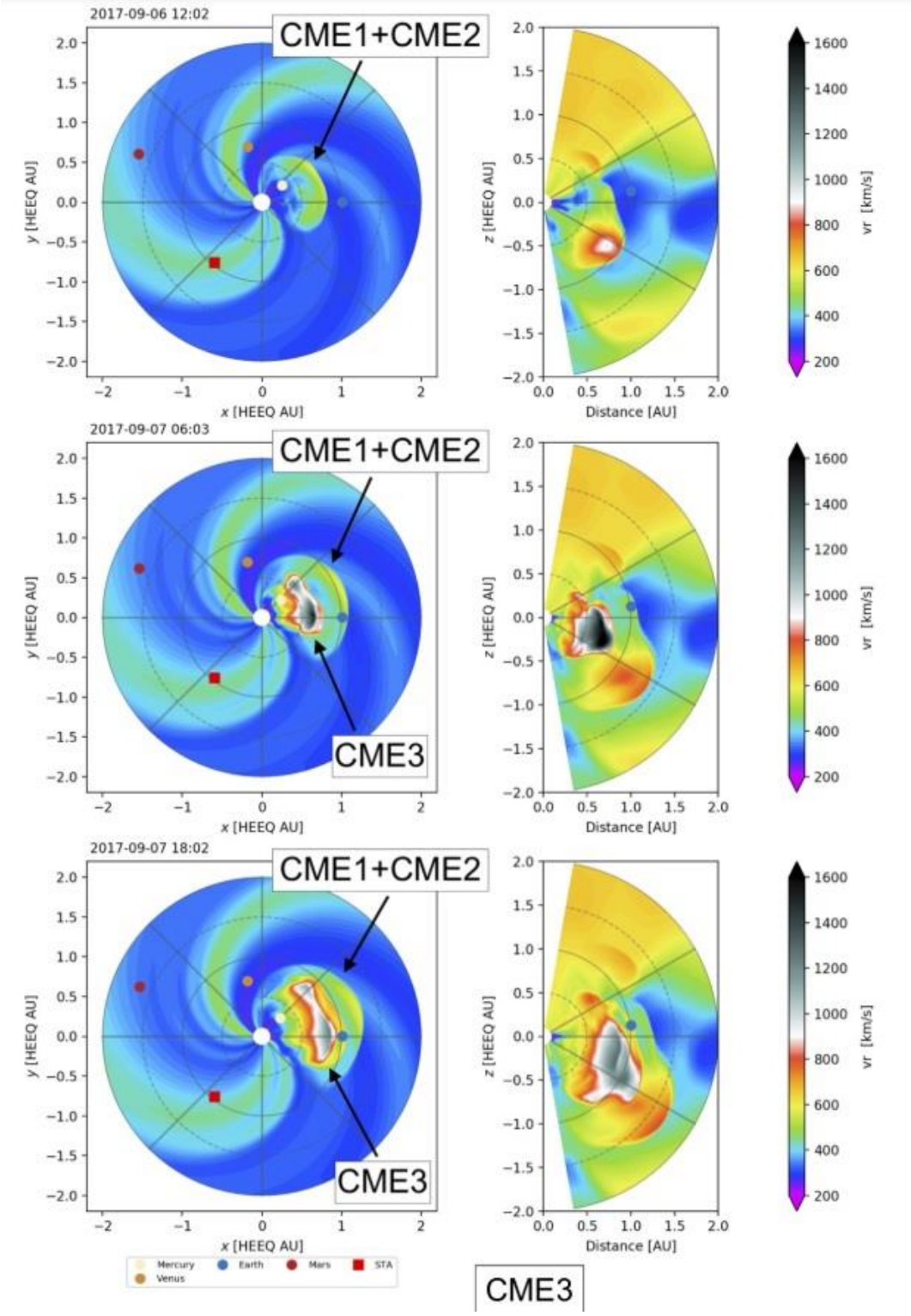



**Şekil 2.4** Koronal Kütle Atılımı [25]

Koronal Kütle Atılımı en basit haliyle üç ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla, yüksek yoğunluğa sahip iç çekirdek, çekirdeği saran kara az yoğun çekirdek ve son olarak da bu yapı spiral manyetik alan ve parçacıktan oluşan başka bir yapı ile çevrelenmiştir. Koronal Kütle Atılımını hem önemli yapan hem de güneş rüzgârından onu ayıran iki önemli özelliği hızı ve yoğunluğudur. Hızı ve yoğunluğu sayesinde gezegenler arası ortamda ilerlerken, yayılarak ICME (Interplanetary Coronal Mass Ejection) haline gelir [26], [27].

### 2.3.2 CME-CME Atılımı

Koronal Kütle Atılımları kendi içlerinde çeşitli dinamiklere ve süreçlere sahiptirler. Her bir atılım benzer genel özelliklere sahip olsa da aslında içlerinde ve etkilerinde tamamen özgündürler. Fakat bazı durumlarda bu özgünlük sadece bir atılım ile sınırlı kalmaz. Güneş'te önce bir Koronal Kütle Atılımı olursa ve ardından bunun arkasından ilkinden daha hızlı ikinci bir Koronal Kütle Atılımı daha yaşanırsa, ikinci atılım ilkini yakalayarak yeni bir atılım oluşturur ve CME-CME ya da yamyam atılım olarak adlandırılır (Şekil 2.5). İki atılımın birleşmesi farklı senaryolar doğurabilir. Atılımlar birbirini güçlendirmesi veya sönümlendirmesi çeşitli olay zincirleri başlatır [28], [29].

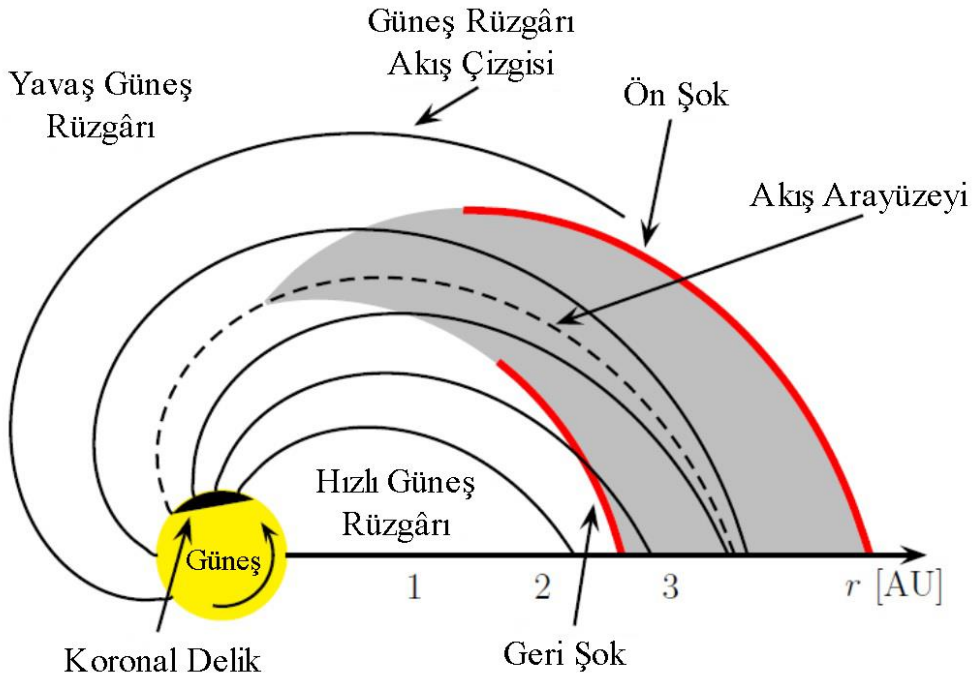



**Şekil 2.5** CME-CME/ yamyam atılım [30]

### 2.3.3 Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri CIR

Koronal delikten çıkan hızlı güneş rüzgârları, ortamda bulunan yavaş güneş rüzgârları ile genellikle birbirine karışmadan farklı bir güneş parçacığı saçılımı olan Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri'ni (Corotating Interaction Regions (CIR))

oluşturmaktadır (Şekil 2.6). Hızlı ve yavaş hareket eden güneş rüzgârlarının etkileşimi, güneş rüzgârında genişleme veya sıkışmalara neden olur. Bu durum bölgedeki alanların Akış Etkileşim Bölgeleri (Stream Interaction Regions (SIR)) adını almasını sağlar [28], [31].

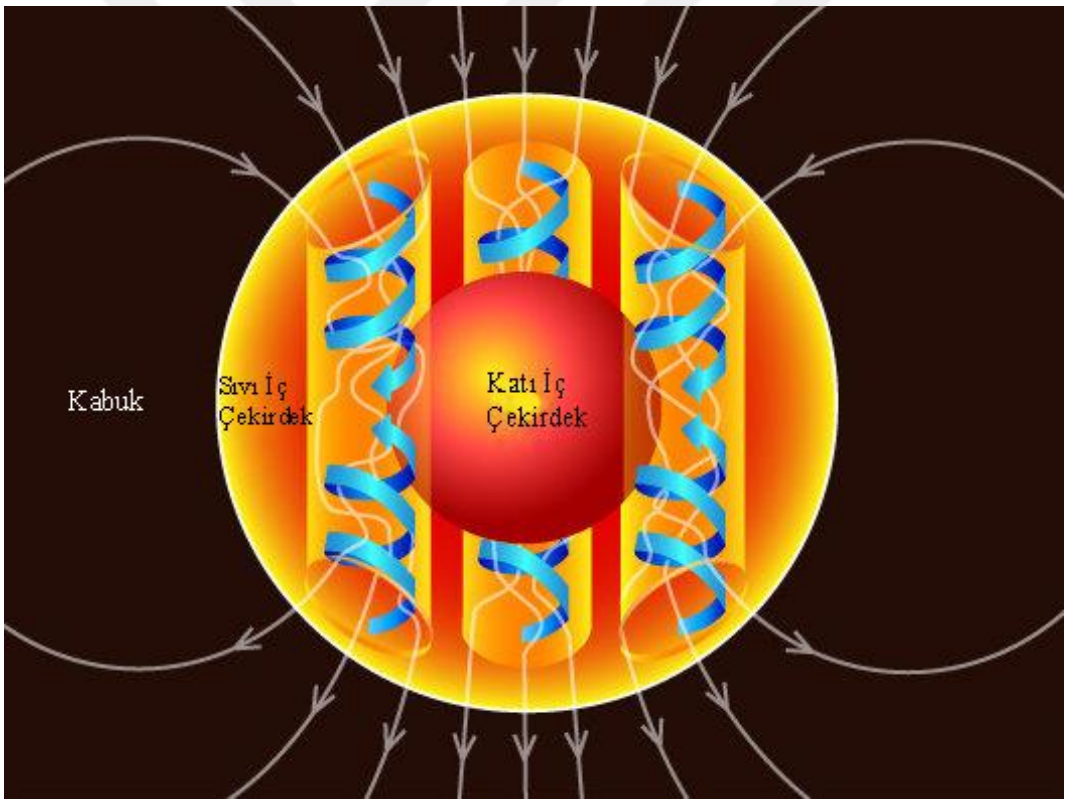



**Şekil 2.6** Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri [32]

# 3
# DÜNYA MANYETİK ALANI

## 3.1 Manyetosfer

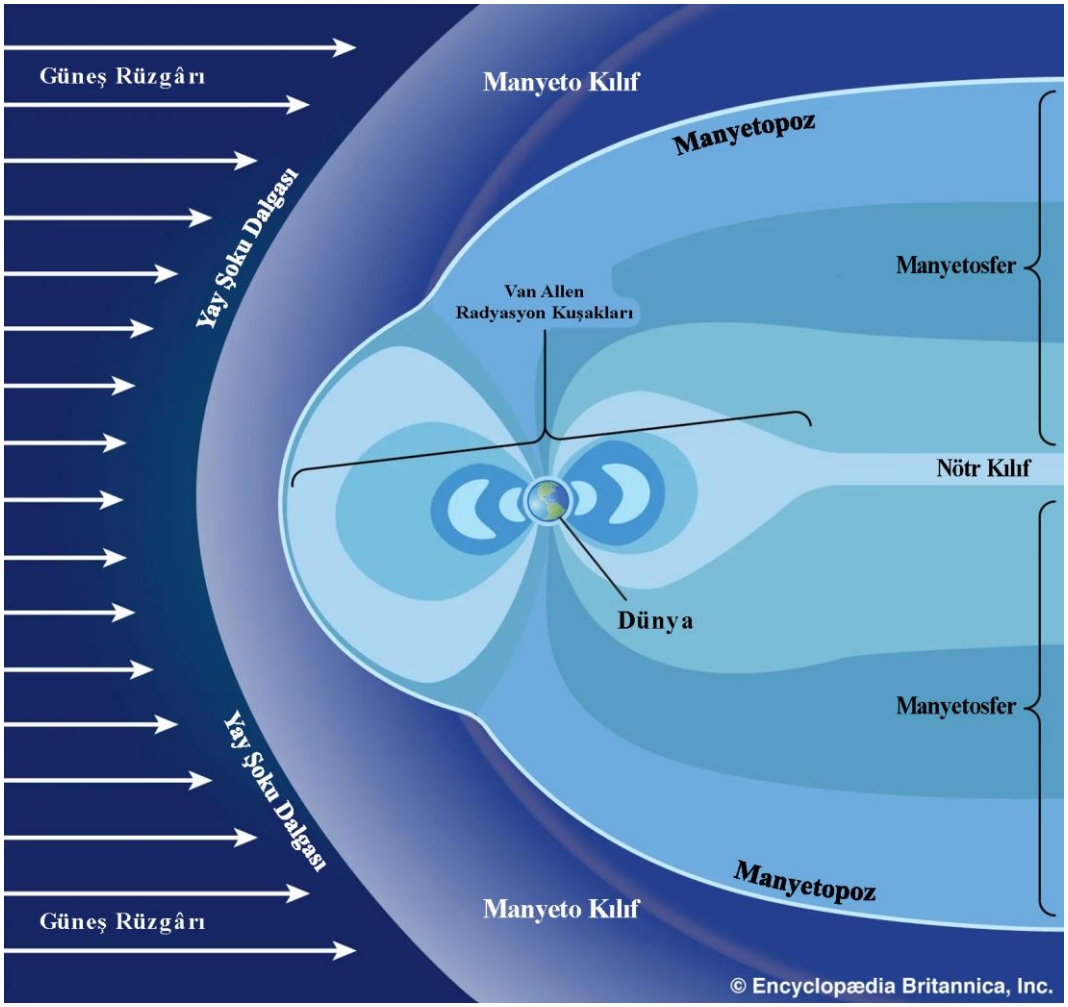
Manyetosfer Dünya için, erimiş demir ve nikelden oluşan sıvı dış çekirdekten meydana gelir [33]. Konvektif kuvvetler ve Dünya'nın dönüş hareketi erimiş metallerde girdaplar ve yüksek hızlı elektrik akımları oluşturur. Böylece elektrik akımları ile manyetik alan meydana gelir ve dinamo benzeri bu mekanizma Jeodinamo olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3.1). Jeodinamo Dünya üzerinde küresel bir manyetik alan oluşturmakla birlikte, dinamo hareketinin küresel ölçekte gezegen manyetik alanlarının ana mekanizması olduğu düşünülmektedir [34], [35].




**Şekil 3.1** Jeodinamo [36]

Güneş rüzgârı Dünya ve Mars gibi manyetik alanlı gezegenlere ulaştığında, gezegen yer yüzeyine ya da atmosferine doğrudan giremez. Güneş rüzgârı öncelikle gezegenin manyetik alanı ile karşılaşır. Dünya manyetik alanının baskın olduğu Dünya'yı çevreleyen uzay bölgesi (Manyetosfer), güneş rüzgârının etkileşimi ile

şekillenir (Şekil 3.2). Ayrıca gezegen için kalkan işlevi görerek, uzayın yıkıcı etkilerinden korur. Dünya manyetosferi farklı şekillerde karakterize edilebilen, elektromanyetik, gaz dinamiği ve parçacık süreçlerini kapsayan karmaşık bir bölgedir [37].

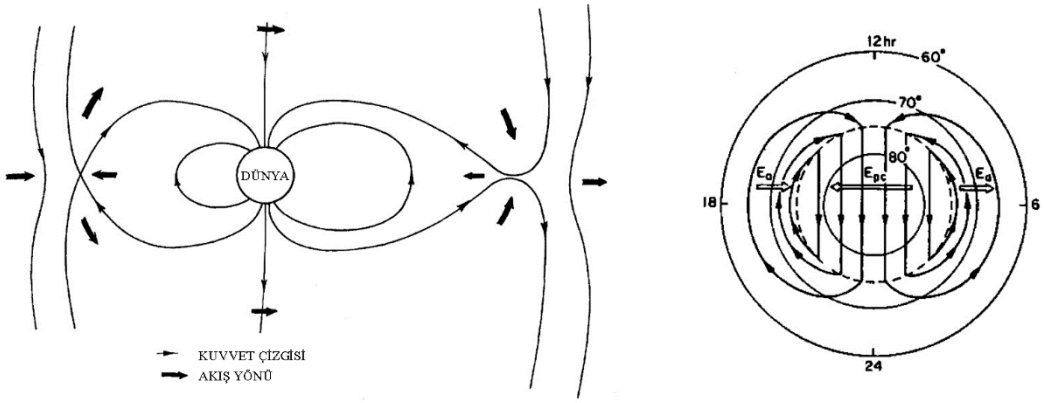



**Şekil 3.2** Manyetosfer [38]

## 3.2 Jeomanyetik Fırtına

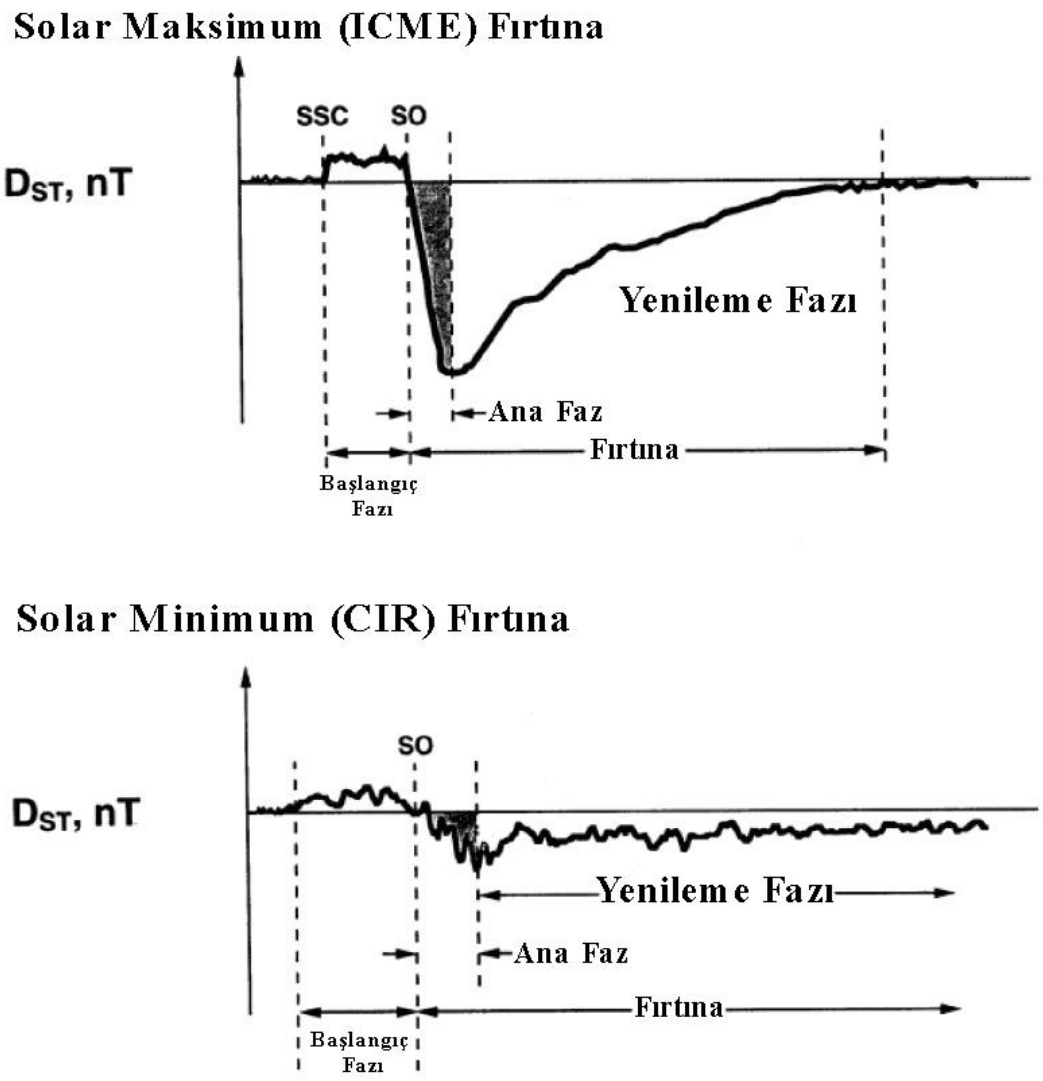
Güneş rüzgârları ve güneş patlamaları Dünya manyetosferine ulaştığında, yeniden bağlanma adı verilen güneş plazması (güneş rüzgârı) ve manyetosferin etkileşiminin sonucu olan olaylar zincirini başlatır. Güneş plazması gezegenler arası manyetik alanın (IMF Güneye Dönük) Dünya manyetik alanı ile etkileşime girmesi ile Dünya'nın gündüz kısmındaki (Güneşe dönük bölge) manyetik alan çizgileri gezegenler arası manyetik alan çizgileri ile birleşir ve böylece plazma için manyetosferi açık hale getirir. Daha sonra bu manyetik akı güneş rüzgârı ile hareket

ederek Dünya'nın gece bölgesine (Dünya'nın güneşe bakmayan bölgesi) doğru uzayarak arkada manyeto kuyruğu oluşturur. Uzayan kuyruk güneş rüzgârının ilerlemesi ile kendi üzerine kapanarak, yeniden bağlanma olayını gerçekleştirir (Şekil 3.3). Bunun üzerine manyetik akı üzerindeki plazmalar akı boyunca Dünya'nın atmosferine girerek atmosfer parçacıklarıyla etkileşmesi sonucu en bilindik fenomen olan Auroraları oluşturmaktadır [39], [40], [41].



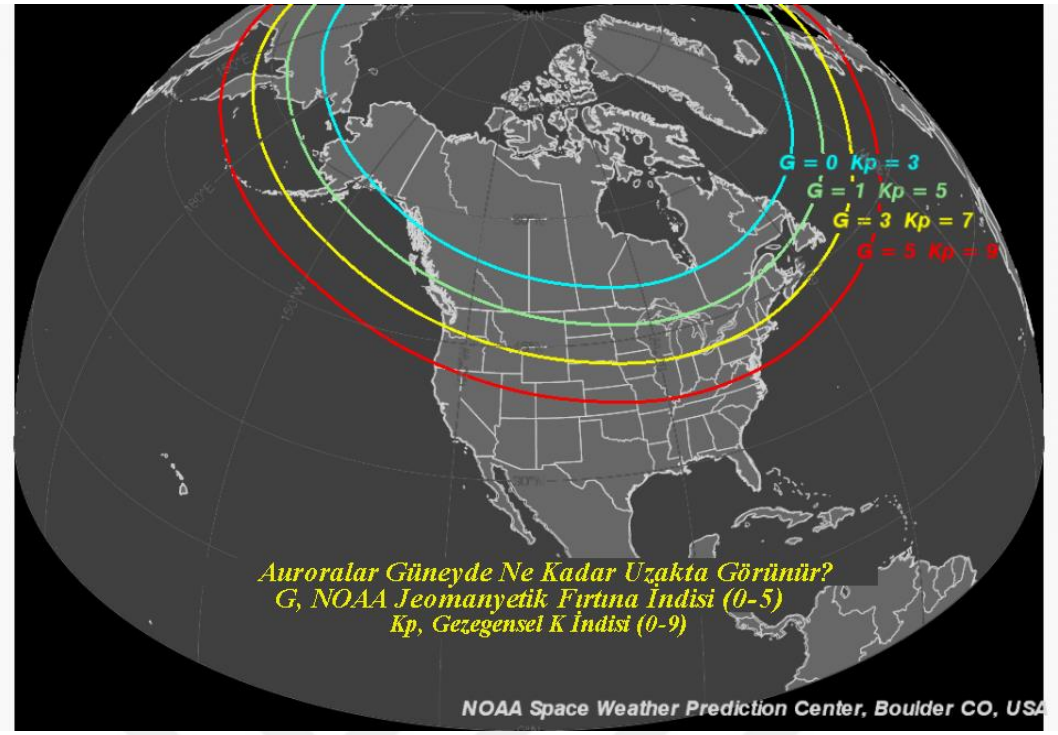

**Şekil 3.3** Dünya manyetik alanında yeniden bağlantı şematiği [42]

Jeomanyetik fırtına, güneş rüzgârının taşıdığı güneş plazması ile Dünya manyetik alanı arasındaki etkileşim ile oluşur (Şekil 3.4). Güneş rüzgârı ile taşınan Koronal Kütle Atımları, Eş Dönen Etkileşim Bölgeleri ve gezegenler arası şoklar gibi geçici olaylar ile manyetosferi sıkıştırarak jeomanyetik fırtınaları oluşturur. Bu etkilerin manyetosferde daha az karışıklığa sebep olanı alt fırtına (substorm) adını almaktadır [40], [43].




**Şekil 3.4** Jeomanyetik fırtına şematiği ve fırtına fazları [44]

Substorm ile jeomanyetik fırtına arasında aktivite farkı olduğu gibi, jeomanyetik fırtına da kendi içinde farklılıklar göstermektedir. Dünya manyetosferini etkileyen olayları ya da jeomanyetik aktivitenin büyüklük ölçeği Kp adı verilen bir indeks yardımı ile gösterilir. Kp değeri sıfırdan dokuza kadar bir değer alabilmektedir. Değer sıfıra yakın ise düşük jeomanyetik aktiviteyi, dokuza yakın ise yüksek yüksek jeomanyetik aktiviteyi temsil eder. Kp indeksi Kp5'ten sonra G indeksi olarak söylenebilmektedir (Şekil 3.5). G indeksi fırtınanın artık jeomanyetik bir fırtına olduğunu gösterir. Kp5 değeri G1'i temsil ederken, sırasıyla Kp değeri arttıkça G indeksi de artar ve en yüksek olan Kp9 seviyesi G5 seviye jeomanyetik fırtınaya karşılık gelir [45].




**Şekil 3.5** Kp ve G indeksleri [46]

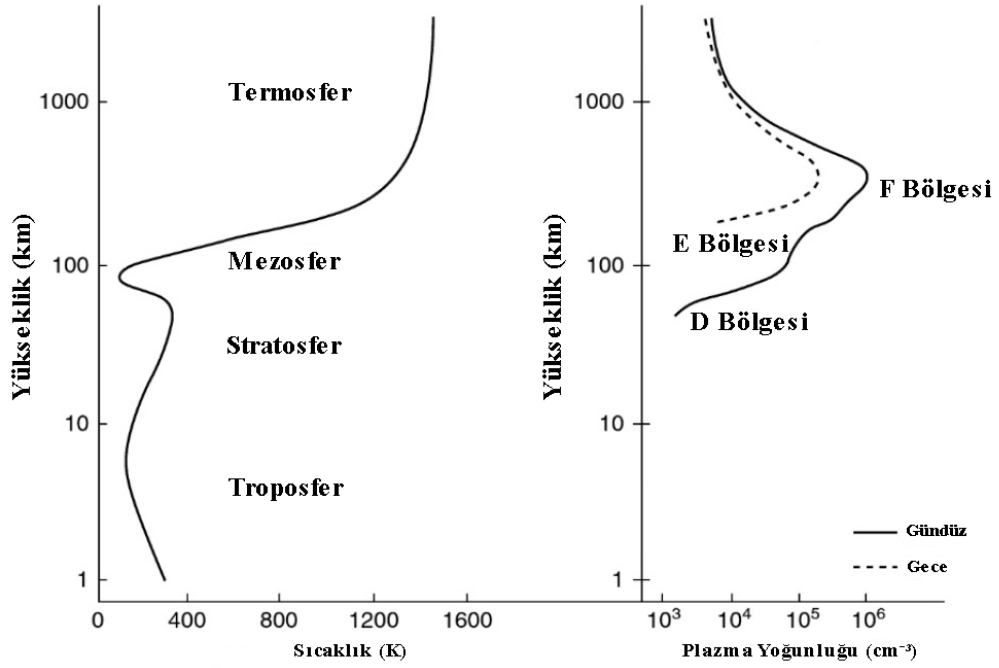
## 3.3 Çift Adımlı Fırtına

Dünya manyetik alanına gelen bir güneş atılımı sadece tek bir fırtına gibi davranmaya bilir. Disturbance Storm-Time (Dst) indeksi bir jeomanyetik fırtınanın hem fazlarını hem de fırtınanın büyüklüğünü belirlemeye yarar ve fırtınanın oluşumunu da gösterir. Eğer Dst indeksinin ana fazında tek bir büyüme olup daha sonrasında yenilenme fazına geçiyorsa normal bir jeomanyetik fırtınadır. Fakat jeomanyetik fırtınanın ana fazında iki adımlı bir gelişme varsa o zaman jeomanyetik fırtına çift adımlı fırtına haline gelir. Böylece Dünya manyetik alanında iki adımda gelişen iki fırtına oluşturur. Tam olarak sebebi anlaşılamamış olunsa da birçok jeomanyetik fırtınanın tarih boyunca iki adımlı bir oluşum gösterdiği belirlenmiştir. Güncel çalışmalar ile yoğun fırtınalarda çoklu adımlı fırtınaların da var olduğu belirlenmiş. Fırtınaların ana fazındaki bu çoklu gelişimler Dünya manyetik alanı ve üst atmosferde daha karmaşık oluşumlara sebep olmaktadır [47], [48].

# 4
# ATMOSFER

## 4.1 Atmosferin Yapısı

Dünya'nın etrafını saran çeşitli gazlardan oluşan bölge atmosfer olarak isimlendirilir. Tek bir bölge olarak görünse de atmosfer içinde yukarı çıkıldıkça bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerde değişmektedir. Atmosfer kendi içinde farklı katman ve bazı ara katmanlara ayrılır (Şekil 4.1). Sırasıyla en yüksekten en alçağa doğru ana katmanlar ekzosfer, termosfer, mezosfer, stratosfer, troposfer ve bazı ara katmanlar ise iyonosfer ve ozon sayılabilir [49], [50], [51].




**Şekil 4.1** Atmosferin katmanları ve iyonosfer bölgeleri [52]

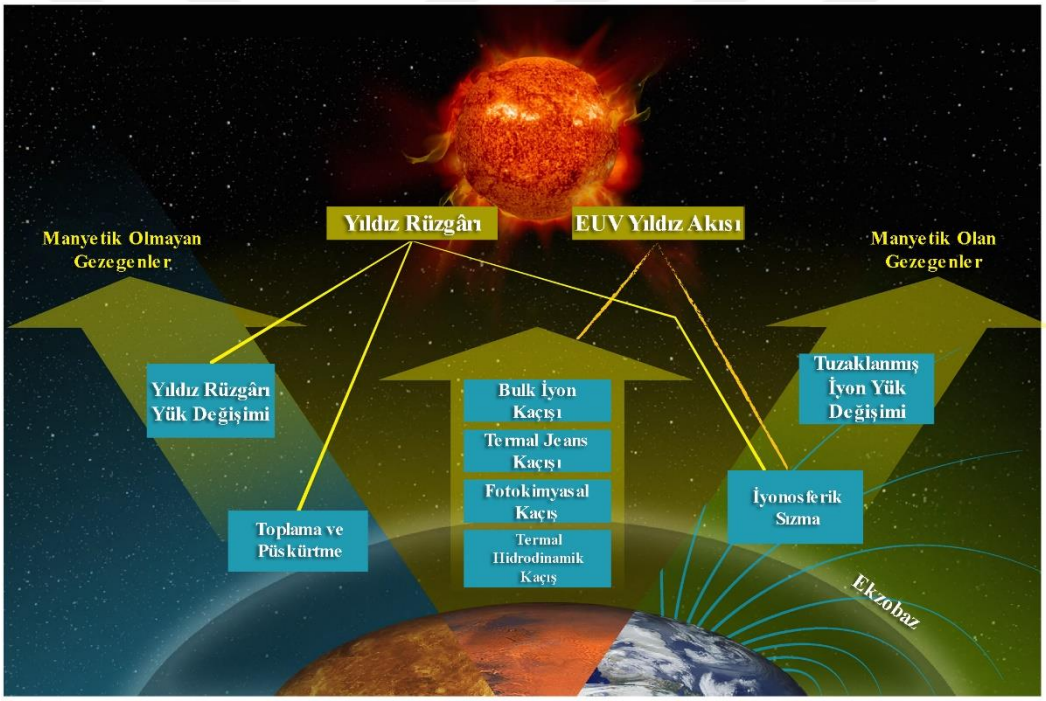
## 4.2 Ekzosfer

Yer yüzeyinden yukarı yaklaşık 700 ile 10000km arasında bulunan ve atmosferin en yüksek katmanı olup uzaya bağlanan bölge ekzosferdir. Güneş rüzgârı, Koronal Kütle Atılımları gibi güneş kaynaklı olaylar atmosferle burada karşılaşırlar. Jeomanyetik fırtınalar sırasında ekzosfer katmanı sıkışarak 1000km'lere kadar

daralabilmektedir. Burada moleküller ağırlıklı olarak hidrojenden oluşsa da helyum, karbondioksit, oksijen gibi diğer gazlar da mevcuttur. Fakat ekzosferde gazların olması gaz davranışının sergilendiği anlamına gelmemeli çünkü yoğunluk oldukça düşüktür ve moleküller uzaya doğru kaçmaktadır [49], [50], [51].

### 4.2.1 Atmosferik Kaçış

Güneş'ten Dünya'ya gelen birçok parçacık manyetosfer tarafından ya saptırılır ya da birtakım olaylarla atmosfere aktarılır. Uzay havasının en çok bilinen süreçlerinden biri olan bu mekanizma aslında tek taraflı çalışmaz. Birçok parametreye bağlı olarak atmosferdeki parçacıklar da içeriden dışarıya aktarılabilir ve buna atmosferik kaçış denir (Şekil 4.2). Gezegenin manyetik alanına ve atmosferik yapısına bağlı olarak kaçışların oranlarında farklılıklar görülebilir [53].




**Şekil 4.2** Atmosferik kaçış [53]

Atmosferik gaz kaçışları sıcaklığa bağlı olarak termal ve termal olmayan diye iki sınıfa ayrılır. Termal olan kaçışlar; Jeans kaçışı ve hidrodinamik kaçışlardır. Jean kaçışı temel kaçış olarak da bilinir. Üst atmosferdeki gazlar sıcaklıkla birlikte hareket eder ve birbiri ile çarpışarak kinetik enerji alıp verirler [54]. Bu sayede bazı gaz molekülleri atmosfer katmanının daha üst kısımlarından kaçış hızını yakalarsa uzaya doğu kaçarlar ve bu mekanizma Sir James Jeans tarafından bulunmuştur. Diğer termal gaz kaçışı olan hidrodinamik kaçış ise, güneş radyasyonunun üst

atmosfer tarafından ısıtılması atmosferin genişlemesine sebep olur ve böylece hidrojen gibi hafif gazlar yukarı uzaya doğru yol alırken, ayrıca atmosfer içindeki daha ağır moleküllere de çarparak uzaya kaçmalarına neden olur. İki kaçış Dünya'nın farklı zamanlarında atmosferin evrimleşmesine yol açan mekanizmalardır. İlkel Dünya'nın atmosferindeki hidrojen ve neon gazları hidrodinamik kaçış mekanizması ile uzaya kaçıyorlardı. Fakat günümüz Dünya'sına baktığımızda, hidrojen atomları termal olarak Jeans kaçışı ile uzaya saçılıyorlar ve Dünya atmosferinden kaçan gazın %10 ile %40 Jeans kaçış mekanizması ile olmaktadır [53], [54], [55], [56].

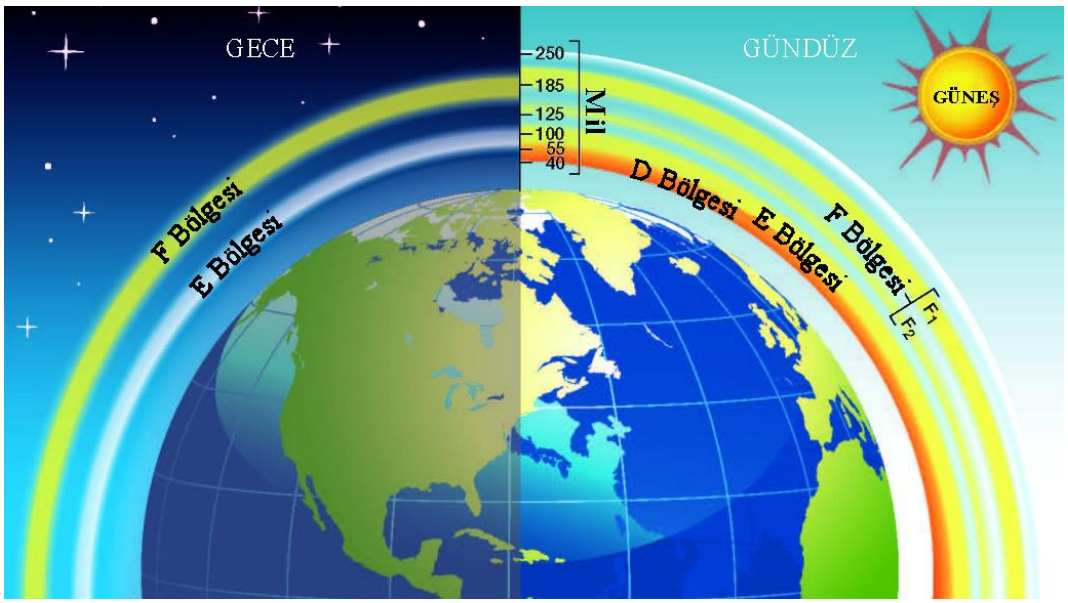
Termal olmayan kaçışı gezegenlerin atmosfer gazı kaçışlarında büyük rol oynar. Termal olmayan kaçışlar dört tanedir ve sırasıyla yük değişimi, kutup rüzgârı, fotokimyasal ve püskürtme kaçışıdır. Güneş rüzgârı ve güneş radyasyonu Dünya'da termal olmayan kaçışı büyük oranda tetikler. Günümüz için Dünya'da olan kaçışlara bakıldığında; Dünya'nın kutuplarındaki açık manyetik alan çizgileri sayesiyle moleküller buradan kutup rüzgârı kaçışı (Hidrojen kaçış oranı %10-15) ile kaçarken, güneş rüzgârının hızlı parçacıkları ile atmosferin yavaş parçacıkları arasındaki çarpışmalardan oluşan yük alışverişi (Hidrojen kaçış oranı %60-90) ile nötrleşen (yüksüzleşen) parçacıklar hızlanarak manyetik alandan geçerek kaçabilir [53], [54], [55], [56].

## 4.3 Termosfer

Ekzosferin hemen altında bulunan termosfer katmanı yerden yaklaşık 80-700km arasındaki alanı temsil etmektedir. Gaz yoğunluğu ekzosfere yakın yerlerde düşük, aşağı inildikçe de yükselmektedir. Güneş'ten gelen ultraviyole ve X-ışınları buradaki parçacıklar tarafından emilir ve ortamın sıcaklığını yaklaşık 1500 $^{o}$C civarlarında değişmesine sebep olur. Yüklü parçacıkların yoğun olduğu İyonosfer katmanının iki bölgesi olan F ve E katmanları da buradadırlar. Güneşten gelen parçacıkların yüklü parçacıklar ile etkileşmesi sonucu da doğanın en çok bilinen fenomenlerinden biri olan kutup ışıkları (Auroralar) ayrıca bu bölgede gözlenmektedir [49], [50], [51].

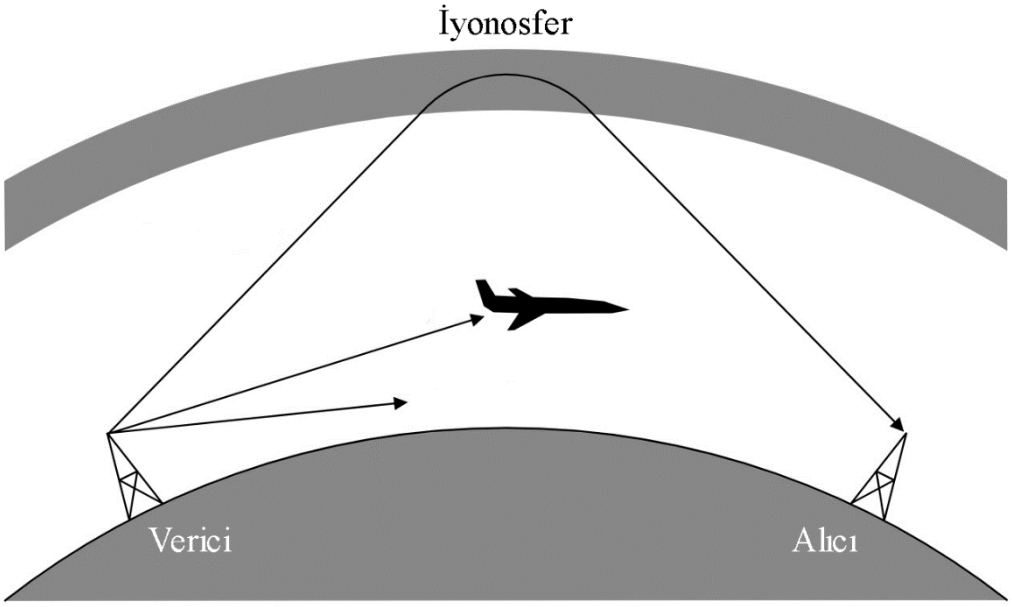
### 4.3.1 İyonosfer

Çoğunlukla Güneş'ten gelen ışınlarla iyonize olan gazlarla çeşitli nötr gazların da bulunduğu atmosferin ara katmanlarından iyonosfer, iletken ve doğal bir plazmadır. Atmosfer içinde çeşitli bölgelerde yoğunluk göstermektedir. D bölgesi mezosfer ve termosfer arasında, E bölgesi termosferde ve F bölgesi ise termosfer ile ekzosfer sınırına doğru ilerlemektedir. F katmanı gündüzleri güneş ışığı ile ayrışarak F1 ve F2 olarak iki ayrı bölge olarak davranır (Şekil 4.3).




**Şekil 4.3** İyonosferin günün saatlerine göre bölgeleri [57]

Radyo ve iletişim için gerekli elektromanyetik dalgalar iyonosfer sayesinde Dünya'nın dört bir yanına ulaşabilir (Şekil 4.4). Atmosferin çok küçük bir kısmını oluşturmasına rağmen iç yapısındaki en ufak değişiklikler iletişim, konum, uzay görevleri, gözlemler ve uydular gibi modern dünyanın en önemli konularını sekteye uğratmaktadır. Bu sebeple İyonosfer'in herhangi bir zamanda herhangi bir yerdeki durumu tüm insanlığı ilgilendirdiği için, yıllar içinde çeşitli İyonosfer modellerinin oluşmasına sebebiyet vermiştir. Bunlardan biri International Reference Ionosphere (IRI) adıyla anılan Uluslararası İyonosfer Referans sistemidir. Belirli yıllarda modelde iyileştirmeler yapılarak, en iyi hale getirilmeye çalışılmaktadır [1], [57].




**Şekil 4.4** İyonosfer ve radyo dalgaları [1]

### 4.3.2 Aurora

Dünya'da oluşan alt fırtınalar ve jeomanyetik fırtınaların optik imzaları kutup bölgelerine yaklaştıkça görülür hale gelir. Güneşten gelen parçacıklar önce Dünya'nın manyetik alanını rahatsız etmeye başlar ve sonra parçacıklar üst atmosfere giriş yaparlar. Güneş'ten gelen parçacıklar buradaki yüklü parçacıklarla etkileşime girerek ortama elektromanyetik dalgalar yayarak Aurora denilen görsel şöleni oluştururlar (Şekil 4.5). Genellikle coğrafi konum olarak $65^o$ ile $80^o$ enlemde kutup bölgelerine yakın yerlerde dağınık yapılı olarak ortaya çıkarlar. En bilindik olarak yeşil ve kırmızı renklidir. Atmosferdeki etkileşen gazın çeşidi ve yüksekliği bu renklerde önemli rol oynar. Jeomanyetik fırtına eğer büyükse ya da büyümeye devam ediyorsa, Aurora ışıkları da daha aşağı enlemlere doğru gidebilir [40].



**Şekil 4.5** Aurora [58]

### 4.3.3 STEVE

Jeomanyetik fırtınalar ve iyonosferik olayların en bilindik optik yapısı Aurora'lar olsa bile birçok farklı optik yapı ve mekanizma mevcuttur. Bunlardan günümüzde oldukça araştırılan fenomenlerden biri olan Strong Thermal Emission Velocity Enhancement (STEVE), hala gizemini korumaktadır (Şekil 4.6). Sivil fotoğrafçıların başlarda Aurora olduğunu sanarak çektikleri fotoğraflar ile popüler haline gelmiş ve sonrasında Aurora'ya benzer bir mekanizması olmadığı anlaşılmıştır. Düzenli oluşu, doğu batı arasında ışın kılıcı şeklinde pembe uzun fiziki yapısı, yanında yeşil renkli pençeleri (Picket Fence) ve ortalama bir saatlik ömrü ile Aurora'dan oldukça uzaktır. Yapılan çalışmalarda bazı iyonosferik mekanizmaların optik sonucu olduğu gibi çeşitli öneriler yer almaktadır. Fakat ortaya çıkışının hala tam anlaşılamamış olması onu bulmayı ve incelemesi zor fenomenlerden yapmaktadır. Bu zamana kadar çekilen fotoğraflarla yapılan çalışmalarda ekinoks ve mevsimsel zamanlarla bir bağlantısı olduğu düşünülmekte ve ayrıca farklı atmosferik süreçlerle de bir arada görülebildiği ortaya çıkmıştır [15], [59], [60].



**Şekil 4.6** STEVE ve Picket Fence [61]

## 4.4 Mezosfer

Atmosferin gaz miktarının ve aşağı inildikçe sıcaklığın arttığı (Üst kısım -85 $^{o}$C alt kısım ise -15 $^{o}$C'dir) 50-80km arasındaki katman mezosfer olarak isimlendirilir. Atmosferin ortalama sıcaklık bakımından en soğuk yeridir. Gaz yoğunluğundan dolayı artık burada atmosfere giren meteorlar yanarak gökyüzünde parlak izler oluştururlar. İyonosfer'in D katmanı ise, mezosfer ve termosfer bölgesi arasında kalmaktadır [49], [50], [51].

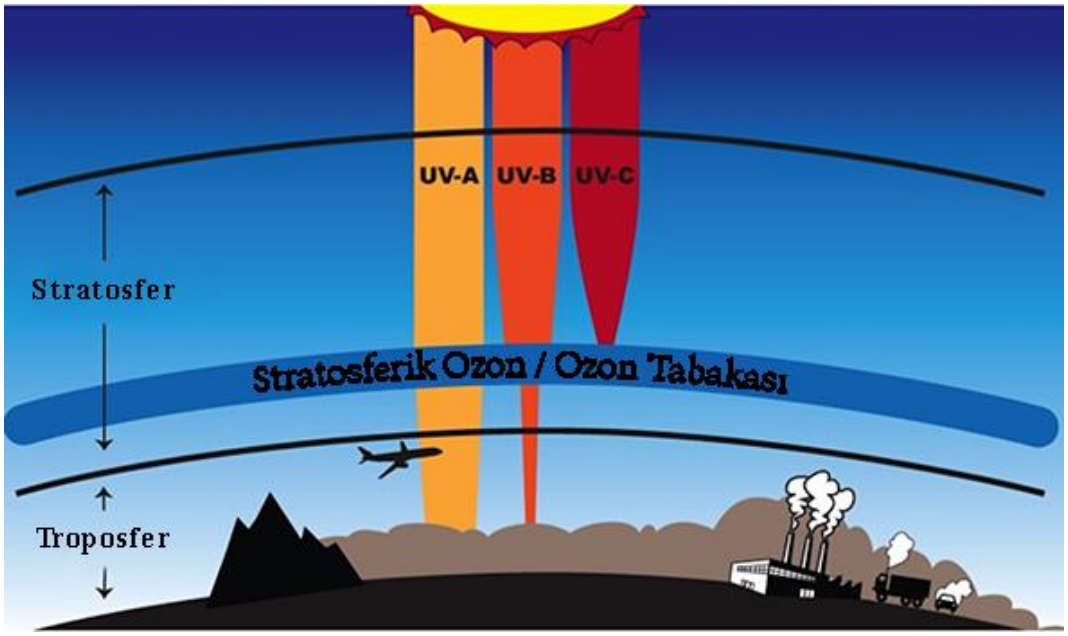
## 4.5 Stratosfer

Mezosferle birlikte orta atmosfer denilen bölgeyi oluşturan bir diğer atmosferik katmandır. Yerden 12km'de başlayıp 50km'de bitmekte olup, hava koşullarını barındırmamaktadır. Yine de güçlü rüzgârlara ev sahipliği yapar ve çok nadir olsa da ince bulutlar bu bölgede oluşabilir. Asıl özelliği ise ozon tabakası denilen Dünya'yı saran bir gaz tabakasını bulundurmasıdır [49], [50], [51].

### 4.5.1 Ozon Tabakası

Ozon tabakası İyonosfer gibi atmosferik katmanların içinde kendine özgü ayrı bir tabakadır (Şekil 4.7). Stratosfer katmanının içinde yaklaşık 25-30km

yüksekliklerinin arasında tüm Dünya'yı kaplamaktadır. Ozon tabakası kutup bölgelerinde daha ince, ekvatoral bölgelerde ise daha kalın yapıdadır. İçinde ozon adı veriler $O_3$ molekülünden oluşur. Ozon dünya yaşamı için oldukça önemlidir çünkü uzaydan ve Güneş'ten gelen zararlı ışınlar ozon tabakasına çarparak ozon molekülleri tarafından emilirler. Bunun sonuncunda Ozon tabakasında birçok kimyasal reaksiyon oluşur. Fakat genel olarak ozonun hem bozulması hem de yeniden oluşması denge içindedir. Dengeyi bozan durumlara bakılırsa aşırı koşullar ve çeşitli gazların ortama salınarak ozon molekülünü bozması gösterilebilir [12].



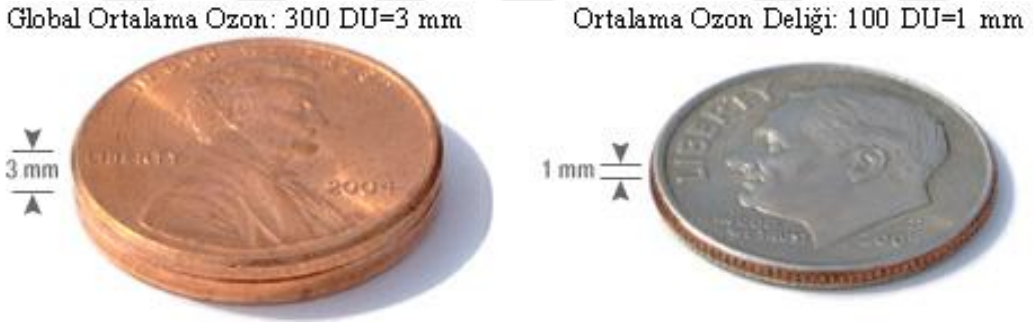

**Şekil 4.7** Ozon tabakası [62]

Tüm Dünya'yı kapsayan ozon tabakası aslında tek bir düz katman olarak düşünülemez. Ozon ortalama yükseklik içinde dağınıktır ve ayrıca Antarktika'da da olduğu gibi bazı bölgelerde oldukça incedir. Kalınlığı Dobson birimi ile verilen ozon tabakası, bir atmosferik yükseklikte tüm atmosferdeki ozon gazının sıkıştırıldığı düşünülerek hesaplanmaktadır (Şekil 4.8).




**Şekil 4.8** Ozon hesabı için yaklaşık atmosfer yüksekliği [63]

Yaklaşık olarak ozon 300 Dobson'a denk gelir ve bu da yaklaşık 3 milimetredir (Şekil 4.9). Antarktika'da bu durum 100 Dobson'a kadar iner ve burada ozon tabakasında bir delik olduğu düşünülür [63].




**Şekil 4.9** Ozon kalınlığının benzetimi [63]

## 4.6 Troposfer

Canlı yaşamın da içinde bulunduran yerden itibaren yukarı doğru ortalama 12 km kadar ki bölge troposferdir. Bilinen tüm iklim ve hava olayları burada gerçekleşir. Üst kısımlarda hava gittikçe incelir ve sıcaklığın da düşmesine sebep olur. Sislerden yağmurlara, yıldırım ve gök gürültüsü gibi hava olayları bu bölgede gelişirler. Dünya yüzeyindeki yaşamın devamlılığı için atmosferin en kilit noktasıdır [49], [50], [51].

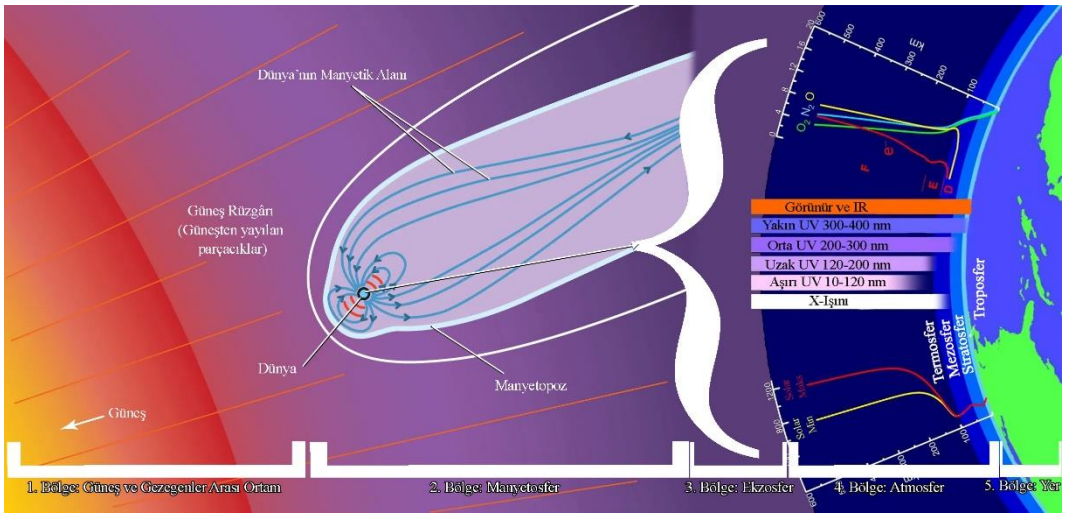
### 4.6.1 İklim

Jeomanyetik fırtınalar ve çeşitli olayların manyetosferdeki ve atmosferdeki etkileri sadece bu noktalarda kalmayıp yeryüzünü ve iklimi de etkiler. Atmosferdeki değişim ve enerji giriş çıkışları atmosferik gazların fiziki ve kimyasal durumunu değiştirir. Jeomanyetik aktivitenin arttığı dönemlerde, Dünya üzerinde çeşitli sıcaklık ve basınç alanları oluşmuştur. Literatür içerisinde bu alanlar haritalanmış ve istatistiksel sonuçlara yol açmıştır. Sıcaklıklarda oluşan ani azalış ve artışların yanında uzun süreli alanlar da gözlenmiştir [64]. Güneş aktivitesi ve jeomanyetik aktivite ile iklim parametreleri arasında ortak özellikler bulunmuştur. Jeomanyetik aktivite ile deniz seviyesi basınçta ve yer yüzeyi hava sıcaklığı arasında yüksek korelasyon olduğu görülmüştür [65]. İstatistiksel yöntemlerin sonucunda, jeomanyetik zorlamaların orta enlemlerde bölgesel akışın yoğunluğunu arttırdığı ve temel iklim alt sistemlerinin değişkenliğinde önemli ölçüde rol oynadığı bulunmuştur [66].

# 5
# YÖNTEM VE METODOLOJİ

## 5.1 Tüm Bölgelerin Verileri ve Bazı Veri Yöntemleri

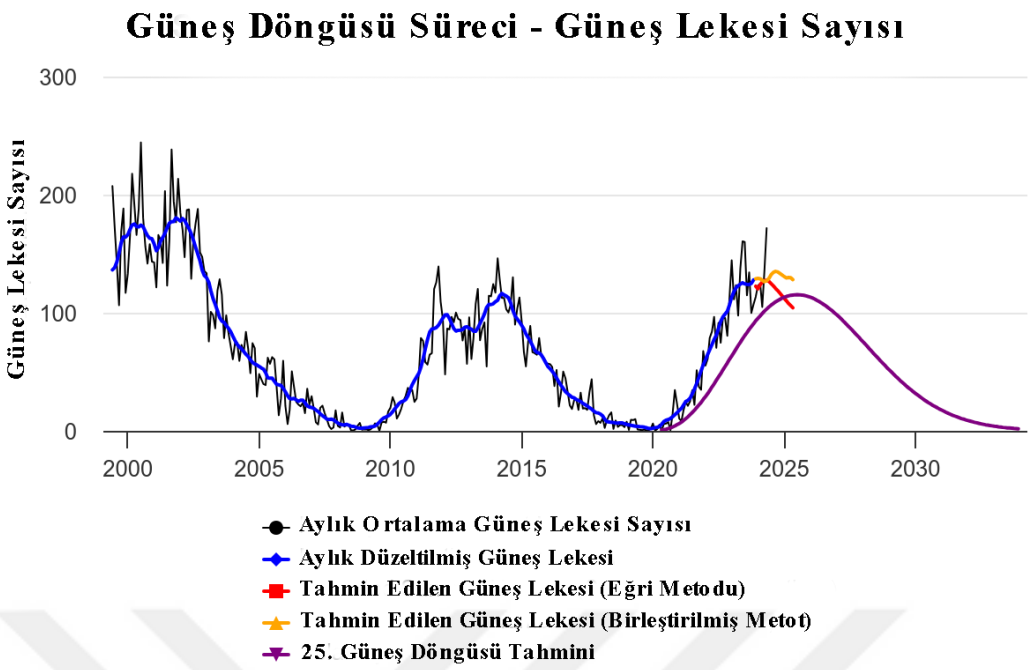
Bu bölümde öncelikle Güneş'ten Dünya'da yere kadar ki alan beş farklı bölgeye bölündü (Şekil 5.1). Her bir bölgedeki olayların analizi için gerekli veriler nereden ve ne amaçla alındığı her başlık altında anlatıldı. Ayrıca bazı kullanılan yöntemler ve sınıflandırmalar da bu kısım içerisinde açıklandı.




**Şekil 5.1** Uzay havası bölgeleri (Kaynaktan alınan görsel tez çalışması için yeniden tasarlanmıştır) [38], [67]

### 5.1.1 Güneş ve Gezegenler Arası Alan 1. Bölge

Uzay havası olaylarının başlaması için öncelikle Güneş yüzeyinde birtakım manyetik bozulmalar başlamalıdır. Bu yüzden ilk bölge Güneş'in yüzeyi ve olayların başlayacağı yer olan gezegenler arası alandır. Güneş'teki ilk olaylar güneş lekeleri ile başlayıp çeşitli atılımlarla gezegenler arası alana yayılarak, güneş sisteminin içindeki gezegenler ve uydularda uzay havası süreçleri oluşturur.




**Şekil 5.2** Güncel güneş döngüsü

Güneş lekeleri ve güneş plazmasının atılım çeşitleri https://www.spaceweather.com/ sitesinden temin edilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere güncel güneş döngüsü olan 25. güneş döngüsü bir öncekine göre daha yüksek aktivite göstermektedir. Bu da uzay havası olaylarının büyük ve çok olacağını temsil eder.

Güneş atılımları için de https://www.spaceweather.com/ adresinden yararlanılmıştır. Atılımların CME, CIR, güneş rüzgârı veya CME-CME (Yamyam atılım) kategorilerine girdiği tespit edilmiştir. 2021-2022'nin en büyük jeomanyetik fırtınası da CME-CME atılımdan kaynaklı olan 4 Kasım 2021 jeomanyetik fırtınası olmuştur. Bu sebepten ötürü, araştırma boyunca özellikle bu fırtınadan yararlanılarak yöntem ve sonuçlarda örnek fırtına olarak kullanıldı. Atılımların en önemli özelliklerinden olan yük yoğunluğu (Np) ve hızları (v) Wind uydusundan https://wind.nasa.gov/ adresi kullanılarak elde edildi. Veriler her bir jeomanyetik fırtına için saatlik olarak fırtına öncesi bir gün ve fırtına sonrası bir gün de dahil edilerek fırtına başına üç günlük veriler alındı. Bazı jeomanyetik fırtınaların sürecine göre üç günlük veri yetersiz kaldığında, gün süresi uzatılarak fırtına öncesi ve sonrasında bir gün daha eklendi. Çalışmada çeşitli istatistiksel modeller kuruldu ve anlamlı sonuçlar için çeşitli değişkenler denendi. Bu sebepten Wind uydusundan

güneş rüzgârının enerjisi, manyetik alanı ve basıncı gibi çeşitli veriler de alındı fakat modellerde yeteri kadar anlamlı çıkmadığı için model dışı bırakıldı.

### 5.1.2 Manyetosfer 2. Bölge

Güneş plazmasının Dünya'ya gelirken ilk temas ettiği yer Dünya manyetosferidir. Gezegenler arası manyetik alan ve güneş plazması manyetosferin sınırı olan manyetopozuna çarparak burada yeniden bağlantı adı verilen manyetik alanların birleşip Dünya manyetik alanını açtığı süreç başlar. Süreçle birlikte Dünya manyetik alanında bir düşüş ve ayrıca parçacık girişi oluşur. Dünya manyetik alanındaki düşüşü Dst indeksi ile belirlenir. Dst indeksinin değeri ne kadar düşerse jeomanyetik fırtına o kadar etkili olur. Dst indeksi bu çalışmada https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dstdir/ adresinden temin edilmiştir. Dst indeksi fırtınanın seviyesini belirlemede hem de istatistiksel modellerde fırtınada kullanılmıştır. Güneş parametreleri gibi saatlik olarak her jeomanyetik fırtına için üç günlük (gerekli olduğu fırtınalarda daha fazla) veriler olarak alınmıştır.

Jeomanyetik fırtınaları sınıflandırmak için Dst indeksinden yararlanılır. Tablo 5.1'de Dst kullanılarak fırtınalar sınıflandırılır.

**Tablo 5.1** Jeomanyetik fırtınaların sınıflandırması

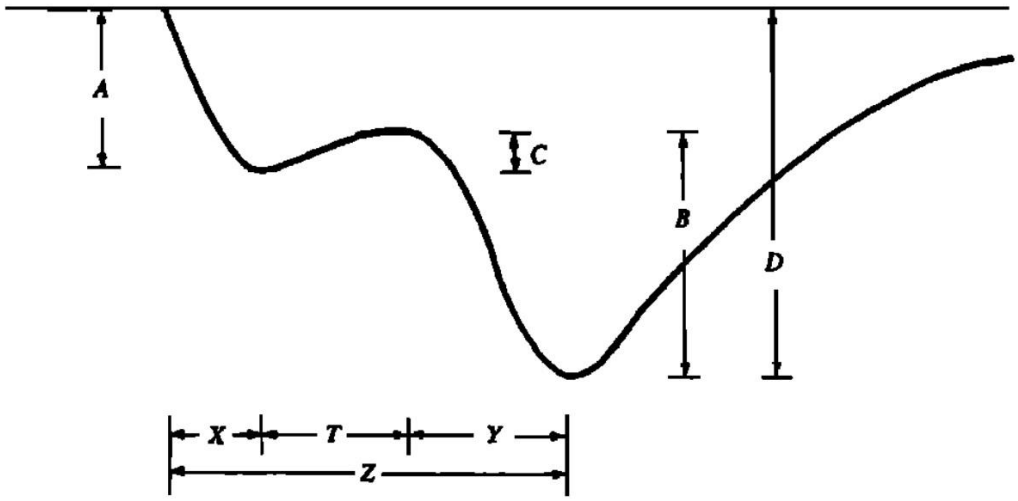
| Dst Değer Aralığı (nT) | Jeomanyetik Fırtına Sınıfı |
|---|---|
| Dst ≥-30 | Sakin Gün |
| -30 ≥ Dst ≥ -50 | Zayıf Seviye Jeomanyetik Fırtına |
| -50 ≥ Dst ≥ -100 | Orta Seviye Jeomanyetik Fırtına |
| -100 ≥ Dst ≥ -250 | Yoğun Seviye Jeomanyetik Fırtına |
| -250 ≥ Dst | Şiddetli Seviye Jeomanyetik Fırtına |

Jeomanyetik fırtınanın seviyesini ve Dünya üzerinde hangi bölgelerde Auroralar görüneceğini veren bir diğer sınıflandırma Kp indeksi ve G indeksidir. Kp indeksi https://kp.gfz-potsdam.de/ adresinden temin edilmiştir. Kp indeksi üç saatlik veriler olarak 2021-2022 yıllarında toplam iki yıllık veri olarak alınmıştır. Kp indeksine karşılık gelen G indeksleri Tablo 5.2'de verilmiştir.

**Tablo 5.2** Kp ve G indeksleri

| Kp Değeri | G indeksi | Fırtına Seviyesi |
|---|---|---|
| 0-4 | G0 | Sakin Gün |
| Kp5 | G1 | Zayıf Fırtına |
| Kp6 | G2 | Orta |
| Kp7 | G3 | Güçlü |
| Kp8 | G4 | Şiddetli |
| Kp9 | G5 | Aşırı Şiddetli |

Oluşan jeomanyetik fırtınalar her seferinde tek bir fırtına etkisi yaratmayabilir. Bazı durumlarda çift adım olarak bilinen jeomanyetik fırtınalar oluşabilir. Bu etki Dünya manyetik alanında sanki iki atılım çarpmış gibi iki farklı jeomanyetik fırtına etkisi oluşturur. 82 jeomanyetik fırtına için Dst grafikleri oluşturulup, her bir çift adımlı fırtına analiz edildi.



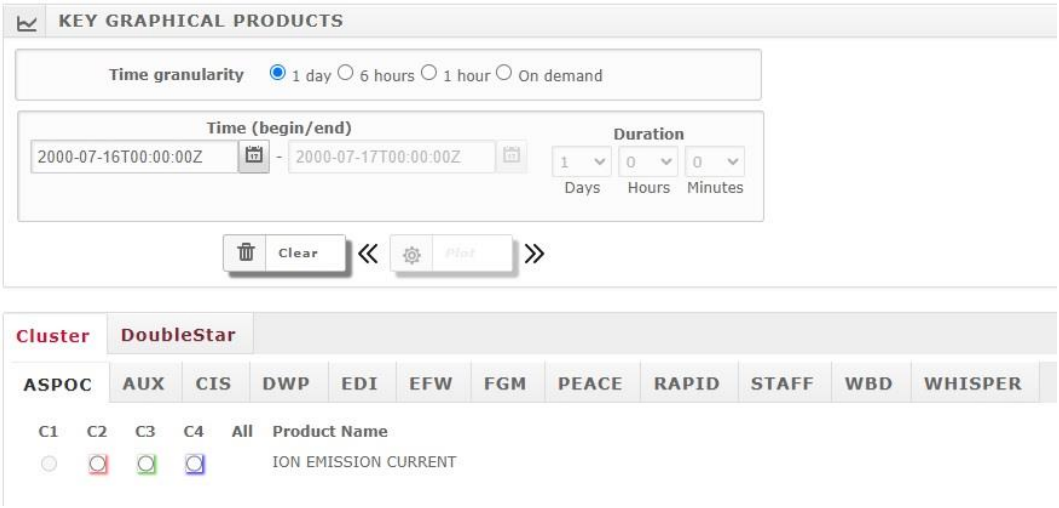

**Şekil 5.3** Çift adımlı jeomanyetik fırtına grafiği [47]

Bir jeomanyetik fırtınayı iki adımlı jeomanyetik fırtına olabilmesi için bazı şartları sağlamalıdır. İlk olarak Şekil 5.3'te görülen A değeri C değerinden büyük ve 0nT'dan büyük olmalıdır. C değeri A değerine bölünür ve çıkan sayı 0.9'dan küçük olmalıdır. Son olarak da T (Saat) değeri ve Y (Saat) değeri toplanır ve üç saatten

büyük olması gereklidir [47]. Çift adımlı fırtına için üsteki üç şartı sağlayan fırtınalar çift adımlı kategorisine girer. 82 jeomanyetik fırtınanın çift adımı hesabından sonra var olanlar Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

### 5.1.3 Ekzosfer 3. Bölge

Ekzosfer bölgesi bu çalışmanın 3.bölgesini temsil etmektedir. Ekzosfer hem güneşten gelen parçacıkların atmosfere giriş yaptığı ilk bölge hem de atmosferden yükselen parçacıkların uzaya kaçtığı bölgeyi temsil etmektedir. Gelen parçacıklar 1.bölge başlığı altında verilmiştir. Bu bölümde atmosferden kaçan parçacıklar için alınan veriler verilecektir. Kaçan parçacıklar hem uydu hem de istatistik ve teorik olarak hesaplanmıştır fakat burada alınan veri bazında Cluster uydusundan alınan açıklanacaktır. Kaçan iyonların grafikleri Cluster uydularının verilerinden çizdirilmiştir. Başta $O^+$ iyonu olmak üzere oksijenden daha hafif element ve parçacıkların kaçışı kullanılır.




**Şekil 5.4** Cluster uydusunun veri işleme programı

Cluster uydusundan veriler ve çizdirilen grafikler için https://csa.esac.esa.int/csa-web/ adresi kullanılmıştır. Atmosferden yükselen ve ekzosferle birlikte uzaya kaçan atmosferik gazın yoğunlukları üsteki adres kullanılarak elde edildi. Şekil 5.4'te Cluster uydusunun C1, C2, C3 ve C4 adlı dört aracı ve çeşitli enstrümanları kullanılarak araştırmada veriler çizdirildi. Araştırmada jeomanyetik fırtına için ise 2021-2022'in en güçlü jeomanyetik fırtınası olan 3 Kasım 2021 seçildi.

### 5.1.4 Atmosfer 4. Bölge

Uzaydan gelen Güneş nedenli etki ve parçacıklar Dünya atmosferine girerler. Böylece atmosferde çeşitli olaylar oluşturabilirler. İlki optik fenomen olan Auroralar. Jeomanyetik fırtınanın büyüklüğüne göre kutup bölgelerden ekvatoral bölgeye doğru genişleyen optik olaydır. Güneş plazması ve atmosferik parçacıkların etkileşmesi sonucu ortama elektromanyetik dalgalar yayınlanır ve bunların gözle görülen dalga boyundakiler Aurora olarak adlandırılır.

Bir diğer fenomen olan atmosferde uzun süreli elektrik akımlarındaki bozulmaları temsil eden HILDCAA (High-intensity long-duration continuous auroral electrojet activity) gözlemlendi. HILDCAA'lar için AE (Auroral Electrojet) değerinin yüksek ve uzun süre dalgalanmaları gereklidir. AE iyonosferdeki elektrik akımların miktarını vermektedir. Bir sürece HILDCAA diyebilmek için bazı şartları sağlamalıdır. AE değeri bir kez 1000nT'yı geçmeli, en az iki gün sürmeli, tek seferde iki saatten fazla 200nT altına inmemeli ve son olarak HILDCAA süreci jeomanyetik fırtınanın ana fazından sonrası için bakılmalıdır. Bu dört şartı sağlayan süreçler HILDCAA adını alırlar ve atmosferde yüksek bozulmaları temsil ederler [68].

AE verileri hem https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/ adresinden hem de https://supermag.jhuapl.edu/ adresinden olmak üzere iki farklı siteden temin edildi. İki yıllık veriler 82 jeomanyetik fırtına için tek tek analiz edilerek, HILDCAA'nın olduğu jeomanyetik fırtına tarihleri bulundu. Fırtına tarihleri ve sonuçları Tablo 5.3'te verildi.

Atmosferde oluşan fenomenlerin en günceli olan STEVE'de 82 jeomanyetik fırtına için araştırıldı. Tam olarak neden ve nasıl ortaya çıktığı belirlenemeyen ve bir zamanlar Aurora sanılan bu fenomen için halktan insanların çektiği fotoğraflardan yararlanıldı. STEVE tarihleri için https://osf.io/ytdzv/ adresinden yararlanıldı. STEVE fenomeninin var olduğu fırtınalar Tablo 5.3'te gösterildi.

**Tablo 5.3** Jeomanyetik fırtınaların analizi

| Fırtına Tarihi | Fırtına Seviyesi | Çift Adımlı | HILDCAA | STEVE |
|---|---|---|---|---|
| 25.01.2021 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 7.02.2021 | G1 | Var | Yok | Var |
| 1.03.2021 | G2 | Yok | Yok | Var |
| 2.03.2021 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 3.03.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 14.03.2021 | G1 | Var | Yok | Var |
| 20.03.2021 | G2 | Yok | Yok | Yok |
| 21.03.2021 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 25.03.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 15.04.2021 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 16.04.2021 | G1 | Var | Var | Var |
| 17.04.2021 | G1 | Var | Var | Var |
| 25.04.2021 | G1 | Yok | Yok | Var |

**Tablo 5.3** Jeomanyetik Fırtınaların Analizi (devamı)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 12.05.2021 | G3 | Var | Yok | Yok |
| 20.05.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 26.05.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 15.06.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 2.08.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 28.08.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 17.09.2021 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 10.10.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 12.10.2021 | G2 | Yok | Yok | Var |
| 2.11.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 3.11.2021 | G2 | Yok | Yok | Yok |
| 4.11.2021 | G4 | Var | Yok | Var |
| 30.11.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 19.12.2021 | G1 | Yok | Yok | Yok |

**Tablo 5.3** Jeomanyetik Fırtınaların Analizi (devamı)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8.01.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 14.01.2022 | G2 | Yok | Yok | Yok |
| 15.01.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 18.01.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 19.01.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 3.02.2022 | G1 | Var | Var | Yok |
| 4.02.2022 | G1 | Var | Var | Yok |
| 10.02.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 20.02.2022 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 22.02.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 5.03.2022 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 6.03.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 12.03.2022 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 13.03.2022 | G2 | Var | Yok | Yok |

**Tablo 5.3** Jeomanyetik Fırtınaların Analizi (devamı)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 14.03.2022 | G2 | Var | Yok | Var |
| 31.03.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 2.04.2022 | G1 | Var | Yok | Var |
| 10.04.2022 | G3 | Yok | Yok | Var |
| 14.04.2022 | G2 | Var | Yok | Yok |
| 15.04.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 27.04.2022 | G1 | Yok | Var | Yok |
| 27.05.2022 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 28.05.2022 | G1 | Var | Yok | Var |
| 13.06.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 25.06.2022 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 26.06.2022 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 2.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 7.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |

**Tablo 5.3** Jeomanyetik Fırtınaların Analizi (devamı)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 8.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 19.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 21.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 23.07.2022 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 7.08.2022 | G2 | Yok | Yok | Var |
| 8.08.2022 | G1 | Yok | Yok | Var |
| 17.08.2022 | G3 | Yok | Yok | Yok |
| 18.08.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 19.08.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 3.09.2022 | G1 | Yok | Var | Var |
| 4.09.2022 | G2 | Var | Var | Var |
| 5.09.2022 | G1 | Yok | Var | Var |
| 27.09.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 2.10.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |

**Tablo 5.3** Jeomanyetik Fırtınaların Analizi (devamı)

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 3.10.2022 | G2 | Yok | Yok | Yok |
| 15.10.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 22.10.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 29.10.2022 | G1 | Yok | Var | Yok |
| 3.11.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 7.11.2022 | G1 | Var | Yok | Yok |
| 28.11.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 30.11.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 1.12.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 7.12.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 23.12.2022 | G1 | Yok | Yok | Yok |
| 26.12.2022 | G2 | Yok | Yok | Yok |
| 30.12.2022 | G1 | Yok | Var | Yok |

Atmosferdeki parçacıkların yoğunluğu ve durumu üzerine veriler IRI-2016 (International Reference Ionosphere) programına gerekli değerler girilerek elde edildi. IRI-2016 için https://ccmc.gsfc.nasa.gov/ adresi kullanıldı. Bölge olarak Amerika Birleşik Devleti'nin Kolorado eyaletinin Julesburg şehri belirlendi. Bunun asıl sebebi atmosferik verilerin ortak ölçüldüğü ve ölçümlerde olabilecek kuzeye en yakın bölge (Giren parçacıklar çoğunlukla kutup bölgelerinden girer) olduğu için seçildi. Santimetre küpe düşen elektron miktarı, çeşitli iyonların yüzdelikleri ($O^+$, $N^+$, $H^+$, $He^+$, $O_2^+$, $NO^+$), parçacıkların sıcaklıkları (iyon, elektron ve nötr parçacıklar) ve TEC (Total Electron Content) verileri günlük olarak oluşturuldu. TEC verisinin birimi olan TECU (1 TECU = $10^{16}$ elektron/$m^2$) analizlerde kullanılmıştır.

Atmosferin en önemli kısımlarından olan ozon tabakası, yer yüzeyini ve yaşamı zararlı ışınlardan korumaktadır. Ozon tabakasının analizinde bu araştırmada ozonun kalınlığını veren Dobson birimi kullanıldı. Dobson verisi https://gml.noaa.gov/ adresinden temin edildi. Alınan veriler gökyüzünün bulutlu veya bulutsuz oluşuna göre sınıflandırılmıştır fakat analizlerde kullanılmadı. Ozon tabakası olarak atmosferdeki diğer veriler gibi Amerika Birleşik Devleti'nin Kolorado eyaletinde Julesburg kenti seçildi. Veriler günlük olarak 2021-2022 yılı için toplamda iki yıllık veri oluşturuldu.

### 5.1.5 Troposfer ve Yer 5. Bölge

Atmosferin en alt kısmı olan troposfer yaşam için iklimin var olduğu bölgedir. Troposferdeki olaylar yaşamı ve yer yüzeyinin tüm süreçlerini etkiler. Özellikle iklimde sıcaklık küresel bir sorun olmakta ve nedenleri ile ne gibi önlemler alınacağı literatürde büyük bir yer kaplamaktadır. Çeşitli alanlardan bilim insanların ortak konularından biridir. Bu araştırmada da 5.bölge için veri olarak maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar elde edilmiştir. Her bir veri günlük olarak Amerika Birleşik Devletleri'nin Kolorado eyaletinde bulunan Julesburg bölgesinden alınmıştır. Böylece diğer verilerle ortak bir bölgede çeşitli değişkenler elde edildi. Sıcaklık verileri https://www.weather.gov/ adresinden günlük olarak 2021-2022 arasında iki yıllık veri olarak oluşturuldu.

## 5.2 Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi çeşitli değişkenler arasındaki ilişkinin büyüklüğü ve yönünün ne olduğunu gösterir. Bunun için korelasyon matrisi kullanarak, çeşitli değişkenler arasında nasıl bağlantılar olabileceği yakalanır. Korelasyon katsayısı -1 ile +1 arasında bir değer çıkar. Korelasyonun +1 olması mükemmel pozitif korelasyon, -1 değer olması mükemmel negatif korelasyon anlamına gelir. Yapılan korelasyonda tam değerler bulmak zordur bunun yerine +1'e yaklaşan katsayı iki değişkenin arasında doğrusal ve yüksek oranda bağlantı olduğunu gösterir. Aynı şekilde -1 değerine yakın katsayıda, değişken birbiri ile ters orantılı olarak yüksek şekilde bağlantılıdır.

$$r = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2][n\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2]}} \tag{5.1}$$

Pearson korelasyonu değişkenler arasında bağlantıyı veren katsayıları bulmak için kullanılabilir. Veriler sürekli ve normal dağılması yapılan işlemin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Araştırmada Pearson korelasyonu yöntemini kullanarak katsayıları hesaplamak için gerekli yöntem denklem (5.1)'de verilmiştir. Denklemde iki değişken olarak x ve y kullanılmış, n değeri ise değişken çiftlerinin sayısını temsil etmektedir.

Araştırmada atmosferik değişkenler arasında korelasyon matrisleri oluşturularak atmosferdeki değişim her bir katmanda nasıl bir değişim yarattığı ortaya koyuldu. Yük yoğunluğu, ozon tabakası, sıcaklık, iyon miktarları gibi atmosferik değişkenler arasında korelasyon matrisleri oluşturuldu. Özellikle gün içindeki ortalama sıcaklık ile ilgili korelasyonlarda mevsimsel olarak bakıldı. Hem verilerin düzeltilmesi hem de korelasyon matrisleri için Excel kullanıldı. Veri çözümleme paketleri Excel'e yüklenerek gerekli işlemler yapıldı. İki yıllık atmosfer verileri birbiri ile aynı günler eşleştirilerek gruplandırıldı ve eksik veriler tespit edilerek elimine edildi.

## 5.3 Çoklu Doğrusal Regresyon

Regresyon yöntemi istatistiğin en temel ve en önemli yöntemidir. Regresyonda amaç bir değişkeni başka değişkenler ile açıklamak veya geleceğine dair tahminler yapmaktır. Açıklamak istenilen değişken bağımlı değişken adını alır ve bağımlı

değişkeni açıklamak için kullanılan değişkenler ise bağımsız değişken olarak adlandırılır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler rastgele seçilemezler. Aralarında mantıksal olarak bir ilişki bulunmalıdır. Fakat bağımsız değişkenlerin birbiri ile ilişkisi düşük olması gerekir. Eğer düşük olmaza birbirlerini etkilerler ve bundan dolayı bağımlı değişkeni doğru şekilde açıklayamazlar.

Çoklu doğrusal regresyon modeli çoklu kısmını birden fazla bağımsız değişkene sahip olduğu için alır. Doğrusallık kısmı ise, her bir bağımsız değişken bağımlı değişken ile arasında doğrusal bir ilişki olmalıdır. Sadece tek şart bu değildir. Çoklu doğrusal regresyon modelini kullanmak için hem modeli uygulamadan önce hem de uyguladıktan sonra bazı şartları yerine getirmelidir. Bağımlı değişken, eşit aralıklı ve sürekli değişken olmalı, normallik şartı, doğrusallık şartı, bağımsız değişkenler arasında çoklu bağlantılılık olmamalı, gözlem değerleri içinde uç değer olmamalı, eş varyanslılık olmalı ve hatalar birbirinden bağımsız olmalıdır. Bu maddeler bir regresyon modeli için gerekli ve yeterli şartlardır. Şartları sağlayan modeller son olarak yorumlanarak gerekli sonuçlar alınmaktadır. Yöntem için hem SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) programı hem de Excel'de veri çözümleme paketleri kullanılmıştır. Bazı şartlar ne anlama geldiği ve içinde kullanılan testler kısaca nedir ve programlarda nasıl bakıldığı açıklamadan önce araştırmada yapılan regresyon modelinin açıklanması gerekir.

Çoklu doğrusal regresyon modeli araştırmadaki 25. güneş döngüsünün 82 jeomanyetik fırtınasına ayrı ayrı uygulanmıştır. Güneş parametreleri ve jeomanyetik verilerin saatleri karşılıklı olarak eşleştirildi ve eksik veriler belirlenerek veriler regresyon için düzenlendi. Bu sebepten aynı saatte bir değişkende veri yoksa aynı saatteki diğer veriler elimine edildi. Veriler alınırken fırtınanın bir gün önce ve fırtınanın bir gün sonrası (Sakin günler) da verilere dahil edildi. Eğer fırtınanın süresi bir günden fazla uzun sürdüyse (yenilenme fazı bir günü geçtiyse) fırtına bittikten sonraki bir gün daha verilere eklendi. Bazı jeomanyetik fırtına günleri art arda olduğu için bu fırtınalar tek bir regresyon modelinde birleştirildi.

Her bir fırtına için çoklu doğrusal regresyon modeli oluşturuldu. Veriye dayalı bu istatistiksel modellerde güven aralığı olarak 0.95 (%95) seçildi. Bu sebeple modellerde p değeri 0.05'ten büyük olan modeller istatistiksel olarak anlamsız olduğu için, bu fırtına modelleri çalışmadan çıkarıldı. İstatistiksel olarak anlamlı

olan toplamda 50 fırtına bu çalışmada kullanıldı fakat bazı fırtınaların art arda olan günlerde olması sebebiyle tek bir regresyon modeli oluşturularak toplamda 33 regresyon modeli çalışmada mevcuttur. Çoklu doğrusal regresyon modelleri yapı gereği denklem (5.2) şeklinde formülüze edilir.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots \quad (5.2)$$

(5.2)'deki denklemde X değerleri bağımsız değişkenler olarak Y değişkeni ise bağımlı değişken olarak adlandırılır. Çoklu doğrusal regresyon modelinde bağımsız değişkenler ile bağımlı değişken açıklanmaya çalışılır. Bunun için oluşturulan modelin ne kadar etkin olduğu R ve R-kare değerlerine bakılarak belirlenir. Denklemdeki β değerleri bağımsız değişkenlerin kat sayılarıdır ve bağımsız değişkendeki bir birim değişimin bağımlı değişkende ortalama ne kadar değişikliğe sebep olacağını gösterir. Araştırmada bağımsız değişkenler sırasıyla parçacık hızı ve parçacık yoğunluğu, bağımlı değişken ise Dünya manyetik alanındaki bozulma miktarını veren Dst indeksidir. Analizlerde fırtınadan bir gün önce ve sonrası olan sakin günlerde alındığı için, fırtına saatlerini modelde belirtmek için fırtına saatlerinde kukla değişken (Dummy) alındı. Fırtına saatlerini belirlerken literatürde jeomanyetik fırtına başlangıcı olarak belirtilen Dst'deki en küçük değer olan -30 nT olarak belirlendi. Bazı fırtınalar kısa süreli olduğu için fırtına saatinin olduğu anlarda -25 nT'da kukla değişkene dahil edildi.

Araştırmada güneş parametrelerinin Dünya manyetik alanına etkisinin gözlemi için oluşturulan istatistiksel modellerde β değerleri hesaplandı. Değerlerin ve modellerin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermek için sonuç kısmında R ve R-kare değerleri belirlendi. Her bir değişken sonuç kısmında grafiklere dökülerek elde edilen sonuçlar yorumlandı.

Çoklu doğrusal regresyon modelinde uygulamadan önce ve sonra uygulanması gereken testler ve bazı şartlar vardır. SPSS ve Excel'de yapılabilen bu testlerin bazılarının genel ve program içinde nasıl yapıldığı anlatılmıştır [69].

### 5.3.1 Süreklilik

Regresyon modeli yapılan veri setindeki değerler sürekli olarak aynı değeri almamalıdır. Modelin uygulanması için seçilen zaman aralığında değişkenlik göstermelidir. Özellikle zaman serilerinde bu madde ilk bakılması gereken şarttır.

### 5.3.2 Normallik Şartı

Veri setindeki her bir değişken kendi içinde bir düzene sahip olmalıdır. Bu düzenin göstergesi veri setindeki değerlerin normal dağılmasıdır. Normal dağılım, regresyon yapabilmek için kullanılan testlerin doğru sonuç vermesi için gerekli şarttır. Normal dağılmayan modeller yorumlanırken şüpheli sonuçlar vermektedir.

Veri setinin normal dağıldığını anlamak için uygulanabilecek dört test mevcuttur. Bunlardan hepsinin geçerliliği zaman içinde değişmiştir. İlk ikisi en güncel ve en geçerli olan testlerdir. 3. Test ise artık güncel literatür çalışmalarında geçerliliği yitirmeye başlamıştır. Son test olan 4. Test ise, normal dağılımdan çok, hataları gidermek için kullanılmaktadır (Şekil 5.5).

**Descriptives**

| | | | Statistic | Std. Error |
|---|---|---|---|---|
| dst | Mean | | -44,6556 | 3,99794 |
| | 95% Confidence Interval for Mean | Lower Bound | -52,7129 | |
| | | Upper Bound | -36,5982 | |
| | 5% Trimmed Mean | | -43,7531 | |
| | Median | | -36,5000 | |
| | Variance | | 719,259 | |
| | Std. Deviation | | 26,81901 | |
| | Minimum | | -103,00 | |
| | Maximum | | -6,00 | |
| | Range | | 97,00 | |
| | Interquartile Range | | 40,25 | |
| | Skewness | | -,669 | ,354 |
| | Kurtosis | | -,618 | ,695 |

**Extreme Values**

| | | | Case Number | Value |
|---|---|---|---|---|
| dst | Highest | 1 | 1 | -6,00 |
| | | 2 | 30 | -6,50 |
| | | 3 | 2 | -8,50 |
| | | 4 | 31 | -11,00 |
| | | 5 | 45 | -13,50 |
| | Lowest | 1 | 14 | -103,00 |
| | | 2 | 15 | -96,50 |
| | | 3 | 13 | -93,50 |
| | | 4 | 10 | -92,50 |
| | | 5 | 9 | -86,50 |

**Tests of Normality**

| | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| dst | ,198 | 45 | <,001 | ,916 | 45 | ,003 |

a. Lilliefors Significance Correction

**Şekil 5.5** SPSS örnek normal dağılım testleri

İlk test çarpıklık ve basıklık testleridir. Normal dağılım eğrisinin çarpıklığı (Skewness) ve basıklığını (Kurtosis) vermektedir. Kullanılan SPSS program için Descriptives tablosunda en alt iki satırın Statistic kısmına bakılır. Bu değerler; -1 ile +1 arasında, -1,5 ile +1,5 ya da -2 ile +2 arasında olmalıdır. Farklı aralıkların sebebi literatür içinde farklı görüşlerin olmasından kaynaklanmaktadır. Yapılan model verilen değerler arasında ise normal dağılıyordur, değil ise ya normal

dağılmıyor ya da diğer testlere bakılıp bu durumun düzeltilebilir bir problemi mi olduğu anlaşılmalıdır.

İkinci test çarpıklık ve basıklığın standart hataya bölünmesidir. 1.Test'deki aynı tabloda son iki satıra bakılmalıdır. Basıklık değeri örnek olarak alınırsa, veri setindeki iki değer birbirine bölünerek basıklık için bir sayısal sonuç elde edilir. Bu değer -1,96 ile +1,96 değerleri arasında olması gerekmektedir. Aynı normallik hesabı çarpıklık içinde yapılması gerekmektedir.

Üçüncü test ise Kolmogorov-Smirnov ve Shapiro-Wilk Adında iki testi birden barındırmaktadır. 50'den daha fazla veri olan setler için Kolmogorov, 50'den daha az veri setleri içinse Shapiro testi kullanılmaktadır. SPSS program içinde veri setindeki Anlamlılık (Sig) Kısmına bakılır. Çıkan değer aşağıdaki aralıklar yardımı ile yorumlanır;

Sig>0,05 ise veri setinde anlamlılık yoktur, normal dağılıyordur.

Sig<0,05 ise veri seti anlamlıdır, normal dağılmıyordur demektir.

Son test uç nokta testidir. Yukarıdaki testlerde bir sıkıntı var ise, verilerde uç nokta aranır. Kullanılan programda Extreme Value tablosuna bakılması gerekmektedir. Tablodaki gösterilen verilerde ilk ve ikinci değer arasında büyük bir fark varsa o zaman ilk değer bir uç değer olabilir şüphesine varılabilir. Bu değer normal dağılım eğrisin de bir bozukluğa sebep oluyorsa modelden çıkarılabilmektedir.

### 5.3.3 Doğrusallık Şartı

Doğrusal regresyon modeli uygulandığı için, her bir bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında doğrusal bir ilişki olmak zorundadır. Her bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasında çizilen nokta grafikler aracılığı ile bu durum kontrol edilebilmektedir.

### 5.3.4 Çoklu Bağlantılılık Şartı

Çoklu bağlantılılık bağımsız değişkenlerin birbirini çok fazla etkilemesidir. Bağımsız değişkenler bağımlı değişkeni açıklamak için kullanılır bu nedenle, birbirlerini etkilerseler, bağımlı değişken üzerindeki değişimi belirleme konusunda şüphe yaratırlar. SPSS program için Pearson Correlation kısmı kullanılır ya da doğrudan bağımsız değişkenlere korelasyon matrisi yöntemi uygulanır (Şekil 5.6). Şarta bakılırken en önemli nokta sadece bağımsız değişkenler arasında korelasyona

bakılması gerektiğidir. Korelasyon matrisinde eğer iki değer 1'e yakınsa birbirini etkiliyor, eğer 0'a yakınsa birbirleri ile bağlantıları yok anlamına gelmektedir. Genel olarak korelasyon değerleri 0,8'i geçmemesi model için uygun görülmektedir.

**Correlations**

| | | dst | b | np | v | psw | pb | eps | VAR00008 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Pearson Correlation | dst | 1,000 | -,460 | ,405 | -,310 | ,367 | -,448 | -,297 | -,588 |
| | b | -,460 | 1,000 | -,124 | ,829 | ,144 | ,975 | ,632 | ,713 |
| | np | ,405 | -,124 | 1,000 | ,009 | ,927 | -,083 | ,065 | -,207 |
| | v | -,310 | ,829 | ,009 | 1,000 | ,341 | ,816 | ,656 | ,470 |
| | psw | ,367 | ,144 | ,927 | ,341 | 1,000 | ,191 | ,268 | -,102 |
| | pb | -,448 | ,975 | -,083 | ,816 | ,191 | 1,000 | ,743 | ,625 |
| | eps | -,297 | ,632 | ,065 | ,656 | ,268 | ,743 | 1,000 | ,285 |
| | VAR00008 | -,588 | ,713 | -,207 | ,470 | -,102 | ,625 | ,285 | 1,000 |
| Sig. (1-tailed) | dst | . | <,001 | ,003 | ,019 | ,007 | ,001 | ,024 | <,001 |
| | b | ,001 | . | ,209 | ,000 | ,173 | ,000 | ,000 | ,000 |
| | np | ,003 | ,209 | . | ,477 | ,000 | ,295 | ,336 | ,087 |
| | v | ,019 | ,000 | ,477 | . | ,011 | ,000 | ,000 | ,001 |
| | psw | ,007 | ,173 | ,000 | ,011 | . | ,104 | ,038 | ,253 |
| | pb | ,001 | ,000 | ,295 | ,000 | ,104 | . | ,000 | ,000 |
| | eps | ,024 | ,000 | ,336 | ,000 | ,038 | ,000 | . | ,029 |
| | VAR00008 | ,000 | ,000 | ,087 | ,001 | ,253 | ,000 | ,029 | . |
| N | dst | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | b | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | np | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | v | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | psw | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | pb | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | eps | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | VAR00008 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |

**Şekil 5.6** SPSS örnek korelasyon

### 5.3.5 Uç Değerler

Uç değerler ortalamadan sapan değerlerdir ve regresyon doğrusunun verilerle uyumunu saptırırlar. SPSS programında uç değerler için Residuals Statistics (Şekil 5.7) tablosuna bakılmalıdır; İlk önce Std. Residual kısmında Min ve Maks değerlere bakılır. -3,29 ile +3,29 arasında olmalıdır. İkinci Olarak Cook's Distance kısmına bakılır. Burada Maks değerin +1'den büyük olmaması gerekmektedir. Eğer burada verilen sayılarda bir uyuşmazlık varsa, bazı uç değerler vardır demektir. O zaman Casewise Diagnostics kısmına bakılması gereklidir.

**Residuals Statistics**[a]

| | Minimum | Maximum | Mean | Std. Deviation | N |
|---|---|---|---|---|---|
| Predicted Value | -90,2591 | 10,0595 | -44,6556 | 23,00179 | 45 |
| Std. Predicted Value | -1,983 | 2,379 | ,000 | 1,000 | 45 |
| Standard Error of Predicted Value | 3,608 | 13,438 | 5,918 | 2,304 | 45 |
| Adjusted Predicted Value | -100,6832 | 28,1281 | -44,7885 | 23,90307 | 45 |
| Residual | -38,84001 | 34,20252 | ,00000 | 13,79047 | 45 |
| Std. Residual | -2,583 | 2,274 | ,000 | ,917 | 45 |
| Stud. Residual | -2,668 | 2,374 | ,001 | ,992 | 45 |
| Deleted Residual | -41,44331 | 37,43077 | ,13294 | 16,62411 | 45 |
| Stud. Deleted Residual | -2,928 | 2,543 | ,000 | 1,031 | 45 |
| Mahal. Distance | 1,555 | 34,155 | 6,844 | 6,873 | 45 |
| Cook's Distance | ,000 | ,366 | ,029 | ,064 | 45 |
| Centered Leverage Value | ,035 | ,776 | ,156 | ,156 | 45 |

a. Dependent Variable: dst

**Şekil 5.7** SPSS örnek istatistik tablosu

Bu tabloda hangi numaralı değer uç değer olabileceğini göstermektedir. Örneğin Şekil 5.8'de 121. veride bir sıkıntı olduğunu görülmekte. Gözlenen değer 90 iken, programın tahmini 12'dir ve haliyle arada 78 gibi büyük bir fark vardır. Bu değer genel veri ortalamasının çok dışında bir veridir. Veri ölçülürken hata olmuş olabilir, yanlış yazılmış olabilir. Eğer bunlardan biri değilse, bu değer ortalama veriye göre sıradanlığın dışındadır.

**Casewise Diagnostics**[a]

| Case Number | Std. Residual | Örgütsel Bağlılık | Predicted Value | Residual |
|---|---|---|---|---|
| 121 | 6,964 | 90,00 | 12,0718 | 77,92825 |

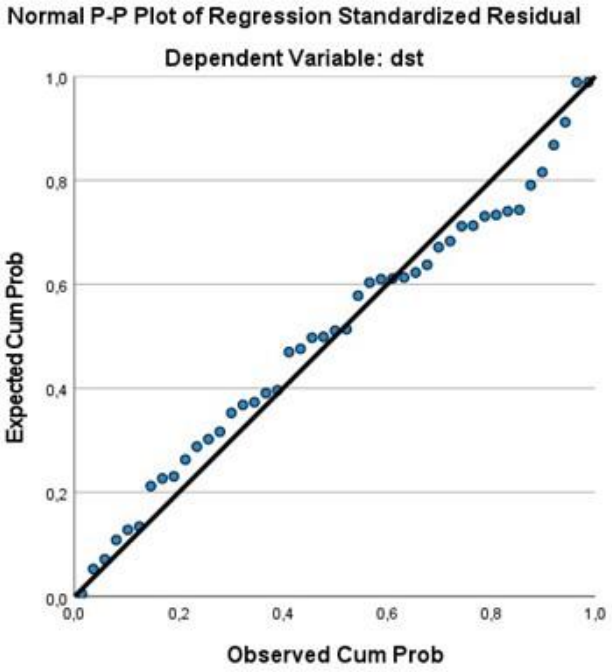
a. Dependent Variable: Örgütsel Bağlılık

**Şekil 5.8** SPSS örnek uç nokta

Eğer Cook değerinin neden yüksek çıktığını daha detaylı görmek istenirse, veri seti sayfasına geri dönülür. Burada yeni bir sütunda her veri için Cook değeri hesaplandığını görülür. Burada Cook değeri 1'den yüksek olanlar uç değer ya da 1'e yakın olanlarda uç değer olma potansiyeline sahiptir.

### 5.3.6 Hataların Tahmini Normal Dağılımı

Yapılan çoklu doğrusal regresyon modelinde hata terimleri normal dağılmalıdır. Bunun için programın çıktılarından grafikler kontrol edilmelidir. Normal dağılım eğrisinde sıfırın yanındaki iki taraf eşit dağılmalıdır. Eğri sıfır eksenine değmemeli ve dağılım -3 ile +3 arasında olmalıdır. Ayrıca hataların normal dağılımı için Normal P-P Plot grafiğine bakılması gerekir (Şekil 5.9). Bu grafikte genel olarak noktalar çizginin üzerinde düz bir hat izlemelidir.



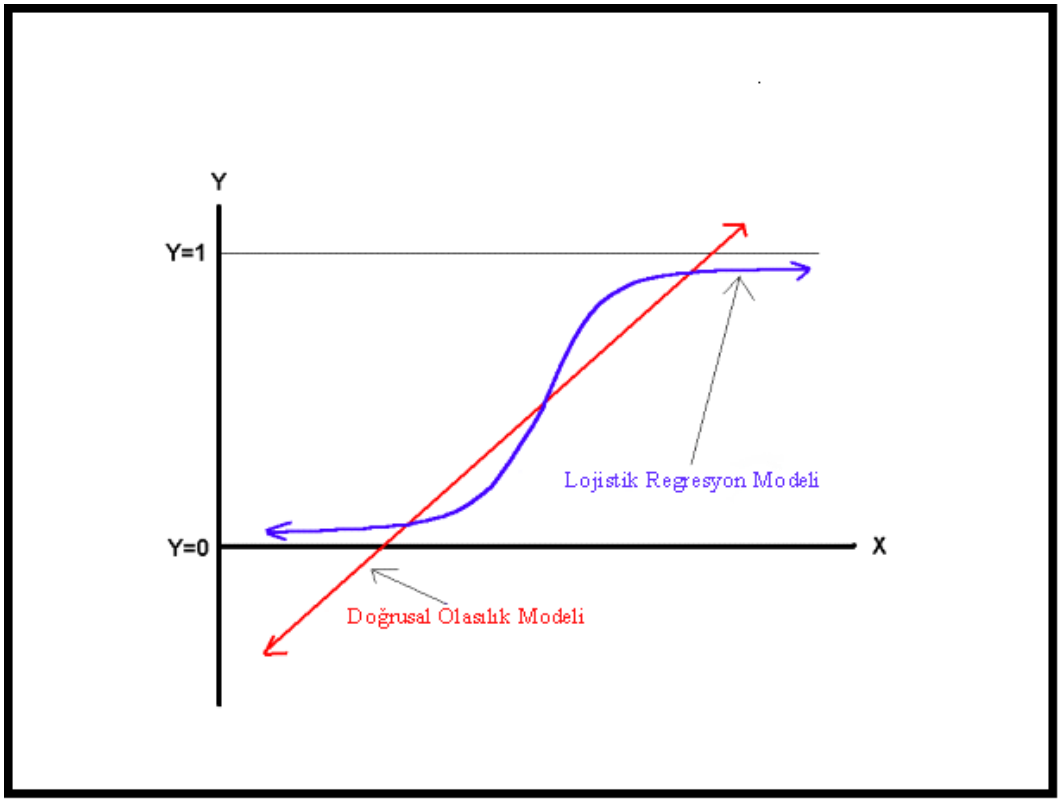

**Şekil 5.9** SPSS örnek Normal P-P Plot grafiği

Diğer testlerle birlikte çoklu doğrusal regresyon modelinin kontrolleri tamamlanmış olur. Genel anlatım SPSS programından gidilmiştir. Aynı testler Excel'de veri çözümleme ve çoklu doğrusal regresyon modeli denklemleri ile sağlanabilmektedir.

## 5.4 Lojistik Regresyon

Lojistik regresyon modeli sınıflandırma ve olasılık bulmak için kullanılan bir regresyon modelidir. Çoklu doğrusal regresyon modeli bağımlı değişkenin değerini bulurken, lojistik regresyonda ise bağımlı değişkenin alabileceği bir değerin olasılığı bulunur (Şekil 5.10). Bu sebeple 0 ile 1 arasında bir olasılık değeri lojistik

regresyonda bulunur. Bağımlı değişken çoklu doğrusal regresyonda sürekli değerlerdir. Fakat lojistik regresyonda bağımlı değişken kesikli değerler veya ikili dediğimiz var-yok, evet hayır gibi nitelik değerler için kullanılır.




**Şekil 5.10** Lojistik ve doğrusal regresyon farkı [70]

Lojistik regresyonda Odds Oranı kullanılır. Odds Oranı bağımlı değişkenin var olma olasılığının olmama olasılığına göre aradaki oranı verir. İki değişkenin arasındaki ilişki Odds Oranı ile ortaya çıkarılabilir.

$$Odds\ Oranı = Exp(\beta) = e^{\beta} \tag{5.3}$$

Denklem (5.3)'te Odds Oranı eğer 1'den büyük ise bağımlı değişkene önemli bir risk faktörü olduğunu gösterir. Oran eğer 1'e yakın veya daha düşükse risk oranı düşmektedir.

Araştırma lojistik regresyon modeli STEVE için yapıldı. STEVE bağımlı değişken, fırtına seviyesi, HILDCAA ve iki adımlı fırtına bağımsız değişkenler olarak seçildi. STEVE için ikili değişken olarak STEVE'in oluşup oluşmaması 1 ve 0 cinsinden modellendi. Fırtına seviyesi jeomanyetik fırtına ile STEVE arasında bir istatistiksel anlam yakalanmak için eklendi. STEVE fenomeni atmosferik mi yoksa

manyetosferik süreçlerden mi etkileniyor bunu görmek için HILDCAA ve iki adımlı fırtına değişkenleri eklendi. Lojistik regresyon modeli araştırmada R programlama dili ile yazıldı. https://www.r-project.org/ adresinden kurulan R kodlama programı lojistik regresyon oluşturmak için kullanıldı. R Project'te model_glm fonksiyonu ile lojistik regresyon modeli kodlanmıştır. Veriler Excel üzerinden düzenlenip R programının içine aktarıldı ve lojistik regresyon modeli kodları çalıştırıldı. Çıkan sonuçlarda her değişken için β değerleri elde edildi fakat sadece p değeri anlamlı çıkan değişkenlerin β değerleri kullanıldı.

## 5.5 Maxwell- Boltzmann Dağılımının Atmosferik Kaçış Olasılıkları

Maxwell-Boltzmann dağılımı farklı hızlardaki parçacıkların parçacık sayısının dağılımını vermektedir. İdeal gazlar için kullanılan bu teorem, atmosferdeki parçacıkların hız ve sayısı üzerine bir eğri oluşturur. Atmosferin belirli bir sıcaklıkta parçacıkların çeşidine göre hızlarının neler olabileceği olasılığı için ideal bir teoremdir.

Kaçış hızı teoremi bir parçacığın herhangi bir gezegenden ya da atmosferden kaçması için gerekli minimum hızı gösterir. Kaçış hızı parçacığın bulunan atmosferdeki yer çekimine ve gezegen kütlesine bağlı olarak değişmektedir. Dünya için ortalama kaçış hızı yaklaşık $v_e$= 11,2 km/s'dir. Maxwell-Boltzmann dağılım yasası ve kaçış hızı teorileri birleştirilerek atmosferdeki parçacıkların kaçış olasılıkları için kullanıldı [71].

Atmosferde bulunan parçacıkların kaçış olasılıkları için denklem türetimi aşağıdaki şekildedir:

$$P = \int_{v_e}^{\infty} \left(\sqrt{\frac{m}{2\pi kT}}\right)^3 4\pi v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dV \tag{5.4}$$

$$P = 4\pi \left(\sqrt{\frac{m}{2\pi kT}}\right)^3 \int_{v_e}^{\infty} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dV \tag{5.5}$$

$$c = \frac{m}{2kT} \; ; x^2 = cv^2 \tag{5.6}$$

$$P = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{\sqrt{c}v_e}^{\infty} x^2 e^{-x^2} dx \tag{5.7}$$

$$P = \frac{4}{\sqrt{\pi}} [\int_{0}^{\infty} x^2 e^{-x^2} dx - \int_{0}^{\sqrt{c}v_e} x^2 e^{-x^2} dx \tag{5.8}$$

Denklem iki farklı integrale dönüştü. İlk integral $I_1$ integrali olarak adlandırıldı. $I_1$ integrali bir Gaussian integralidir ve çözüm için değişken dönüşümü yapılarak gidilir.

$$I_1 = x\left(-\frac{1}{2}e^{-x^2}\right)\mathrm{I}_0^{\infty} - \int_{0}^{\infty} \left(-\frac{1}{2}e^{-x^2}\right) dx \tag{5.9}$$

$$I_1 = [-\frac{1}{2}\lim_{x\to\infty}\frac{x}{e^{x^2}} - 0] + \frac{1}{2}\int_{0}^{\infty} \left(e^{-x^2}\right) dx \tag{5.10}$$

Limit işlemi yapılarak L'Hopital kuralı uygulanır ve limitli kısım sıfıra gider.

$$I_1 = \frac{1}{2}\int_{0}^{\infty} \left(e^{-x^2}\right) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4} \tag{5.11}$$

$I_1$ denkleminin sonucu olasılık denkleminde yerine yazılıp denklem tekrar düzenlenir.

$$P = 1 - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int_{0}^{\sqrt{c}v_e} x^2 e^{-x^2} dx \tag{5.12}$$

Bu denklem analitik olarak çözülemezdir. Şimdi bir değişken dönüşümü uygulanılarak denklem yeniden yazılır.

$$P = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{0}^{\sqrt{c}v_e} xe^{-x^2}(2xdx) \tag{5.13}$$

$$P = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{0}^{\sqrt{c}v_e} xd(-e^{-x^2}) \tag{5.14}$$

$$P = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}}[x\left(-e^{-x^2}\right)\mathrm{I}_0^{\sqrt{c}v_e} - \int_0^{\sqrt{c}v_e} (-e^{-x^2})\, dx \tag{5.15}$$

$$P = 1 + 2\sqrt{\frac{c}{\pi}} v_e e^{-cv_e{}^2} - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{c}v_e} (e^{-x^2})\, dx \tag{5.16}$$

Denklemin son kısmı hata fonksiyonudur (error function (erf)) ve buna göre düzenlenir.

$$\mathrm{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{y} (e^{-t^2})\, dt \tag{5.17}$$

$$P = 1 + 2\sqrt{\frac{c}{\pi}} v_e e^{-cv_e{}^2} - \mathrm{erf}\left(\sqrt{c}v_e\right) \tag{5.18}$$

Hata fonksiyonunun özelliği olan tamamlayıcı hata fonksiyonu (Complementary Error Function (erfc)) tanımlanır.

$$erfc(y) = 1 - \mathrm{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_y^{\infty} (e^{-t^2})\, dt \tag{5.19}$$

$$P = erfc\left(\sqrt{c}v_e\right) + 2\sqrt{\frac{c}{\pi}} v_e e^{-cv_e{}^2} \tag{5.20}$$

$$P = erfc\left(\sqrt{\frac{m}{2kT}} v_e\right) + 2\sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} v_e e^{-\frac{m}{2kT} v_e{}^2} \tag{5.21}$$

Son denklem atmosferdeki çeşitli parçacık ve moleküllerin kaçış olasılıklarını verir. Element ve molekül ağırlaştıkça kaçma olasılığının azaldığı görülmektedir.

## 5.6 Kp Değerine Bağlı Atmosferik Kaçış Denklemi

Atmosferik kaçış için bir diğer yöntem Kp değerini kullanarak $O^+$ iyonunun saniyede kaçış akısını bulmaktır. Bu yöntem iki çeşit kaçış için kullanılabilir. İlki plazma örtüsüne bağlı olarak (plasma mantle (pm)) manyeto kuyruğa olan kaçış türünü, ikincisi de açık manyetik alan çizgilerinin manyetosferdeki uç noktalardan manyeto kılıfa (magnetosheath (ms)) doğru olan kaçıştır [72].

$$3\phi_{O^+}^{ms} \approx \phi_{O^+}^{pm}(Kp) = 8{,}2 * 10^{24} \exp(0{,}45Kp)\,, s^{-1} \tag{5.22}$$

Denklemde saniyede akan $O^+$ akısının plazma örtüsünden kaçışının miktarını vermektedir. İki yıllık 2021-2022 süresi içindeki 82 jeomanyetik fırtınaya (5.22) denklemi uygulanmıştır. Her bir jeomanyetik fırtınada ortalama ne kadar oksijen iyonu kaçtığı hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan değerin üçte biri manyeto kılıftaki kaçışın miktarını verir. Araştırmada $O^+$ iyonu için iki bölgeden kaçış miktarı analizi yapılmıştır.

## 5.7 Kodlama ile Grafiksel Çıkarımlar

Araştırma boyunca çeşitli veriler elde edilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması ve anlaşılırlığını ortaya koymak için farklı grafik türleri kullanılmıştır. Grafikler Excel, SPSS programlarının yanında, R ve Python gibi kodlamalar ile de çizdirilmiştir. Atmosferden kaçan parçacıkların miktarları için ısı grafikleri Python'dan kodlama yolu ile oluşturulmuştur. Python programı https://www.python.org/ adresinden kurularak kullanıldı. Python'da kodlamaları yazarken Pandas veri işleme kütüphanesi, seaborn ve matplotlib veri görselleştirme kütüphanelerinden yararlanıldı. Kp'ye bağlı olan kaçış denkleminden elde edilen oksijen iyonu akıları oluşturulan kodların içine eklenerek ısı grafikleri çizdirildi. Isı grafikleri üzerinden atmosferik kaçışın yorumları yapıldı.

# 6
# BULGULAR

## 6.1 Birinci Bölge Bulguları: Güneş ve Atılımları

2021-2022 yılı 25. güneş döngüsünün yükselen dönemi olduğu gözlendi. Güncel güneş döngüsü bir öncekine göre daha yüksek bir çıkış sergilemektedir. Güneş'ten ortaya çıkan atılımların sayısı ve gücünün bir önceki döngüye göre yüksek olduğu tespit edildi. Atılımlar hızlı ve yavaş güneş rüzgârları, CME, CME-CME ve CIR olduğu tespit edildi. Farklı atılımların genel olarak benzer şekilde jeomanyetik fırtına seviyesini arttırdığı bulundu.

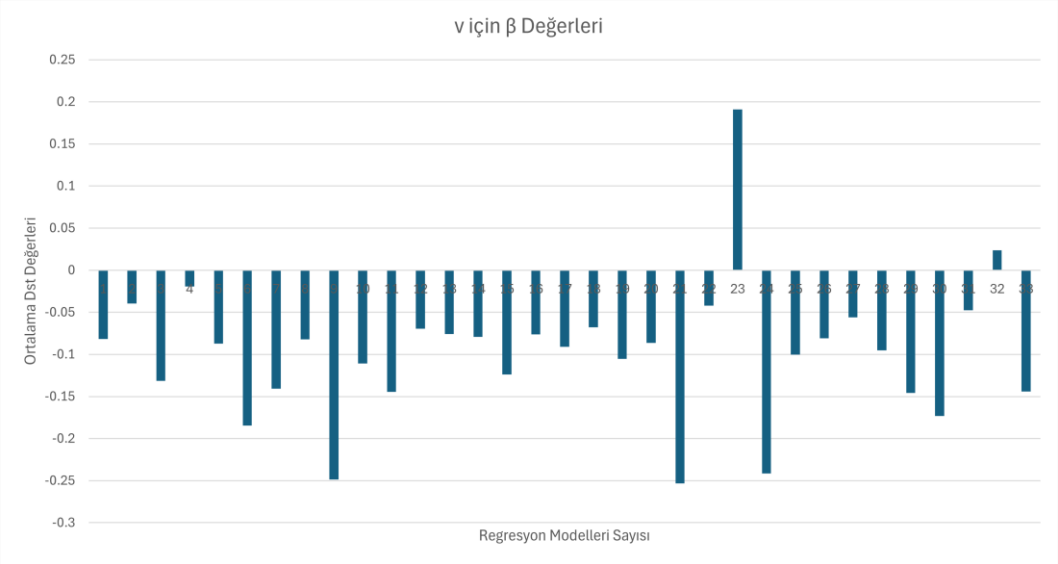
## 6.2 İkinci Bölge Bulguları: Manyetosfer

Dünya manyetosferinde iki yıllık süreç boyunca yaklaşık 82 jeomanyetik fırtına belirlendi. Jeomanyetik fırtınalar sınıflandırıldı. 82 jeomanyetik fırtınanın 66 tanesi G1 seviye, 12 tanesi G2 seviye, 3 tanesi G3 seviye ve 1 tanesi de G4 seviye olarak belirlendi.

Jeomanyetik fırtınalardaki atılımlar bazen tek bir fırtına süreci oluşturmazlar. Tek atılım manyetik alanda art arda iki farklı fırtına oluşturabilir. İki adımlı jeomanyetik fırtınalar manyetik alanda farklı bir süreç izler. 25. güneş döngüsünün yükselen döneminde 82 jeomanyetik fırtınanın 20 tanesi çift adımlı jeomanyetik fırtına olduğu hesaplandı.

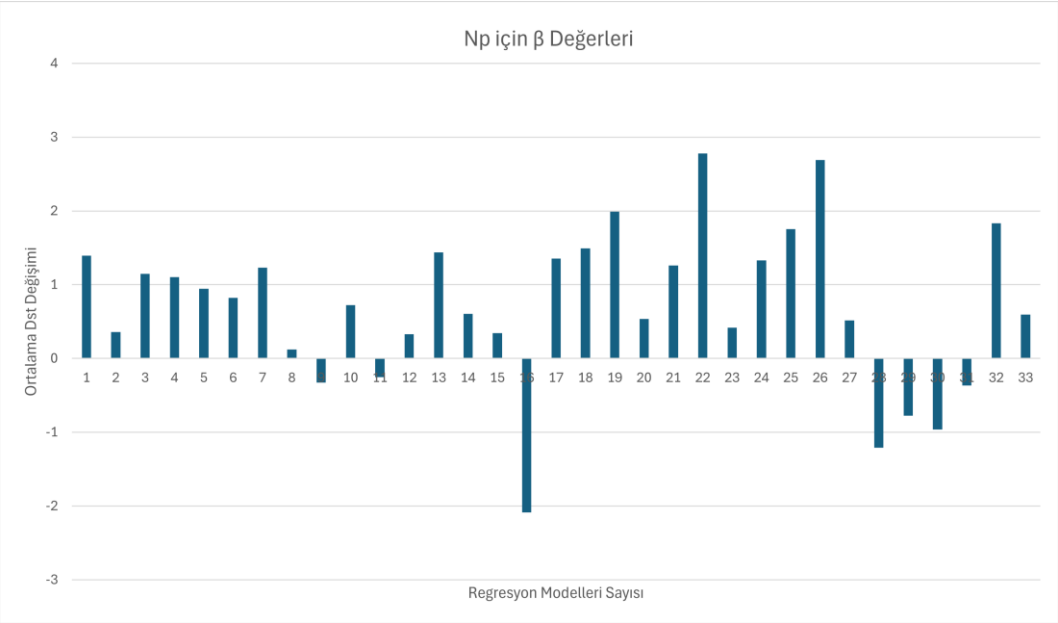
Her bir fırtına için genel plazmanın hızı ve yük yoğunluğu verileri ve Dünya manyetik alanı bozunumunu veren Dst grafikleri incelendi. Fırtınalara çoklu doğrusal regresyon uygulanarak 50 fırtına için 33 istatistiksel olarak anlamlı çıkan regresyon modelleri oluşturuldu. Şekil 6.1'de 50 fırtına ve oluşturulan 33 tane regresyon modelinde parçacık hızı v'nin kat sayısı olan β'nın her fırtına için aldığı değerlerler grafikte görülmektedir. Parçacık hızı V'nin β değerlerinin yaklaşık %93,94 kadarı negatif değer, %6.06'sı ise pozitif değer olarak çıkmıştır. 25. güneş döngüsünün maksimuma yükselen 2021-2022 yılındaki jeomanyetik fırtınaların istatistiksel modelinde jeomanyetik fırtınaya sebep olan parçacıkların birim hızındaki değişim Dst indeksinin daha fazla negatif değerlere doğru gittiğini

göstermektedir. Hızdaki birim değişimin Dst'de maksimum yaklaşık -0.25 nT Dst değerini azalttığı görülmektedir.



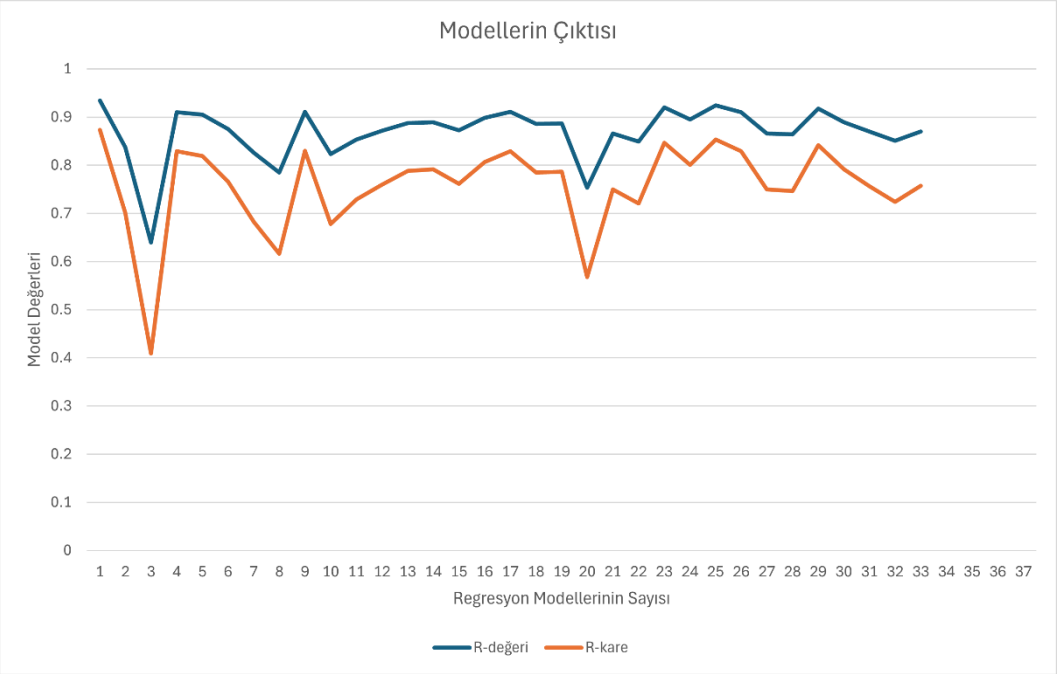

**Şekil 6.1** Regresyon sonuçlarında hızın beta değerleri

Şekil 6.2'de 50 fırtına ve oluşturulan 33 tane regresyon modelinde parçacık yoğunluğu Np'nin kat sayısı olan β'nın her fırtına için aldığı değerlerler grafikte görülmektedir. Aynı modellerdeki ikinci bağımsız değişken olan Np'nin β değerlerinin yaklaşık %78,79 kadarının pozitif değerler, %21.21'inin ise negatif değerler aldığı görülmektedir. 25. güneş döngüsünün jeomanyetik fırtınalarında parçacık yoğunluğundaki birim değişime karşılık Dst indeksi pozitife doğru gitmektedir. Dst indeksindeki maksimum değişim yaklaşık 2.78 nT olduğu görülmektedir.




**Şekil 6.2** Regresyon sonuçlarında yük yoğunluğunun beta değerleri

Regresyon modellerin her birinin R değeri ve R kare değerleri Şekil 6.3'te verilmiştir. İstatistiksel modellerin her birinin istatistiksel olarak anlamlı olması için Şekil 6.3'teki değerlerin 1 değerine yakın olması gerekmektedir. Birkaç modelin haricinde regresyon modellerinin çoğunluğunun R değeri ortalama olarak %90'ın çevresinde şekillenmektedir. Modeller için R kare değerlerine bakıldığında çoğunlukla değerlerin %80'in etrafında değiştiği görülmektedir.



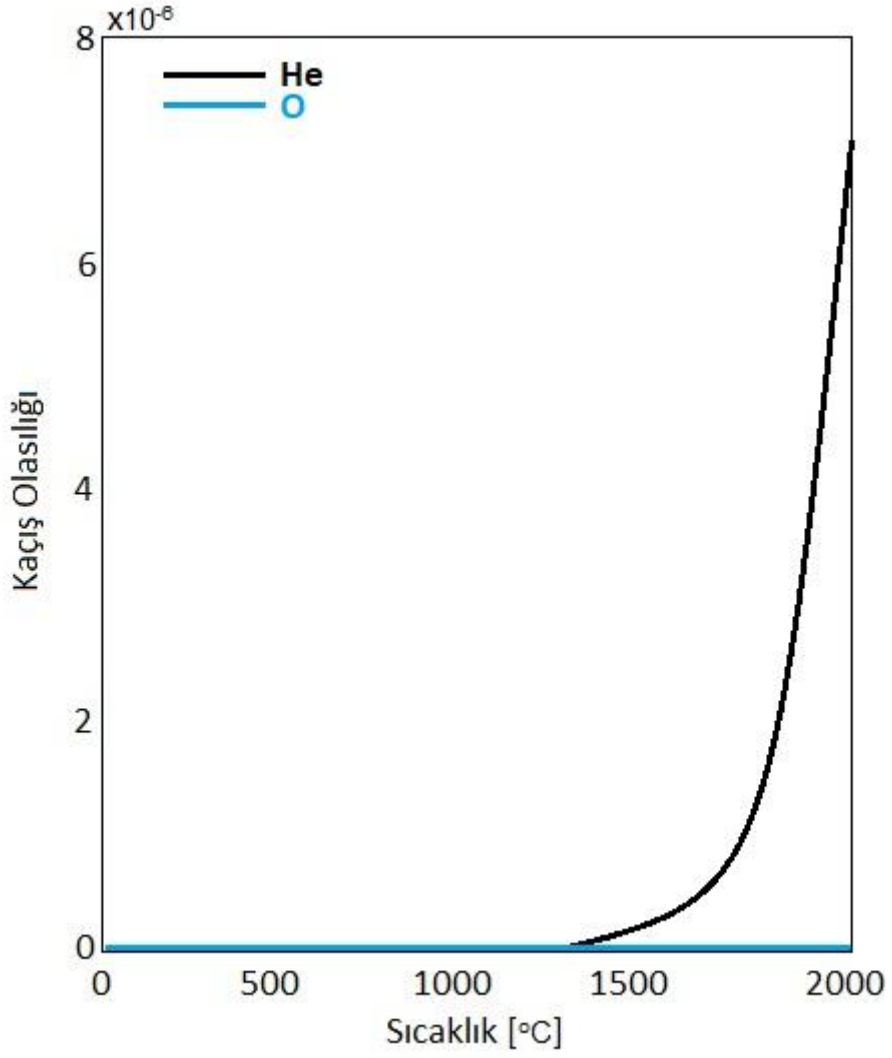

**Şekil 6.3** Regresyon sonuçlarında R ve R kare değerleri

## 6.3 Üçüncü Bölge Bulguları: Ekzosfer

Araştırmanın ekzosfer bölgesinde atmosferik kaçışlar çalışılmıştır. Bunun için birbirinden farklı üç yöntem kullanıldı. Oksijenin kaçışları ve yaklaşık kaçış miktarları yöntemlerce tespit edildi.

### 6.3.1 Teorik Kaçış Olasılıkları

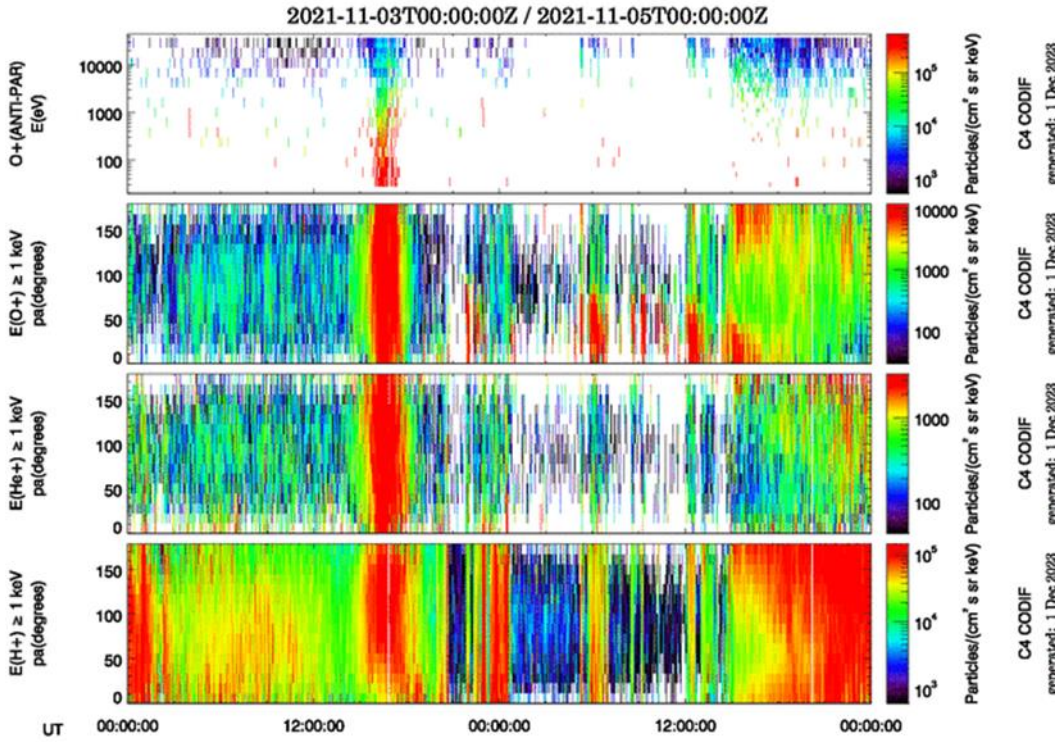
Dünya atmosferindeki parçacıkların çeşitlerine göre kaçışlarını tespit edebilmek için, Maxwell-Boltzmann dağılımları ve atmosferik kaçış teorisi birlikte çözülerek atmosferik kaçış denklemi oluşturuldu. (5.21) 'in olasılık grafikleri çizdirildi. He atomları 1500 $^{o}$C'de kaçmaya başladığı tespit edildi. Oksijen atomları için atmosferik kaçışın olumsuz olduğu görülmüştür (Şekil 6.4). Element veya molekülün kütlesi arttıkça atmosferik kaçışın git gide azaldığı belirlendi.




**Şekil 6.4** Atmosfer parçacıklarının sıcaklığa bağlı olarak kaçışları

### 6.3.2 Cluster Uydusundan Kaçış Grafikleri

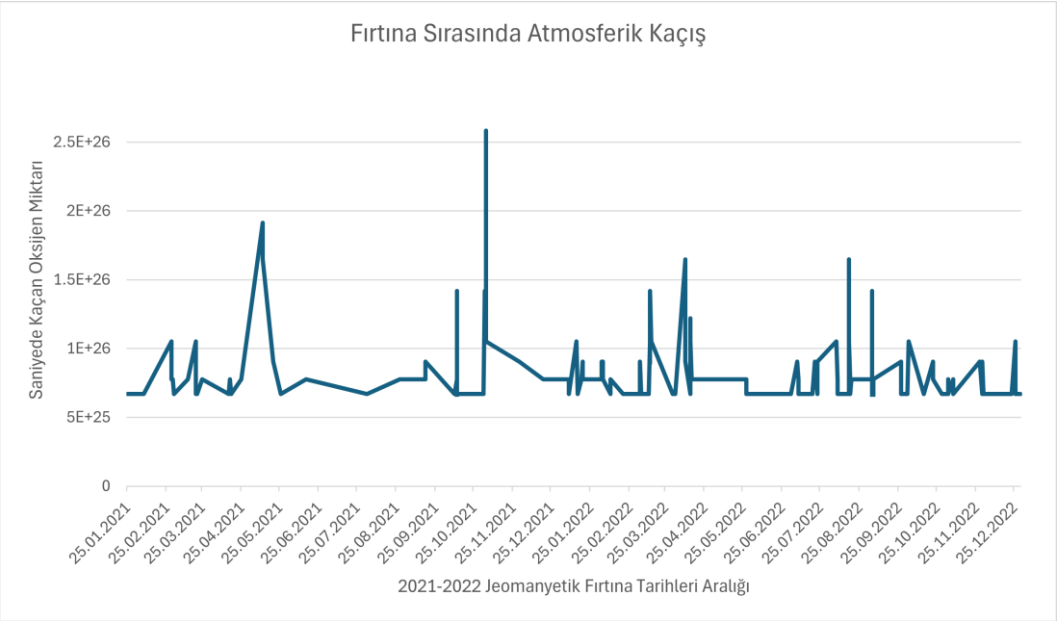
Cluster uydusu atmosferik kaçışlar için tasarlanmış dört ayrı araç takımını temsil etmektedir. Güneş rüzgârı ve manyetik alanın etkileşimini inceler. Burada 4 Kasım 2021 jeomanyetik fırtınası için Cluster uydusunun 4. Aracı olan C4'ün elde verilerinden grafik çizdirildi. Şekil 6.5'te hidrojen ve oksijen iyonunun parçacık miktarları ısı grafiği şeklinde görülmektedir. Manyetik alanının tersi yönünde (uzaya doğru) ve coğrafik konuma bağlı olarak çizdirilmiştir. Parçacık miktarı yanında enerjilerini de vermektedir. Jeomanyetik fırtınada Kp ve G değerinin de en yükseğe çıktı (Kp8 – G4) saat 12'de grafikteki kırmızı bölgede parçacık kaçış miktarının oldukça yükseldiği görülmüştür.




**Şekil 6.5** Cluster uydusundan atmosferik iyonların kaçışları

### 6.3.3 Kp'ye Bağlı Kaçış Miktarları

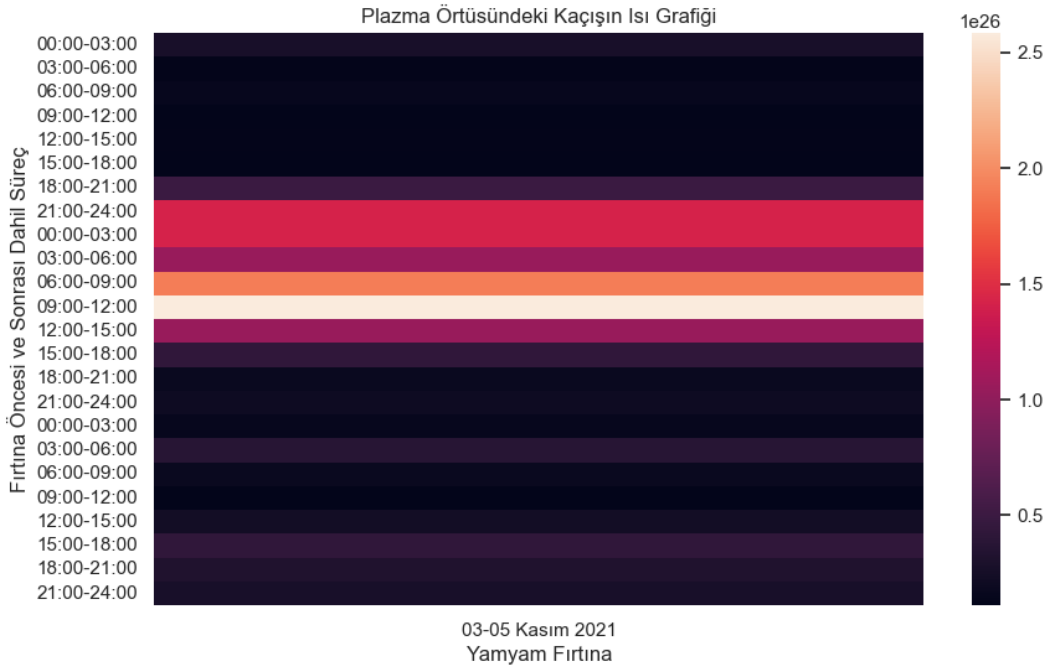
Gezegensel K indeksi kutup ışıklarının görüleceği ve jeomanyetik fırtınanın etkisini vermesi yanında, atmosferik kaçış içinde kullanılmaktadır. (5.22) denklemi istatistiksel birçok çalışmanın sonucunda Kp'ye bağlı oksijen iyonunun kaçış miktarlarını verir. Bu kaçışın temelinde Dünya manyetik alanının açık çizgileri de büyük rol oynar.




**Şekil 6.6** Kp denkleminden hesaplanan $O^+$ iyonunun kaçış miktarları

İki yıllık süreçteki jeomanyetik fırtına günlerinde, fırtınaların her bir saati için (5.22) denkleminden hesaplandı. Çıkan sonuçlar Şekil 6.6'da görülmektedir. Manyetik alan çizgilerinden yararlanıp ivme kazanan oksijen iyonları saniyede $5x10^{25}$ akısı üzerinde manyetosfere geçiş yapmıştır. En büyük kaçışın 4 Kasım 2021 olan yamyam atılımın oluşturduğu jeomanyetik fırtınada gerçekleştiği hesaplandı. Kaçış miktarının yaklaşık olarak saniyede $2,5x10^{26}$ akısı ile kaçtığı bulundu.

4 Kasım 2021 yamyam atılımdan meydana gelen büyük jeomanyetik fırtına Python ile ısı grafiği çizdirilmiştir (Şekil 6.7). Grafikte jeomanyetik fırtınadan bir gün önce ve bir gün sonrası da kodlamaya dahil edilmiştir. Renk skalası ile bakıldığında fırtınada kaçan atmosferik oksijen iyonunun öğlen 12 saati civarında en yüksek olduğu bulunmuştur.




**Şekil 6.7** 4 Kasım 2021 ve başka fırtınalarda kaçan $O^+$ iyonunun Python'dan çizdirilen ısı grafiği

## 6.4 Dördüncü Bölge Bulguları: Atmosfer

Atmosfer bölgesinde analizler her bir katmanın ayrı ya da bir sonraki katmanı nasıl etkilediği şeklinde analizler yapıldı. Ekzosfer analizinden sonra sıradaki analiz termosferdir. Fakat atmosferin ara bölgelerinden olan İyonosfer çeşitli bölgelerden oluşur ve bu bölgeler hem termosfer hem de mezosfer katmanlarının içinde dağılmıştır. Bu sebepten dolayı parçacık yoğunluğu ve özellikleri bakımından ortak incelenmiştir.

### 6.4.1 Termosfer, Mezosfer ve İyonosfer

Termosfer bölgesinde oluşan ve en bilindik olan optik fenomen Auroralardır. Kutup bölgelerinde görülen Auroralar jeomanyetik fırtınanın gücüne bağlıdırlar. 4 Kasım 2021 jeomanyetik fırtınasında orta enlemlere kadar Aurora ışıkları görülmüştür. Aurora verileri için tüm dünyadan halkın çektiği fotoğraflardan yararlanıldı.

Jeomanyetik fırtınalar sırasında iyonosferde yükselen AE değerleri grafikleri incelendi. Sonrasında HILDCAA'lar tespit edilmek için matematiksel hesaplar yapıldı. Toplamda 10 jeomanyetik fırtınanın HILDCAA süreci içinde olduğu bulundu.

Bir diğer optik fenomen olarak bu araştırmada STEVE çalışılmıştır. 2021-2022 jeomanyetik fırtınaları günlerinde 25 STEVE olayı gerçekleştiği tespit edildi. STEVE oluşumunda başka fenomenler ve süreçlerin bir etkisinin var olabileceğini gözlemlemek için lojistik regresyon yöntemi kullanıldı (Şekil 6.8). Yöntemde fırtına seviyesi ve çift adımlı fırtınalar STEVE oluşumunda istatistiksel olarak bir anlamlılık yakalanmadı. Fakat HILDCAA süreçlerinin STEVE oluşumda olumlu olduğu istatistiksel olarak anlamlı çıktı. HILDCAA için β değeri 1,6328 ve Odds oranı ise 5,12 olarak hesaplandı. Odds oranı 1'değerinden yüksek çıkmıştır.

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -1.7939     0.6582  -2.725  0.00642 **
storml        0.4996     0.4554   1.097  0.27261
hildcaa       1.6328     0.7079   2.307  0.02107 *
twos          0.4144     0.5710   0.726  0.46797
---
```

**Şekil 6.8** Lojistik regresyon model sonuçları

İyonosfer ve atmosferdeki parçacıklar arasında ilişkiler için bazı korelasyon matrisleri oluşturuldu. İki yıllık süreçte günlük verilerle yapılan korelasyonlarda: TEC değerleri ve atmosferdeki iyon parçacıkların sıcaklıkları arasında 0,82'lik bir korelasyon, TEC'e benzer olarak santimetreküpe düşen elektron miktarı ile iyon sıcaklıkları arasında 0,70'lik korelasyon elde edildi.

### 6.4.2 Stratosfer ve Ozon Tabakası

Stratosferde bulunan atmosferin koruyucu tabakası olan ozon tabakası kalınlığı incelenmiştir. Dobson birimi ile iki yıllık olarak alınan günlük verilerle çeşitli korelasyon matrisleri oluşturulmuştur. Burada ozon tabakası ve atmosfer ile iyonosferdeki santimetreküpe düşen elektron miktarı arasında korelasyon yıllık olmak üzere iki farklı matris halinde incelendi. İki yılda da yaklaşık olarak korelasyon -0,50 olarak bulundu. Atmosferdeki elektron miktarı ile ozon tabakasının kalınlığı ters orantılı çıkmıştır.

## 6.5 Beşinci Bölge Bulguları: Troposfer ve Yer

Dünya'nın ve yaşamın doğrudan etkilendiği bölge troposferdir. İklimsel olaylar Dünya yüzeyinin ve yaşamın en büyük itici kuvvetlerindendir. İklimsel olaylar için seçilen iki yıllık günlük sıcaklık ortalamaları hem ozon tabakası ile hem de

atmosferdeki santimetreküpte var olan elektron miktarları ile korelasyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalar yaz ve bahar aylarını kapsayacak şekilde mevsimsel olarak yapıldı ve sonuçları şu şekilde: 2021 yılında mevsimsel olarak günlük ortalama iklimsel sıcaklık ile elektron yoğunluğu arasında 0,62, sıcaklık ve ozon arasında -0,66'lık korelasyonlar elde edilirken, 2022 yılının mevsimsel olarak sıcaklık ve elektron yoğunluğu arasında 0,81, sıcaklık ve ozon arasında ise -0,64'lük korelasyon bulundu.

Ortalama sıcaklık, gün içinde en düşük ve en yüksek sıcaklıklar ile atmosferde bulunan oksijen ve azot iyonları arasında korelasyonlar oluşturuldu. Sıcaklıklar ve oksijen iyonları arasında yaklaşık 0,6, sıcaklıklar ve azot iyonları arasında da yaklaşık -0,6'lık korelasyonlar elde edildi. Yer yüzünün sıcaklıkları ile atmosferdeki iyonların sıcaklığı arasında yaklaşık 0,5'lik korelasyon olduğu hesaplandı.

# 7
# SONUÇ VE TARTIŞMA

## 7.1 Güneş Manyetosfer Kuplajı

25. güneş döngüsünün yükselen döneminde birçok atılım incelendi. Atılımların manyetosferde oluşturduğu jeomanyetik fırtınalar tek tek analiz edildi. Çeşitli atımların manyetosferde hem benzer hem de farklı seviye ve çeşitte jeomanyetik fırtına oluşturduğu gözlemlendi. Farklı ana fazlarda ve yenilenme fazlarının yanı sıra çift adımlı fırtınalar gibi iki jeomanyetik fırtına etkisinin olduğu fırtınalar gözlemlendi. Böylece her bir atılımın kendine has olduğu, ayrıca oluşan jeomanyetik fırtınaların da kendine has davranışlar sergilediği anlaşıldı.

Güneş parametrelerinin (v, Np) jeomanyetik fırtınalar sırasında farklı sonuçlar doğurduğu çoklu doğrusal regresyon modellerinden elde edildi. Çoklu doğrusal regresyon modellerinden tamamında elde ettiğimiz v ve Np'nin β değerleri Şekil 6.1'de ve Şekil 6.2'de görülmektedir. Birkaç istisnanın dışında 25. güneş döngüsündeki jeomanyetik fırtınaların itici güçlerinin nasıl çalıştığı konusunda çıkarımlar şöyledir: İstatistiksel modellerde v değişkenindeki birim artışta ortalama olarak Dst değeri de daha eksi değerlere gidiyor. Şöyle ki madde hızı jeomanyetik fırtına gücünü daha fazla artıyor ve fırtına süresini ise daha fazla uzatıyor. Kısaca söylemek gerekirse, güneş rüzgârı veya atılımlardaki maddenin hızı, Dünya manyetik alanının bozulma miktarını ve bozulmanın devamlılığını uzatmada olumlu etkiye sahip. Fakat aynı durum Np bağımsız değişkeninin β değerleri için aynı etkiye sahip değil. Çünkü oluşturulan modellerde birkaç istisna sonucunda ortaya çıkan ve araştırmada ikinci çıkarım şu şekildedir: Fırtınalarda Np değeri bir birim arttığında Dst değeri pozitif değerlere doğru gidiyor. Yani güneş rüzgârı ve atılımlardaki yoğunluk, jeomanyetik fırtınanın etkisini ve süresini düşürüyor. Böylece fırtına daha çabuk olarak sakin güne doğru yaklaşıyor ya da daha düşük bir fırtınanın oluşmasını sağlıyor.

Görüldüğü üzere iki grafikte Şekil 6.1'de ve Şekil 6.2'de de bazı istisnai durumlar mevcut. Bu durumları incelendiğinde asıl sebebin kesin olarak ne olduğunu söylemek kolay olmayabilir. Çünkü modelden, veriden veya fırtınalar sırasında oluşan başka durumlardan (Modele dahil edilmeyen değişkenlerden veya Np'yi

tanımlayan değişkenlerden) dolayı da olabilir. Fakat fırtınalar istatistiksel olarak incelendiği için verilerden yola çıkılarak, regresyonda istatistiksel olarak anlamlı olan fırtınalardaki verilerin kendi aralarında bir karşılaştırması yapıldığında şu durum gözlemlendi. Wind'den alınan verilerde Np değeri fırtına sırasında, (-30 ve daha düşük Dst değerlerinde) fırtınadan önce ve sonraya göre daha düşük değerler alıyor ve bunun sonucunda Np'nin β değerleri pozitif olarak çıkıyor. Ama bu durum grafikteki aykırı değerler olan eksi değerler için farklı. Bu fırtınalarda fırtına sırasında Np değeri ya sabit kalıyor ya da fırtına öncesi ve sonrasına göre daha fazla artıyor. Böylece Np'nin β değerleri negatif olarak ortaya çıkıyor. Bu da fırtına sırasında yoğunluk artışının aslında jeomanyetik fırtınanın gücünü arttırdığı sonucuna gidilmektedir.

Güneş parametreleri olan v ne Np bağımsız değişkenin jeomanyetik değişken Dst bağımlı değişkenindeki değişimi anlamlı olarak açıkladığını görebilmek için Şekil 6.3'e bakılmalıdır. Grafikte mavi çizgi R değerinin modellerdeki değerlerini temsil etmektedir. Bağımsız ve bağımlı değişkenler arasında korelasyonu gösterir ve modellerin büyük çoğunluğunda 1'e yakın değerler çıkmıştır. Bu da modellerin bağımlı değişkeni olan Dünya manyetik alanındaki bozulmadaki değişimin güneş parametrelerine büyük ölçekte bağlı olduğunu gösterir. Grafikteki diğer parametre turuncu çizginin temsil ettiği R kare değeridir. Grafikte görüldüğü gibi yapılan 50 fırtınanın 33 regresyon modelinin (art arda olan fırtınalar tek regresyon modeli olarak analiz edildi) neredeyse tamamında yaklaşık olarak %80 civarında R kare değerine sahip olduğu görülüyor. R karenin yüksek olması, bağımsız değişkenlerin (v, Np) bağımlı değişkendeki (Dst) değişimi ne oranda açıklayabildiğini anlatır. Modellerden çıkarılan sonuç ise istatistiksel olarak modellerin yüksek doğrulukla manyetik alandaki bozulmayı açıkladığı ve jeomanyetik fırtınanın gücü ve süresinin yüksek oranda güneş parametrelerine bağlı olduğunu göstermektedir. Fakat jeomanyetik fırtınaların oluşumu ve devamlılığı için olumlu veya olumsuz olarak bağımsız değişkenlerin kendi içinde farklı olarak etkilediği görülmektedir.

Dünya'nın manyetik alanın güneş plazmasının yıkıcılığına karşı bir kalkan olduğu görüldü. Jeomanyetik fırtınalar sırasında her ne kadar manyetik alanı yıpransa da gelen plazmanın gücünü kestiği böylece atmosferi doğrudan uzaya süpüremediği görüldü.

## 7.2 Manyetosfer Atmosfer Kuplajı

Manyetosfer atmosfer kuplajında geçiş bölgesi olan ekzosfer çalışmada hem parçacık girişinin hem de parçacık kaçışının gözlemlendiği bölge oldu. Jeomanyetik fırtınalarla birlikte parçacık ve enerji atmosfere girerek burada karmaşaya ve atmosferik süreçlere sebep olduğu görüldü.

Aslında atmosferik kaçış için termosfer katmanındaki parçacıkların ekzosfere çıkması gerekir. Termosfer için Maxwell-Boltzmann dağılımları ve kaçış hızı teorisini birleştirerek çözüldüğünde ortaya çıkan (5.21) denklemi parçacıklar için olasılıkları ortaya çıkardı. Parçacık çeşidine göre olasılıkların değiştiği ve parçacığın kütlesi arttıkça kaçma olasılığının düştüğü bulundu. Fakat teorik sonuçlar bazı değişkenlere sahip olmadığından yanıltıcı sonuçlar verebilir. Dünya'nın kutup bölgesine gidildikçe manyetik alan çizgilerinin açık olduğu bilinmektedir. Burada da güneşten gelen parçacıklar atmosferdeki parçacıklarla etkileşime girer ve onlara manyetik alan çizgileri ile ivmelendirir. Normalde Dünya çekiminden kaçamayacak oksijen iyonunun yapılan uydu gözlemi ve Kp'ye bağlı denklem olan (5.22) hesaplarında Dünya'dan kaçabildiği gözlemlendi. Kaçan gaz miktarları jeomanyetik fırtına ile doğru orantılı olduğu bulundu. Buna en iyi örnek olarak G4 seviyesindeki 4 Kasım 2021 fırtınasının kaçış miktarlarında en yüksek değere sahip jeomanyetik fırtına olduğu gösterilebilir.

Farklı bir sonuç olarak, gelen güneş rüzgârına ve atılımlarına karşı kalkan olan Dünya manyetik alanı, atmosferik kaçış sırasında atmosferin kaybına neden olacak şekilde davrandığı tespit edildi. Bu sebepten dolayı Dünya manyetik alanının atmosferi koruyor mu sorusu araştırmalarına katkıda bulunacak şekilde, manyetik alanın bulunduğu sürece ve olayın konumuna göre davranışının farklı olabileceği gözlemlendi.

Giren parçacıkların atmosferin daha alt katmanlarında Aurora, STEVE ve HILDCAA gibi çeşitli fenomen ve süreçleri başlata bileceği düşünülmekte. Fakat jeomanyetik fırtınaların her birinin kendine has oluşundan kaynaklı olarak, fenomen ve süreçler her jeomanyetik fırtına sonucunda oluşmadıkları belirlendi. Güçlü jeomanyetik fırtınalar sırasında Auroraların daha alt enlemlere kadar oluşabildiği, HILDCAA süreçlerin ortaya çıkabileceği bulundu. STEVE oluşumunun yeri, zamanı ve nedeni hala literatürde açıklanamamaktadır. Bazı

teoriler ortaya atılsa da gizemini korumaktadır. Araştırmada yapılan istatistiksel olarak anlamlı lojistik regresyon modeli ile STEVE oluşumu zamanı için HILDCAA'ya bakılabileceği öngörülmektedir. R programlama dili ile kodlanan modelde HILDCAA'nın var olduğu zamanlarda, var olmadığına göre STEVE'in 5,12 kat daha fazla ortaya çıktığı bulundu. İyonosferik süreç olan HILDCAA'yı bu şekilde başka bir fenomen olan STEVE için bağlantılı olabileceği gösterildi. Bu da literatürde STEVE oluşumu ve STEVE'in atmosferde bulunması için farklı bir model olarak öne sürüldü.

İyonosfer bölgelerinin termosfer ve mezosfer arasında dağılır ve iyonosferdeki elektron miktarı TEC ile belirlenmektedir. Atmosfer içinde bulunan iyonların güneş plazması ile enerji ve sıcaklığı artmaktadır. TEC ve atmosferik iyonların sıcaklığı arasında 0,82'lik bir doğru orantı olduğu korelasyon ile bulunmuştur. Bu da atmosferik iyonların sıcaklığı bir birim kadar arttıkça TEC'de 0,82'lik artış gözlendiği bulunmuştur. Atmosferdeki iyonların jeomanyetik fırtınalar sırasında hareketliliğinin artması ile iyonosferdeki elektron miktarının artabileceği görülmüştür. İletişim, navigasyon ve teknolojik birçok modern cihazın frekanslarını yayan iyonosferin jeomanyetik fırtınalar sırasında yaydığı elektromanyetik dalgaların farklılık gösterebileceği söylenebilir.

Bir alt katman olan stratosferde ozon tabakası atmosferin üstü ile etkileşimi için istatistiksel yöntemlerle incelendi. Atmosfer içindeki elektron miktarlarının artışı ozon tabakasını ile ters orantılı olduğu bulundu. Jeomanyetik fırtınalar ile karışan atmosferde elektron miktarı artarsa ozon tabakasının kalınlığı o bölgeler için inceldiği görüldü. Böylece güneşten gelen zararlı birçok ışının kolaylıkla atmosferden geçebileceği görüldü.

## 7.3 Atmosfer Yer Kuplajı

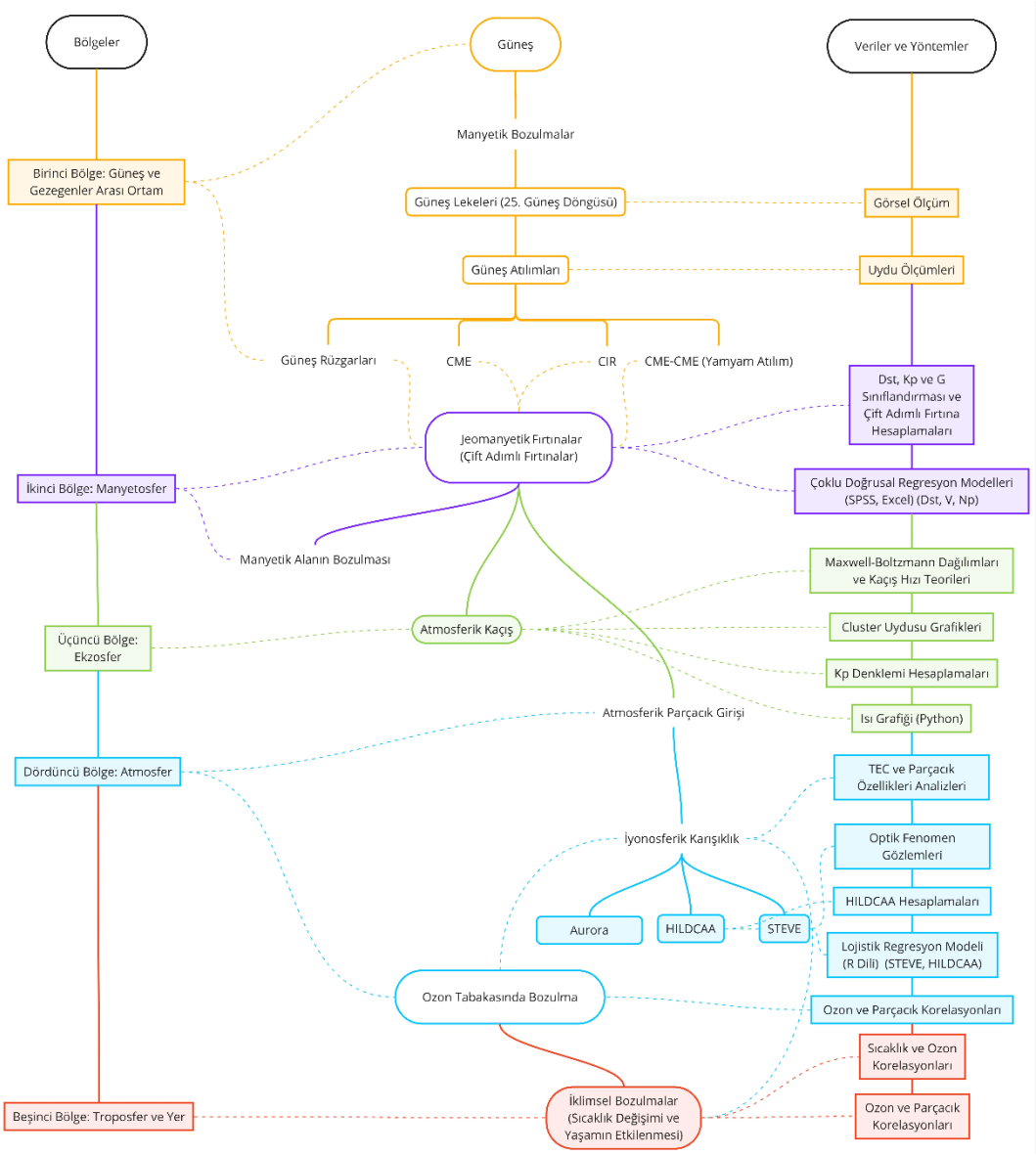
Atmosferik karışıklar en üst katmandan başlayarak en alt katmana doğru ilerlediği kuplajlar altında görüldü. Atmosferin yere yakın olan ve Dünya ve yaşamı etkileyen iklim ve süreçleri içinde barındıran katmanı troposfer yer ile iklimsel sıcaklık değişkeni ile incelendi. Ozon ve ortalama yer yüzeyi sıcaklığının bahar ve yaz mevsimsel sıcaklığı ilişkisi 2021 yılında -0,66, 2022 yılında ise -0,64 ters orantılı olarak bulundu. Ozon tabakası inceldikçe günlük sıcaklık ortalamasının giderek arttığı gözlemlendi. Atmosferdeki elektron yoğunluğu ile yer yüzeyi sıcaklığı

arasında doğru orantı olduğu görüldü. Atmosferdeki elektron sıklığı yer yüzeyinin sıcaklığında artışa neden olduğu bulundu. Atmosferdeki iyon sıcaklığı da yer yüzeyi sıcaklığını arttırdığı gözlemlendi. İyon miktarlarına gelince, sıcaklık oksijen iyonu ile doğru orantılı azot iyonu ile ters orantılı çıkmıştır. Atmosfer ve yer yüzeyi sıcaklığı ile yapılan araştırmada yüksek orantılarda bağlantılar bulunmuştur. Atmosferdeki parçacıkların değişimi, yer yüzeyindeki sıcaklığı doğrudan etkileyebileceği söylenebilir.

Araştırmada zincirleme olaylar sonucunda günlük sıcaklık ortalamaların değiştiği bulunmuştur. Uzay havasının bu durumu iklimsel bozulmalara sebebiyet verebilmektedir. İklimsel bozulmalar toprakları kuraklaştırmaya, yer yüzeyi sularının asitlenmesine, orman yangıları, türlerin göçleri ve canlıların neslinin tükenmesine kadar doğal dengeyi değiştirmektedir. Dünya'da ya da başka gezegenlerde uzay havası süreçleri gezegenin durumunu benzer olaylarla şekillendirmektedir. Bu da Dünya'nın geçmişten şu anki durumuna gelene kadar ki zamanda yaşamı etkilemiştir ve yaşamın oluşumunu araştıran Astrobiyoloji için ana etmenlerden biri olmuştur. Sonuç olarak atmosfer yer kuplajı zaman içindeki birbirlerine etkileri geçmişten bugüne kadar ki evrimlerinde büyük rol oynamıştır.

## 7.4 Uzay Havası: Büyük Resim

Bu tez çalışmasında Güneş'ten başlayan bir olayın Dünya yer yüzeyine kadar ki alanda çeşitli süreçler başlatarak birbirini etki ettiği bulundu. Güneş'te oluşan bir manyetik bozulma güneş lekesini, güneş lekesi gezegenler arası alanda bir güneş plazma atılımını, atılım Dünya manyetik alanında bir jeomanyetik fırtınayı, manyetik alandaki fırtına ekzosferde parçacık girişini ve atmosferden parçacık kaçışını, giren parçacıklar atmosferin üst bölgesinde iyonosferik karışıklığa ve optik fenomenlere, üst atmosferdeki parçacık hareketleri ozon tabakasının üzerindeki değişime, tabakanın değişimi de yer yüzeyindeki iklimi değişikliğine neden olduğu ortaya koyuldu (Şekil 7.1).




**Şekil 7.1** Araştırmadaki uzay havasının büyük resmi

Burada Uzay havası süreçlerine uzaktan bakıldığında, Güneş manyetosfer, manyetosfer atmosfer ve son olarak atmosfer yer kuplajlarının aslında birbiriyle içe içe olduğu ve her bölgedeki aynı veya farklı olay ve olayların birbirini etkilediği fakat kendine has olduğu kanıtlandı. Böylece tez çalışmasında her bir bölgede yapılan ayrı ayrı çalışmaların bir bütün halinde birbirine etki eden sonuçları, uzay havasının önemini gösteren bir büyük resim olarak ortaya koyuldu.

# KAYNAKÇA


[1] M. Moldwin, *An Introduction to Space Weather*. New York, United States of America: Cambridge University Press, 2008.

[2] P. Song, *Space Weather*. Washington, United States of America: American Geophysical Union, 2001.

[3] R. M. Robinson and R. A. Behnke, "The U.S. National Space Weather Program: A Retrospective," *American Geophysical Union*, vol. 125, pp. 1-10, 2001, doi: 10.1029/GM125p0001.

[4] L. J. Lanzerotti, "Space Weather Effects on Technologies," *American Geophysical Union*, vol. 125, pp. 11-22, 2001, 10.1029/GM125p0011.

[5] R. Turner, "What We Must Know about Solar Particle Events to Reduce the Risk to Astronauts," *American Geophysical Union*, vol. 125, pp. 39-44, 2001, doi: 10.1029/GM125p0039.

[6] Y. I. Yermolaev et al., "Solar wind parameters in rising phase of solar cycle 25," *Solar-Terrestrial Physics*, vol. 9, no. 4, pp. 55–62, 2023, doi: 10.12737/stp-94202307.

[7] C. T. Russell, "Solar Wind and Interplanetary Magnetic Field: A Tutorial," *American Geophysical Union*, vol. 125, pp. 73-89, 2001, doi: 10.1029/GM125p0073.

[8] P. Perreault, S. Akasofu, "A study of geomagnetic storms," *Geophysical Journal International*, vol. 54, pp. 547-573, 1978, doi: 10.1111/J.1365-246X.1978.TB05494.X.

[9] S. Akasofu, "Electrodynamics of the Magnetosphere: Geomagnetic Storms," *Space Science Reviews*, vol. 6, no. 1, pp. 21-143, 1966, doi: 10.1007/BF00213406.

[10] B. T. Tsurutani et al., "Space Plasma Physics: A Review," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 51, no. 7, pp. 1595-1655, 2022, doi: 10.1109/TPS.2022.3208906.

[11] L. McFadden, P. R. Weissman and T. V. Johnson, *Encyclopedia of the Solar System*, 2nd ed. London, UK: Academic Press, 2007.

[12] K. Saha, *The Earth's Atmosphere*, United States of America: Springer, 2008.

[13] V. A. Zubov, "Influence of Solar Wind on Ozone and Circulation in the Middle Atmosphere: A Model Study," *Doklady Earth Sciences*, vol. 408, no. 4, pp. 595-598, 2006, doi: 10.1134/S1028334X06040192.

[14] E. V. Mishin and A. V. Streltsov, *Nonlinear Wave and Plasma Structures in the Auroral and Subauroral Geospace*, Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2021.

[15] E. A. MacDonald et al., "New science in plain sight: Citizen scientists lead to the discovery of optical structure in the upper atmosphere," *Science Advances*, vol. 4, no. 3, 2018, doi: 10.1126/sciadv.aaq0030.

[16] E. Bell. “NASA Space Science Data Coordinated Archive.” NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://nssdc.gsfc.nasa.gov/

[17] J. M. H. Beedle, C. E. Rura, D. G. Simpson, H. I. Cohen, V. P. M. Filho and V. M. Uritsky, “A User’s Guide to the Magnetically Connected Space Weather System: A Brief Review,” *Sec. Space Physics*, vol. 8, 2022, doi: 10.3389/fspas.2021.786308.

[18] G. Sutula. “Differential Rotation of the Sun.” SOHO. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://soho.nascom.nasa.gov/explore/lessons/diffrot9_12.html

[19] E. Chaisson, S. McMillan, *Astronomy Today*, New Jersey, United States of America: Pearson, 2011.

[20] P. Lindner, C. Kuckein, S. J. González Manrique, N. Bello González, L. Kleint and T. Berkefeld, “The role of the chromospheric magnetic canopy in the formation of a sunspot penumbra,” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 673, 2023, doi: 10.1051/0004-6361/202245702.

[21] J. M. Borrero and K. Ichimoto, “Magnetic Structure of Sunspots,” *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 8, no. 4, 2011, doi: 10.12942/lrsp-2011-4.

[22] J. Kennewell and A. McDonald. “What is a Coronal Hole?.” BOM. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/1/5

[23] A. K. Singh, A. Bhargawa, D. Siingh and R. P. Singh, “Physics of Space Weather Phenomena: A Review,” *Geosciences*, vol. 11, no. 7, 2021, doi: 10.3390/geosciences11070286.

[24] J. W. Dungey, “Conditions for the occurrence of electrical discharges in astrophysical systems,” *Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 44, pp. 725-738, November 1952, doi: 10.1080/14786440708521050.

[25] “Earth-directed coronal mass ejection.” SpaceWeatherLive. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.spaceweatherlive.com/en/news/view/423/20201208-earth-directed-coronal-mass-ejection.html

[26] A. J. Hundhausen, “Sizes and locations of coronal mass ejections: SMM observations from 1980 and 1984-1989,” *Journal of Geophysical Research*, vol. 98, pp. 13177-13200, August 1993, doi: 10.1029/93JA00157.

[27] R. A. Howard, “Observations of CMEs from SOHO/LASCO,” *Geophys. Monogr. Ser*, vol. 99, pp. 17-26, 1997, doi: 10.1029/GM099p0017.

[28] J. Zhang, “Earth-affecting solar transients: a review of progresses in solar cycle 24,” *Progress in Earth and Planetary Science*, vol. 8, no. 56, 2021, doi: 10.1186/s40645-021-00426-7.

[29] A. Shanmugaraju, S. P. Subramanian, B. Vrsnak and M. S. Ibrahim, “Interaction Between Two CMEs During 14 - 15 February 2011 and Their Unusual Radio Signature,” *Solar Physics*, vol. 289, pp. 4624-4632, December 2014, doi: 10.1007/s11207-014-0591-x.

[30] C. Scolini, “CME-CME Interactions as Sources of CME Geoeffectiveness: The Formation of the Complex Ejecta and Intense Geomagnetic Storm in 2017

Early September," *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 247, 2020, doi: 10.3847/1538-4365/ab6216.

[31] S. R. Habbal, "Origins of the Slow and the Ubiquitous Fast Solar Wind," *The Astrophysical Journal*, vol. 489, 1997, doi: 10.1086/310970.

[32] O. Sternal, "Transport of galactic cosmic rays in different heliospheric magnetic field configurations," Ph.D. dissertation, Dept. Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Kiel, Germany, 2010.

[33] D. Bolles. "Climate Change." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://science.nasa.gov/climate-change/

[34] V. Dehant et al., "Planetary Magnetic Dynamo Effect on Atmospheric Protection of Early Earth and Mars," *Space Science Reviews*, vol. 129 pp. 279-300, March 2007, doi: 10.1007/s11214-007-9163-9.

[35] D. J. Stevenson, T. Spohn and G. Schubert, "Magnetism and thermal evolution of the terrestrial planets," *Icarus*, vol. 54, pp. 466-489, June 1983, doi: 10.1016/0019-1035(83)90241-5.

[36] L. Christensen, "Robot Navigation in Distorted Magnetic Fields," Ph.D. dissertation, Dept. Mathematics and Computer Science, Bremen Univ., Germany, 2019.

[37] P. T. Newell, T. Sotirelis, K. Liou, C.-I. Meng and F. J. Rich, "A nearly universal solar wind-magnetosphere coupling function inferred from 10 magnetospheric state variables," *JGR Space Physics*, vol. 112, January 2007, doi: 10.1029/2006JA012015.

[38] M. B. McElroy. "Magnetosphere." Britannica. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere/Magnetosphere

[39] J. W. Dungey, "Interplanetary Magnetic Field and the Auroral Zones," *Physical Review Letters*, vol. 6, pp. 47-48, January 1961, doi: 10.1103/PhysRevLett.6.47.

[40] S. Akasofu, "The development of the auroral substorm," *Planetary and Space Science*, vol. 12, pp. 273-282, April 1964, doi: 10.1016/0032-0633(64)90151-5.

[41] R. L. Mcpherron, T. Terasawa and A. Nishida, "Solar wind triggering of substorm expansion onset," *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, vol. 38, January 1986, doi: doi.org/10.5636/jgg.38.1089.

[42] Y. Yu, J. Cao, Z. Pu, V. K. Jordanova and A. Ridley, "Meso-Scale Electrodynamic Coupling of the Earth Magnetosphere-Ionosphere System," *Space Science Reviews*, vol. 218, December 2022, doi: 10.1007/s11214-022-00940-0.

[43] S. Kanekal and Y. Miyoshi, "Dynamics of the terrestrial radiation belts: a review of recent results during the VarSITI (Variability of the Sun and Its Terrestrial Impact) era, 2014–2018," *Progress in Earth and Planetary Science*, vol. 8, December 2021, doi: 10.1186/s40645-021-00413-y.

[44] B. T. Tsurutani, "Solar/interplanetary plasma phenomena causing geomagnetic activity at Earth," *Proceedings of the International School of Physics*, vol. 142, pp. 273-286, 2000, doi: 10.3254/978-1-61499-227-1-273.

[45] "Kp-index." SpaceWeatherLive. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.spaceweatherlive.com/en/auroral-activity/kp-index.html

[46] "TIPS ON VIEWING THE AURORA." NOAA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.swpc.noaa.gov/content/tips-viewing-aurora

[47] Y. Kamide, "Two-step development of geomagnetic storms," *JGR Space Physics*, vol. 103, pp. 6917-6921, April 1998, doi: doi.org/10.1029/97JA03337.

[48] I. G. Richardsona and J. Zhang, "Multiple-step geomagnetic storms and their interplanetary drivers," *Geophisical Research Letters*, vol. 35, January 2008, doi: 10.1029/2007GL032025.

[49] D. Boudreau, M. McDaniel, E. Sprout and A. Turgeon. "Parts of the Atmosphere." National Geographic. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://education.nationalgeographic.org/resource/parts-atmosphere/

[50] A. Buis. "Earth's Atmosphere: A Multi-layered Cake." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://science.nasa.gov/earth/earth-atmosphere/earths-atmosphere-a-multi-layered-cake/

[51] "Layers of the Atmosphere." NOAA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/layers-of-atmosphere

[52] M. C. Kelley, *The Earth's Ionosphere*. New York, United States of America: Academic Press, 1989.

[53] G. Gronoff, "Atmospheric Escape Processes and Planetary Atmospheric Evolution," *JGR Space Physics*, vol. 125, June 2020, doi: doi.org/10.1029/2019JA027639.

[54] D. C. Catling and K. J. Zahnle, "The Planetary Air Leak," *Scientific American*, vol. 300, pp. 36-43, May 2009, doi: 10.1038/scientificamerican0509-36.

[55] R. E. Johnson, "Exospheres and Atmospheric Escape," *Comparative Aeronomy, Space Sciences Series of ISSI*, vol. 29, 2009, doi: 10.1007/978-0-387-87825-6_10.

[56] H. Lammer, J. F. Kasting, E. Chassefière, R. E. Johnson, Y. N. Kulikov and F. Tian, "Atmospheric Escape and Evolution of Terrestrial Planets and Satellites," *Space Science Reviews*, vol. 139, pp. 399-436, August 2008, doi: 10.1007/s11214-008-9413-5.

[57] M. P. Hrybyk-Keith. "Ionosphere Graphics." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://svs.gsfc.nasa.gov/12960

[58] "What Is an Aurora?." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://spaceplace.nasa.gov/aurora/en/

[59] H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Disturbances during a geomagnetic storm: A case study on 7 October 2015," *Advances in Astronomy and Space Physics*, vol. 12, pp. 25-30, December 2022, doi: 10.17721/2227-1481.12.25-30.

[60] M. Bailey, C. Byrne, R. Nezic, D. Asher and J. Finnegan, "Historical observations of STEVE," *The Observatory*, vol. 138, pp. 227-245, October 2018, doi: 10.48550/arXiv.1808.01872.

[61] T. Pultarova. "Odd aurora-like STEVE phenomenon captured in stunning night sky photo." Space.com. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.space.com/steve-aurora-glow-above-michigan-image

[62] "The Ozone Layer." UCAR. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://scied.ucar.edu/learning-zone/atmosphere/ozone-layer

[63] L. R. Lait. "What is a Dobson Unit?." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/dobson_SH.html

[64] J. Bochníček, P. Hejda, V. Bucha, and J. Pýcha "Possible geomagnetic activity effects on weather," *Ann. Geophys*, vol. 17, pp. 925-932, 1999, doi: 10.1007/s00585-999-0925-4.

[65] V. Bucha, "Geomagnetic forcing of changes in climate and in the atmospheric circulation," *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 60, pp. 145-169, 1998, doi: 10.1016/S1364-6826(97)00119-3.

[66] V. Bucha, "Geomagnetic forcing and climatic variations in Europe, North America and in the Pacific Ocean 2002," *Quaternary International*, vol. 91, pp. 5-15, May 2002, doi: 10.1016/S1040-6182(01)00097-0.

[67] D. Massengill. "nasa.gov." NASA. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://www.nasa.gov/

[68] B. T. Tsurutani and W. D. Gonzalez, "The cause of high-intensity long-duration continuous AE activity (HILDCAAs): Interplanetary Alfvén wave trains," *Planetary and Space Science*, vol. 35, pp. 405-412, April 1987, doi: 10.1016/0032-0633(87)90097-3.

[69] E. Tuna. (2021). İleri Regresyon Analizi [PowerPoint slides].

[70] R. Nazlı. "R İle Lojistik Regresyon Analizi." Medium. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online.] Available: https://medium.com/@rmys.nzl/r-i%CC%87le-lojistik-regresyon-analizi-600e188d2f1e

[71] Djordje Romanic, *How Do Air Atoms Escape our Atmosphere to Interplanetary Space?*: *21 Eylül 2023*. Accessed: Haziran 10, 2024. [Online Video]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=Yq1BFYxsxo4

[72] R. Slapak, A. Schillings, H. Nilsson, M. Yamauchi, L.Westerberg and I. Dandouras, "Atmospheric loss from the dayside open polar region and its dependence on geomagnetic activity: implications for atmospheric escape on evolutionary timescales," *Ann. Geophys*, vol. 35, pp. 721-731, 2017, doi: 10.5194/angeo-35-721-2017.

# TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

**Konferans Bildirileri**

**1**. H. Ş. Erdağ and Z. Can, “Statistical Study on STEVE, HILDCAA and Two-Step Geomagnetic Storms on the 25th Solar Cycle,” presented at the 39th International Physics Congress of the Turkish Physical Society, Türkiye, September 4, 2023.

# ÖZ GEÇMİŞ

**İsim Soyad**

Hasan Şafak ERDAĞ

**Öğrenim Durumu**

İlkokul/Ortaokul: Türk İsveç Kardeşlik İlköğretim Okulu

Lise: Bolu Mengen Aşçılar Anadolu Otelcilik ve Turizm Meslek Lisesi

Ön lisans: Anadolu Üniversitesi / Laborant ve Veteriner Sağlık / Mezun

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi / Fizik / Mezun

Lisans: İstanbul Üniversitesi / Biyoloji / Devam

Yüksek Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi / Fizik / Devam

**İş Tecrübesi**

İstanbul Yelken Kulübü / Aşçı / Stajyer

Ramada Plaza / Aşçı / Stajyer

Çeşitli İnternet Siteleri ve Youtube Kanalları / Online İçerik Yazarlığı

Gebze Teknik Üniversitesi / Araştırma Görevlisi / 2024- Devam

**Çalışmalar**

**Makale ve Yayın (Uluslararası WoS, NASA/ADS)**

**[1]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Disturbances during a geomagnetic storm: A case study on 7 October 2015," Advances in Astronomy and Space Physics, vol. 12, pp. 25-30, December 2022, doi: 10.17721/2227-1481.12.25-30.

**Sözlü Bildiriler (Uluslararası ve Ulusal)**

**[2]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Study of the Upper Layers of the Earth and Mars in the Process of Geomagnetic Storms," presented at the 38th International Physics Congress of the Turkish Physical Society, Türkiye, 2022. https://www.tfd38.org/images/TPS38-Congres-Abstract-Book-and-Program.pdf

**[3]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Two-Step Geomagnetic Storms and Their Effects on Space Weather," presented at the 38th International Physics Congress of the Turkish Physical Society, Türkiye, 2022. https://www.tfd38.org/images/TPS38-Congres-Abstract-Book-and-Program.pdf

**[4]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Statistical Study on STEVE, HILDCAA and Two-Step Geomagnetic Storms on the 25th Solar Cycle," presented at the 39th International Physics Congress of the Turkish Physical Society, Türkiye, 2023. https://tfd39.org/images/TPS39-Congress-Book-Program-Participant-List.pdf

**[5]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, "Statistical Study of Earth Magnetospheric Disturbances Caused by Intense Solar Plasma," presented at the IRSYSC- 2023-7th International Researchers, Statisticians, and Young Statisticians Congress, Türkiye, 2023. http://www.irsysc2023.yildiz.edu.tr/abstract-booklet

**[6]** H. Ş. Erdağ and Z. Can, “The Effects of Atmospheric Escapes on Space Weather During Intense Geomagnetic Storms,” presented at the 6-7. Ulusal Kutup Bilimleri Sempozyumu ve 3. Kutup Şenliği Tübitak, Türkiye, 2023. https://mam.tubitak.gov.tr/sites/images/7._ulusal_kutup_bilimleri_sempozyumu_bildiri_programi.pdf

**Burs Programları**

TÜBİTAK- 2210/A Yurt İçi Genel Yüksek Lisans Burs Programı (2022-2024)