

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ BOYUNCA GÜNEŞ AKTİVİTESİNİN İKLİM
DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE SONUÇLARI**

Eda URAS

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

ŞUBAT 2023

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ BOYUNCA GÜNEŞ AKTİVİTESİNİN İKLİM
DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE SONUÇLARI**

Eda URAS

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

ŞUBAT 2023

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ BOYUNCA GÜNEŞ AKTİVİTESİNİN İKLİM
DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE SONUÇLARI**

Eda URAS
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞUBAT 2023

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ BOYUNCA GÜNEŞ AKTİVİTESİNİN İKLİM
DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE SONUÇLARI**

Eda URAS
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 17/02/2023 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KILÇIK (Danışman)	
Doç. Dr. Hasan Hüseyin ESENOĞLU	
Doç. Dr. Çağdaş Kuşçu ŞİMŞEK	

ÖZET

24. GÜNEŞ ÇEVİRİMİ BOYUNCA GÜNEŞ AKTİVİTESİNİN İKLİM DEĞİŞİMİNE ETKİSİ VE SONUÇLARI

Eda URAS

Yüksek Lisans, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KILÇIK

ŞUBAT 2023; 59 sayfa

Dünya var olduğu sürece güneş aktivitesinin de var olduğu ve bu aktivitedeki değişimlerin iklim değişimini etkilediği bilinmektedir. Bu değişimler zamanla Dünya üzerindeki canlı yaşantısını ciddi şekilde etkileyen farklı iklim süreçlerinin yaşanmasına sebep olmuştur. Günümüzde iklim değişikliği ciddi bir problem halini almış ve dikkatler bu problem üzerinde yoğunlaşmıştır. Genel olarak bakıldığında iklim değişimi üzerinde birden fazla etmen mevcuttur. Güneş geçmişten bu güne bu etmenlerden biridir. Bu çalışmayla bu etmenin etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Ancak tek etmen olarak güneşi değerlendirmek doğru değildir. Özellikle sanayi devrimi sonrasında sera gazı ve aerosol salınımındaki artış güneş aktivitesinin etkisini ciddi boyutta maskeleymiştir.

Bu çalışmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan aylık ortalama yer sıcaklık verileri, SİLSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations) sitesinden alınan Güneş leke sayıları, NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) sitesinden alınan CO₂ verileri, Space Weather sitesinden alınan F_{10.7} Güneş radyo akısı verileri ve Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü sitesinden alınan aerosol verileri kullanılmıştır.

Bu çalışmada Antalya ili ve çevresinden 5 farklı ilden alınan 28 istasyona ait veriler kullanılmıştır. Elde edilen verilere korelasyon ve regresyon analizleri uygulanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda iklim ve Güneş aktivitesi arasında düşük düzeyde anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Güneş, Güneş Aktivitesi, 24.Güneş Çevrimi, İklim Değişimi

JÜRİ: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ESENOĞLU

Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

ABSTRACT

THE EFFECT OF SOLAR ACTIVITY ON CLIMATE CHANGE AND ITS CONSEQUENCES DURING THE 24. SOLAR CYCLE

Eda URAS

Master's Thesis, Department of Space Sciences and Technologies

Supervisor: Prof. Dr. Ali KILÇIK

February 2023; 59 pages

It is known that as long as the Earth exists, solar activity also exist and changes in this activity affect the climate change. These changes have led to different climatic processes that seriously affect the life on Earth over time. Today, climate change has become a serious problem and attentions has been focused on this problem. In general, there are multiple factors on climate change. The sun is one of these factors from the past to the present. In this study, the effect of this factor has been tried to be revealed. However, it is not correct to evaluate the sun as the only factor. Especially, after the industrial revolution, the increase in greenhouse gases and aerosols emissions has seriously masked the effect of solar activity.

In this study, monthly average ground temperature data from the General Directorate of Meteorology, Sunspot numbers from SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations), CO₂ data from NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), 10.7 cm Solar radio flux data from Space Weather website and the aerosol data obtained from the website of the General Directorate of State Meteorology were used.

In this study, the data of 28 stations taken from Antalya province and 5 different provinces around Antalya were used. Correlation and regression analyzes were performed to the obtained data. As a result of these analysis, a low-level significant relationship between climate and solar activity was obtained.

KEYWORDS: Sun, Solar Activity, 24. Solar Cycle, Climate Change

COMMITTEE: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ESENOĞLU

Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

ÖNSÖZ

Günümüzün popüler konularından olan iklim değişikliği hakkında birçok çalışma mevcuttur. Genel olarak yapılan çalışmalarda geniş veri alanı kullanılmaktadır. Çalışmamızda ise iklim benzerliği gösteren daha bölgesel alandaki veriler kullanılarak, geçtiğimiz son Güneş çevrimi verileri dikkate alınarak literatüre katkıda bulunulmaya çalışılmıştır. Yapılan araştırmalar doğrultusunda elde ettiğimiz verileri karşılaştırarak Güneş aktivitesinin güncel sorun halinde olan iklim değişiminde ne derece etkili olduğu, iklim değişimi sürecinde diğer etmenler de dikkate alınarak incelenmiştir. Ancak, süreç hali hazırda aktif olarak gerçekleştiğinden ve bu sebeple dinamikler sürekli değişken olduğundan yeni gelişmelerde sürekli olmaktadır.

Çalışmamın gerek konusunun seçimi gerekse ilerleyişinde bilgi ve tecrübesiyle bana destek olan süreç boyunca emeğime saygı duyup onu geliştiren desteğini hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. Ali KILÇIK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans eğitimim ve tez sürecinde beni hep motive eden yardımını hiç esirgemeyen arkadaşım Günay PAYLI BULUT'ya çok teşekkür ederim.

Ayrıca beni yüksek lisansa teşvik eden ve hep yanımda olan eşim Mustafa URAS'a ve bu süreçte aramıza katılan belki de bu süreçte en büyük fedakârlığı yapan canım oğlum Oğuz Ege URAS'a teşekkürü borç bilirim.

Son olarak tüm hayatım boyunca benim destekçilerim olan ve bana hep güvenen, inanan annem, babam ve kardeşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER.....	ivi
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ixi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	3
2.1. Güneş: Temel Bilgiler	3
2.1.1. Güneş'in İç Yapısı	5
2.1.2. Güneş'in Atmosferi	10
2.1.2.1. Fotosfer ve Fotosferde Gözlemlenen Yapılar	10
2.1.2.2. Güneş Lekesi, Verileri ve Sınıflandırması	10
2.1.2.3. Kromosfer ve Kromosferde Gözlemlenen Yapılar	22
2.1.2.4. Korona ve Koronada Gözlemlenen Yapılar	25
2.1.3. Güneşin 10.7 Radyo Akısı	26
2.2. İklim ve İklim Değişikliği	27
2.2.1. Dünyanın Isıl Dengesi.....	28
2.2.2. İklim Değişimini Yönlendiren Etmenler	29
3. MATERYAL VE METOD	36
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	40
5. SONUÇLAR.....	54
6. KAYNAKLAR.....	56
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “24. Güneş Çevrimi Boyunca Güneş Aktivitesinin İklim Değişimine Etkisi ve Sonuçları” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim .

16/03/2023

Eda URAS

.....

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ : Stefan–Boltzmann sabiti

Π : Pi sayısı

P : Basınç

P_{sun} : Güneş'in ışıınım gücü

A : Alfa

Å : Angstrom

K : Kelvin

Kg : Kilogram

m : Metre

km : Kilometre

W : Watt

μ : Mikro

ppm : Milyonda bir

ppb : Milyarda bir

Hz : Hertz

Kısaltmalar

H : Hidrojen

He : Helyum

H_{α} : Hidrojen alfa

AU : Astronomik uzaklık

CaII : +2 değerklikli Kalsiyum

K : Potasyum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneşin içyapısı ve atmosferini ve bu tabakalarda gözlenen bazı yapıları gösteren temsili şekil.....	5
Şekil 2.2. Proton-Proton reaksiyonunun şematik gösterimi.....	7
Şekil 2.3. Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru yarıçap-yoğunluk değişimi	8
Şekil 2.4. Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru yarıçap-sıcaklık değişimi	8
Şekil 2.5. Güneş'in atmosfer tabakalarında sıcaklığın yükseklikle değişimi	10
Şekil 2.6. Güneş Lekelerinin disk üzerindeki görünüşü	11
Şekil 2.7. PFSS aracılığıyla güneş manyetik alanının yüksek çözünürlüklü hareketsiz görüntüsü(a)1 Ocak 2011;(b)23 Ağustos 2012;(c)19 Haziran 2013;(d)15 Nisan 2014.	12
Şekil 2.8. Üst panel güneş lekelerinin konumlarının enleme ve zamana bağlı değişimi (kelebek diyagramı) , alt panel güneş leke alanlarının zamana bağlı değişimi	14
Şekil 2.9. 24 Eylül 2011'deki aktif bölge NOAA AR 11302.....	15
Şekil 2.10. Cortie güneş leke gurup sınıflandırması (Observatorio de Valencia, 1928) (Carrasco 2014)	15
Şekil 2.11. . Zürich güneş leke gurubu sınıflandırması (Bray vd. 1964).....	17
Şekil 2.12. Modifiye edilmiş Zürich leke sınıflandırması (McIntos Sınıflandırması; McIntos 1990)	18
Şekil 2.13. 1750 'den başlayarak Güneş leke sayılarının zamanla değişimi.....	19
Şekil 2.14. Günlük ve aylık Güneş leke sayılarının zaman göre değişimi (son 13 yıl)..	20
Şekil 2.15. Son altı döngünün verileriyle oluşturulmuş uzun dönemli Güneş leke aktivitesi. Son altı döngü için aylık ortalama Güneş lekesi sayısı (mavi) ve 11 adımda düzleştirilmiş güneş lekesi sayısı (kırmızı)	21
Şekil 2.16. Güneş Süper Granül Görüntüsü.....	22
Şekil 2.17. Güneş korona bölgesinin Güneş tutulması sırasındaki görüntüsü	25
Şekil 2.18. 1947'den beri ayarlanmış (1 AU'luk bir Dünya-Güneş mesafesi için ölçeklendirilmiş) $F_{10.7}$ değerlerinin aylık ortalamaları.....	26
Şekil 2.19. Sera etkisinin şematik gösterimi(WHO, 1996'ya göre Türkeş, 2000; Türkeş vd. 2000)	29
Şekil 2.20. Güneş'ten Gelen Radyasyonun Tutulması ve Yansıması	32

Şekil 2.21. Son beş yıllık küresel aylık ortalama CO ₂ değişimi	33
Şekil 2.22. Our World in Data'nın web sayfasından alınan veriler ile elde edilmiş grafik	34
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan sıcaklık verilerinin alındığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi.....	37
Şekil 3.2. 2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin zamana bağlı değişimleri (a)2008-2020 yılları arası Güneş Leke 2008- Sayısı, (b)2008-2020 yılları arası F _{10.7} Güneş Radyo Akısı, (c)2008-2020 yılları arası CO ₂ oranı, (d)2008-2020 yılları arası Aerosol değişimi, (e)2008-2020 yılları arası Sıcaklık değişimi	42
Şekil 3.3. Aylık CO ₂ ve Sıcaklık verilerinin aynı grafik üzerinde gösterimi	45
Şekil 3.4. Regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçlar	47
Şekil 3.5. Çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçlar	47
Şekil 3.6. Regresyon analizi sonucunda bağımlı ve bağımsız değişkenler ilişkisi	48
Şekil 3.7. Veriler üzerinde yapılan Fourier Analizi sonucu elde edilen grafikler(a)F _{10.7} Radyo akısının güç spektrumu, (b)Sunspot (Güneş leke sayısı) sayısı güç spektrumu, (c)Sıcaklık değerinin zamana bağlı güç spektrumu.....	51
Şekil 3.8. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin aylık ortalamalarının zamana bağlı değişim grafikleri(sol eksen Güneş Leke Sayısı ve F _{10.7} Radyo akısı verilerine sağ eksen sıcaklık ve CO ₂ verilerine ait büyüklükleri göstermektedir)	52
Şekil 3.9. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin 11 adımda yürüyen ortalama sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi	53
Şekil 3.10. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin 11 adımda yürüyen ortalama değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Güneş'in temel özellikleri	4
Çizelge 2.2. Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının değişimleri ve kaynakları....	31
Çizelge 2.3. Türkiye 2008-2019 yılları arası Türkiye geneli aerosol verileri.....	35
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan veriler ile yapılan Pearson korelasyon hesaplamaları sonucu elde edilen sonuçlar	43
Çizelge 3.2. 2008-2020 yılları arası için aylık veriler kullanılarak elde edilen çapraz korelasyon analizi sonuçları.	44
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan aylık verilerden elde edilen 11 adımda yürüyen ortalama verileri kullanılarak yapılan Pearson korelasyon hesaplamaları sonuçları	46
Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan veriler ile yapılan Fourier Analizi sonuçları	48

1. GİRİŞ

Güneş, Dünya'nın da içinde bulunduğu sistemin merkezi yıldızıdır. Yaklaşık 4,6 milyar yıl yaşında ve dünyadaki yaşamın temel enerji kaynağıdır. Güneş bize en yakın ve yüzey gösteren tek yıldızdır. Bu yönüyle doğal laboratuvar görevi görmektedir ve içinde bulunduğumuz evreni tanımamıza yardımcı olmaktadır.

Güneş, samanyolu galaksisinin Avcı kolu üzerinde yer almaktadır. Güneş, galaksimizin popülasyona I yıldızlarından olup ikinci oluşum bir yıldızdır (daha önce aynı bölgede bulunan yaşlı bir yıldızın patlaması sonucu etrafa saçılmış gaz ve tozun yeni yıldız oluşturmasıyla meydana gelen metalce zengin bir yıldızdır).

Güneşin bileşiminde kütlece %73 Hidrojen, %25 Helyum, %1.5 diğer ağır metaller mevcuttur (Asplund vd. 2009). Güneş Dünya'daki hayatın temel enerji kaynağıdır. Bunun yanında sistem kütesinin %98'ine sahiptir. Kütle çekim yasası gereği sistemin kütesinin büyük çoğunluğunu oluşturması sebebiyle diğer cisimler Güneş etrafında dönmektedir. Bu sebeple içinde bulunduğumuz sistemi dengede tutan ana etmenidir. Ayrıca, bize en yakın yüzey gösteren yıldızdır. Güneş'ten başka bize yüzey gösteren yıldızlarda mevcuttur ancak, Güneşin açısal çapı (0,32 yay dakikası), diğer yüzey gösteren yıldızların açısal yarıçaplarından (ortalama 100-200 kat) daha büyüktür (ESO 1997). Bu nedenle güneş üzerindeki aktif yapıları gözlemlememize fırsat vererek doğal bir laboratuvar görevi görmektedir.

Güneş durağan bir yıldız olmayıp sürekli değişim göstermektedir. Güneşin içerisinde sürekli birbirini tetikleyen reaksiyonlar gerçekleşir. Bu reaksiyonlar güneşteki temel enerjinin ortaya çıkmasını sağlayan reaksiyonlardır. Güneş, aktif olarak H atomlarını He atomuna çeviren bir füzyon reaksiyonu sürecini yaşamaktadır. Bu reaksiyon sırasında ortaya çıkan enerji dünyayı ve yakın uzay çevresini doğrudan etkilemektedir. Güneş'i anlama ve tanıma aşamasında en çok faydalanan etmenlerden biri de güneş lekeleridir ve güneş lekeleri kullanılarak yapılan çalışmalarda 11 yıllık (Schwabe), 22 yıllık (Hale) ve 80 yıllık (Gleissberg) gibi güneş leke çevrimleri ile karşılaşılmaktadır. Özellikle teknoloji çağına kadar güneş aktivitesi ile sıcaklık arasında oldukça ilişkili bir hal görünürken 19. yüzyıl Sanayi Devrimi ile bu ilişkinin farklı kolları ortaya çıkmaya başlamıştır. Sera gazlarındaki artış, bu yeni ilişki sarmalında oldukça önemli bir hal almıştır. Günümüz sera gazı verilerine bakıldığında tarihin en yüksek verilerinin elde edildiği görülmektedir. Bu sebeple iklim değişimi Güneş, sera gazları ve aerosollerin birlikte incelenmesini gerektirmektedir.

Bu çalışmada iklim değişiminin etmenleri de dikkate alınarak, güneş aktivitesinin iklim değişimi üzerindeki etkisini ortaya koymak üzere 24. Güneş leke çevrimi boyunca yeryüzü sıcaklık verileri, güneş leke verileri, CO₂ verileri, 10.7 cm güneş radyo akısı (F_{10.7}) verileri ve aerosol verileri üzerinde çalışılarak bu veriler arasındaki muhtemel ilişkiler araştırılmıştır.

Yapılan çalışmada Pearson korelasyon analizi, çapraz korelasyon yöntemi, regresyon analizi, periyot analizi yöntemleri kullanılarak veriler arasında ilişki olup olmadığı ve ilişki düzeyi hakkında sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan aylık sıcaklık verileri ile güneş leke verileri, CO₂ verileri, 10.7 cm güneş radyo akısı (F_{10.7}) verileri ve aerosol verileri arasında istatistiksel anlamlı sonuçlara ulaşılamamış olup

sıcaklık verileri 11 adımda yürüyen ortalamaları alınarak smooth edilmiş şekilde kullanılmıştır. Böylelikle verilerden anlamlı sonuçların ortaya çıkması sağlanmıştır.

Çalışma 2008 ile 2020 yılları arasındaki veriler kullanılarak yapılmıştır. Bu yıllar gitgide artan ve sera gazı verilerinin yüksek değerlere ait olduğu yıllardır buda yapılan çalışmanın önemini arttırmaktadır. Çünkü bu yıllarda görülen yüksek artışın dünyamıza etkileri ve oluşturabileceği olası durumlar merak konusudur. Çalışma oldukça popüler olan küresel iklim değişimi konusunda literatüre katkı sağlamaktadır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Güneş: Temel Bilgiler

Güneş dev bir plazma topudur. İçyapısı ile ilgili bilgilerimiz yüzey gözlemleri, helyosismoloji ve teorik çalışmaların birleşmesi sonucu oluşan modellere dayanmaktadır. Bu dev plazma topu kendi gravitasyonel çekimi ve iç ısınımından kaynaklanan basınç arasında hassas bir dengeye sabittir. Bu denge hidrostatik denge olarak bilinmektedir.

Güneş içinde bulunduğumuz evrenin milyarlarca galaksisinden biri olan Samanyolu galaksisindeki milyarlarca yıldızdan biri olan orta ölçekli bir yıldızdır. Galaksinin merkezinden 25 000 ışık yılı¹, Dünya'dan ise 15×10^7 km uzakta (1 AU) ve G2V tayf türünden bir yıldızdır. Güneş galaksimizin Popülasyon I yıldızlarından olup ikinci oluşum bir yıldızdır. Bu yıldızlar daha önce aynı bölgede bulunan yaşlı yıldızların patlaması sonucu etrafa yayılan metalce zengin gaz ve toz bakımından zengin genç yıldızlardır².

Güneş iyonize olmuş gazdan (plazma) oluşmuştur. Bu nedenle katı haldeki dünya gibi sabit hızla dönmez. Güneş kendi eksenini etrafında dönüşünü gerçekleştirirken farklı kısımları farklı hızlarla döner. Bu dönme şekline diferansiyel dönme denir ve Güneş'in diferansiyel dönüşü güneş lekelerine, manyetik alanlara ve yayımlanan radyasyona katkıda bulunur.

Güneş'in görünür yüzeyinin hangi hızla döndüğü fotosfer tabakasındaki güneş lekelerinin gözlenmesiyle elde edilebilir. Bu oldukça pratik ve kullanılan bir yöntemdir. Farklı helyografik enlemlerde gözlenen güneş lekelerinin hareket hızları aynı değildir. Ekvatordan kutup bölgelerine gidildikçe dönüş hızı azalır. Bundan dolayı kutup bölgeleri civarında dönme periyodu yaklaşık 36 gün iken ekvatora doğru inildikçe bu periyodun yaklaşık 25 güne düştüğü görülür. Radyatif katman katı cisim gibi dönme hareketine sahiptir. İçyapıdaki farklı dönüş periyotları da ancak helyosismik çalışmalar sonucu anlaşılmıştır (Karslıoğlu 2020).

¹http://my.nasa.gov/worldbook/sun_worldbook.html

²Kılıçık A.,2002,'Güneş Aktivitesinin Arz İklimi Üzerine Etkisi

Güneş'e ait bazı veriler Çizelge. 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Güneş'in Temel Özellikleri³

Nicelik	Değer
Kütle	1.989×10^{30} kg
Hacim	1.412×10^{27} m ³
Yoğunluk (ortalama)	1.409×10^3 kg/m ³
Yaş	$\sim 4.6 \times 10^6$ yıl
Işınım Gücü	3.846×10^{26} W
Güneş Sabiti	1368 W/m ²
Mutlak Parlaklık	+ 4.83 Kadir
Görünür Parlaklık	- 26.74 Kadir
Etkin Sıcaklık	5778 K
Çekirdek Sıcaklığı	$\sim 15 \times 10^6$ K
Korona Sıcaklığı	$\sim 3 \times 10^6$ K
Merkezi Basınc	2.477×10^{11} bar
Merkezi Sıcaklık	1.571×10^7 K
Merkezi Yoğunluk	1.622×10^5 kg/ m ³

³<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>

Güneş yaklaşık 4.6 milyar yıl yaşındadır ve 5 milyar yıl daha olduğu gibi kalmaya yetecek kadar nükleer yakıtı mevcut olduğu bilinmektedir. Daha sonra genişleyerek kırmızı dev halini alacak ve dış katmanlarını atacaktır. Arda kalan çekirdek çökerek beyaz cüce halini alacak ve yavaşça sönecektir (Sackmann 1993) .

Güneş iç bölge ve atmosfer yapısından oluşur. Genel olarak; Güneş'in iç yapısı ve atmosferi de birkaç bölge veya katmandan meydana gelmektedir. İçeriden dışarıya doğru sırasıyla;

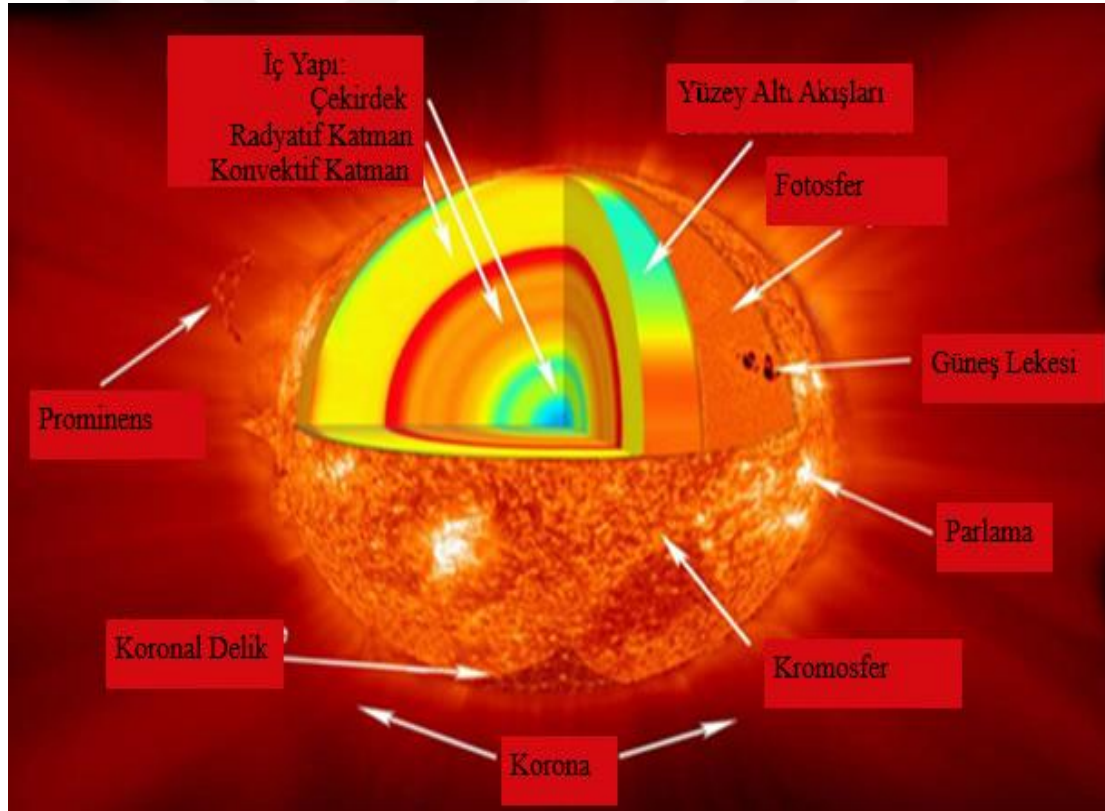
Güneş iç bölge:

Çekirdek, Işınım Bölgesi, Konveksiyon Bölgesi

Güneş atmosferi:

Fotosfer, Kromosfer, Geçiş Bölgesi, Corona bölgeleri şeklindedir.

2.1.1. Güneş'in İç Yapısı



Şekil 2.1. Güneş'in içyapısı ve atmosferini ve bu tabakalarda gözlenen bazı yapıları gösteren temsili şekil⁴

⁴https://www.nasa.gov/mission_pages/sunearth/multimedia/Sunlayers.html

Çekirdek

Güneş çekirdeğindeki Hidrojen atomlarının nükleer reaksiyonlar ile Helyuma dönüştürüldüğü bölgedir. Bu reaksiyonlar yoğunluk ve sıcaklığa çok duyarlı reaksiyonlardır. Çekirdek merkezden itibaren yaklaşık 0.25 Güneş yarıçapı uzaklıktaki bölgeye kadar uzanmaktadır.

Bu bölgede yoğunluk yaklaşık 150 g/cm^3 'tür⁵. p-p (proton-proton) reaksiyonlarıyla enerjinin %99'u burada üretilir. Bu reaksiyonlarda 4 H bir araya gelerek 1 He oluşturur. Bu reaksiyon esnasında güneşten yayınlanan enerjinin %99'u üretilir ve kalan %1'lik enerji ise atmosferde üretilmektedir.

Güneş'in yüzeyi yaklaşık 5800 Kelvin derecedir. Çekirdekte sıcaklığın yaklaşık 15 milyon Kelvin derece⁶ merkezi basıncın ise yaklaşık 250 milyar atmosfer olduğu düşünülmektedir. Bu çekirdekte çok yüksek basınçta ve sıcaklıkta sıkışan atomların füzyon reaksiyonu oluşturmaya sebep olur.

Bu reaksiyonlarda kullanılan Hidrojenin büyük bir kısmı Helyum atomuna çevrilir. Ancak sadece 1 kg hidrojen atomunda 0.007 kg'lık bir kısmı saf enerjiye çevrilir. Buradan yola çıkarak Einsteins'in kütle-enerji eşdeğerliliği kullanılarak Güneş'in saniyede 5 milyon ton kütle tükettiği ortaya çıkar⁷.

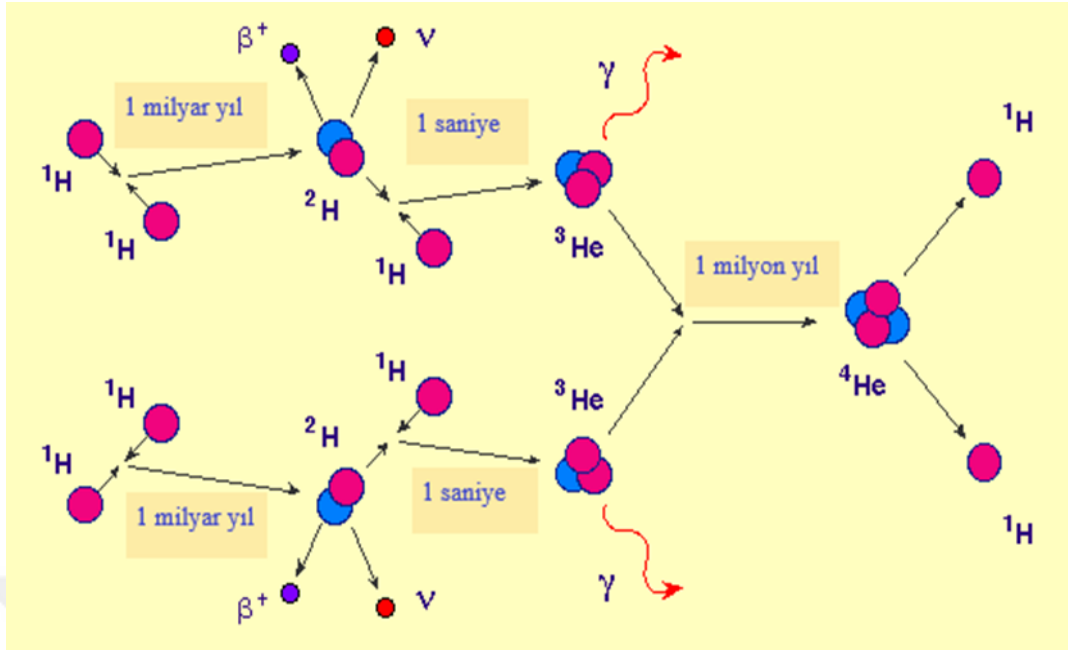
Dört Hidrojen atomunun sonunda bir Helyum atomuna dönüşebileceği 2 reaksiyon vardır: İlki Güneş'in salınan enerjisinin çoğundan sorumlu olan proton-proton zincir reaksiyonu ikincisi ise CNO döngüsüdür (Goupil vd. 2011).

Güneşteki en yaygın füzyon sürecine proton-proton zinciri denir (bkz. Şekil 2.2). Bu süreç, hidrojenin en basit formunun -tek protonların- çekirdeklerinin birer birer bir araya getirilmesiyle başlar. Önce iki parçacıklı bir çekirdek, ardından üç parçacıklı bir çekirdek ve son olarak da dört parçacıklı bir çekirdek oluşur. İşlem ayrıca nötrino adı verilen elektriksel olarak nötr bir parçacık üretir (Iliadis 2007).

⁵<https://solarscience.msfc.nasa.gov/interior.shtml>

⁶http://mynasa.nasa.gov/worldbook/sun_worldbook.html

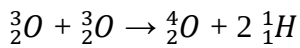
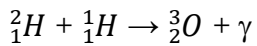
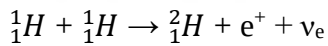
⁷<https://www.sws.bom.gov.au/Educational/2/1/11>



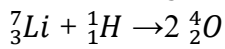
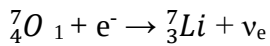
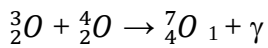
Şekil 2.2. Proton-Proton reaksiyonunun şematik gösterimi⁸

PP zinciri aşağıdaki reaksiyonlardan oluşur:

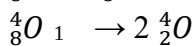
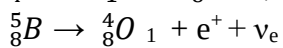
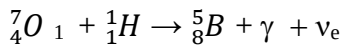
PP I Zinciri



PP II Zinciri



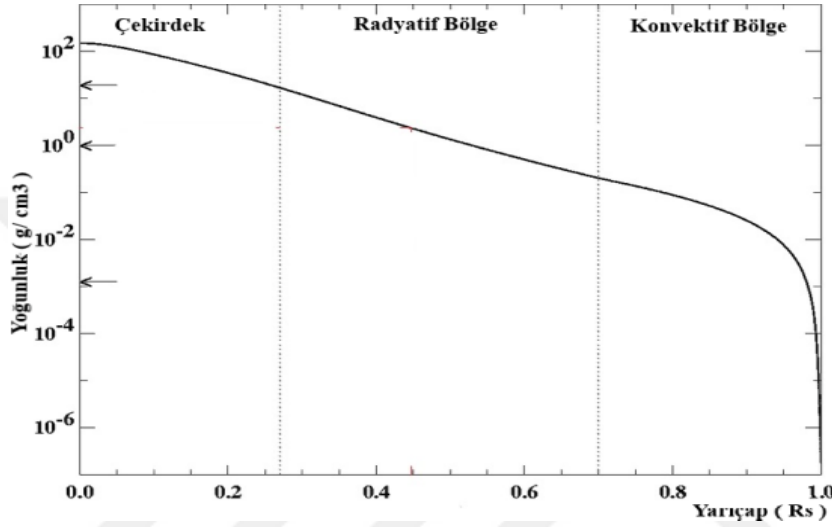
PP III Zinciri



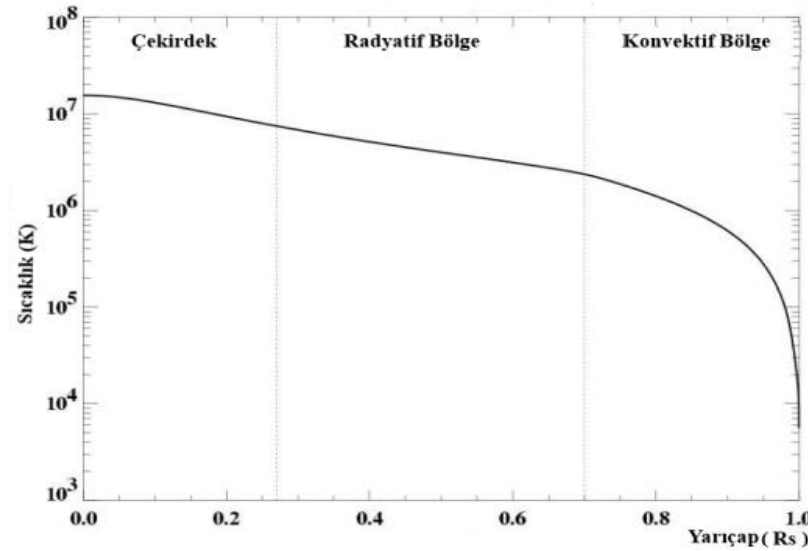
⁸<http://www.pas.rochester.edu/~blackman/ast104/ppchain.html>

Nihai sonuç olarak, dizinin her adımında üretilen parçacıklara ve gama ışınlarına giden enerji ile hidrojeni helyuma dönüştürmektir.

Güneş'te üretilen enerjinin çok küçük bir bölümü de CNO döngüsünden elde edilmektedir. CNO döngüsünün Güneş'ten 1,3 kat daha büyük kütleli yıldızlarda baskın olduğu varsayılmaktadır (Salaris vd. 2005). Burada gerçekleşen reaksiyonlarla ortaya çıkan enerji ışıınım olarak Güneş'i terk eder. Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru yarıçap-yoğunluk değişimi Şekil 2.3'te ve yarıçap-sıcaklık değişimi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru yarıçap-yoğunluk değişimi⁹



Şekil 2.4. Güneş'in merkezinden yüzeyine doğru yarıçap-sıcaklık değişimi⁹

⁹<https://solarscience.msfc.nasa.gov/interior.shtml>

Radyatif Bölge

Radyatif bölge Güneş'in en kalın iç tabakası olup Yaklaşık 0.25 Güneş yarıçapı ile 0.75 Güneş yarıçapı arasındaki bölgeyi kapsamaktadır (Stix 2004). Merkezde üretilen enerji ışıınım yolu ile bu bölgeden yüzeye doğru taşınır. Ancak merkezden yayılan fotonun yol alması iç yüzey opak olduğundan çok uzun zaman alır (Normal şartlarda ışık hızıyla yaklaşık 2 saniye de alması gereken yolu 10^5 ila 10^9 yıl mertebesinde ancak alabilmektedir). Bu bölgedeki madde çok yoğun olduğundan fotonlar başka parçacıklar tarafından soğurulmadan veya saçılmadan kısa mesafe yol alabilirler bunu yaparken daha uzun dalga boylarına geçerler (Elkins vd. 2006).

Güneş'in merkezinde yaklaşık 15 milyon Kelvin derece olan sıcaklık değeri radyatif bölgenin üst kısımlarında 2.2 milyon Kelvin derece civarına düşer. Bu sebeple bu bölgeden sonra radyasyon ile iletim mümkün olmaz. Yoğunluk, ışıınım bölgesinin sonu olan 0,25 Güneş yarıçapı ile 0,7 Güneş yarıçapı arasında yüz kat (20 g/cm^3 'ten $0,2 \text{ g/cm}^3$ 'e) düşer¹⁰. Radyatif bölge ile kovektif bölge arasında geçiş bölgesi (Tacholin) bölgesi bulunmamaktadır. Güneşin manyetik alanı bu bölgede üretilmektedir (Stix, 2004).

Konvektif Bölge

Konvektif bölge, radyatif bölgeden güneş yüzeyine kadar uzanır. Yani yaklaşık 0.75 Güneş yarıçapından Güneş yüzeyine kadar olan bölgedir. Bu bölgede enerji konveksiyon ile taşınır. En büyük kütleli yıldızlarda, konveksiyon bölgesi çekirdekten yüzeye kadar uzanabilir (Martins vd. 2013). Bu taşıma işlemi farklı büyüklük ve derinlikteki hücresel yapılar tarafından gerçekleştirilir. Bu yapılar;

Granül hücreler

Mezo granül hücreler (5000-10000 km)

Süper granül hücreler (30000 km)

Daha altta çok daha büyük boyutlarda dev hücreler olduğu düşünülmektedir.

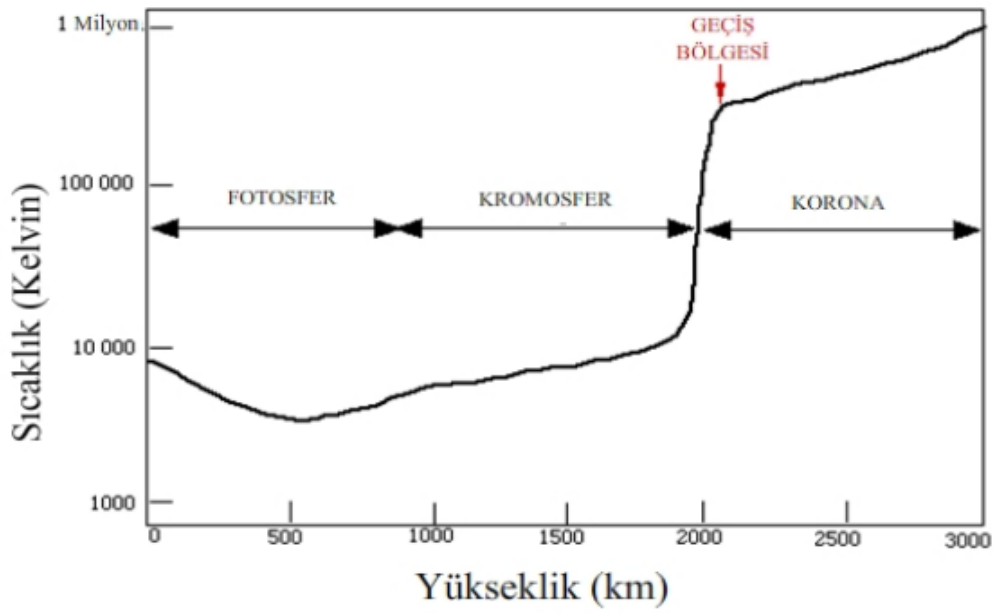
Çok yoğun ve sıcak haldeki gaz bu hücreler içerisine hapsolmuş durumda yüzeye doğru taşınmaktadır. Yukarı doğru çıkan hücreler daha düşük basınçlı ortama gelerek hacimsel olarak büyür ve soğur. Çevresine göre daha soğuk olduğunda ve yoğunluğu çevresine oranla yüksek olduğunda bu hücreler enerjilerini orada bırakarak tekrar içe doğru çökerler.

¹⁰http://my.nasa.gov/worldbook/sun_worldbook.html

2.1.2. Güneş'in Atmosferi

Fotosfer

Güneşin beyaz ışıktaki görülen dış yüzeyidir. Kalınlığı yaklaşık 500 km'dir. Sıcaklığı ortalama 5780 Kelvin civarındadır. Bu tabakada parlaklık düzenli olmayıp disk merkezinden kenarlara gidildikçe azalır buna kenar kararması adı verilir. Güneş ışınımının büyük bir bölümü fotosferden gelir. Güneş lekeleri, granülasyon ve fotosferik plaj alanları bu bölgede gözlemlenir. Güneş'in atmosfer tabakalarında sıcaklığın yükseklikle değişimi Şekil 2.5'te verilmiştir.



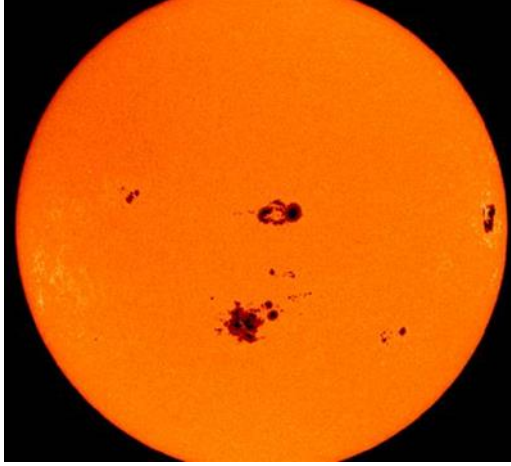
Şekil 2.5. Güneş'in atmosfer tabakalarında sıcaklığın yükseklikle değişimi¹¹

Fotosferde gözlenen bazı yapılar:

1. Güneş Lekesi, Verileri ve Sınıflandırması

Güneş diskinde gözlemlenen çevresine göre koyu renkteki bölgelerdir. Diferansiyel dönme sırasında alan çizgileri çok karmaşık bir hal alır. Bazı bölgelerde düğümlenir ve alttan gelen plazmanın çıkışını engeller böylece Güneş lekeleri ortaya çıkar. Güneş lekelerinin görece karanlık merkezlerindeki sıcaklıklar yaklaşık 3700 K'e düşer (çevredeki fotosfer için 5700 Kelvin derece ile karşılaştırıldığında). Yaşam süreleri genellikle birkaç gündür, ancak çok büyük olanlar birkaç hafta veya birkaç ay yaşayabilirler. Güneş'in lekelerinin disk üzerindeki görünümü Şekil 2.6 da verilmiştir.

¹¹Oklay N. 2006, '23. Güneş Çevriminin Genel Özellikleri



Şekil 2.6. Güneş lekelerinin disk üzerinde görünüşü¹²

Güneş lekeleri Güneş'teki manyetik alan şiddetinin en yüksek olduğu ve genellikle patlamalardan önce manyetik enerjinin biriktiği, civarına göre daha soğuk olan bölgelerdir. Öyle ki bu manyetik alanların büyüklüğü sebebi ile alan çizgileri çok karmaşık bir hal alır, bazı bölgeler düğümlenir ve alttan gelen plazmanın çıkışını engeller. İç bölgelerden dışarıya doğru enerji ve ısı akışı olmaz ve dolayısı ile Güneş lekесinin olduğu bölge soğur. Bu kısmen soğuk bölgeler siyah gözüktür.

Güneş'in bazı bölgeleri için manyetik alan değerleri:

Kutup Alanı : 1–2 Gauss

Prominences : 10–100 Gauss

Güneş lekeleri: 3000 Gauss

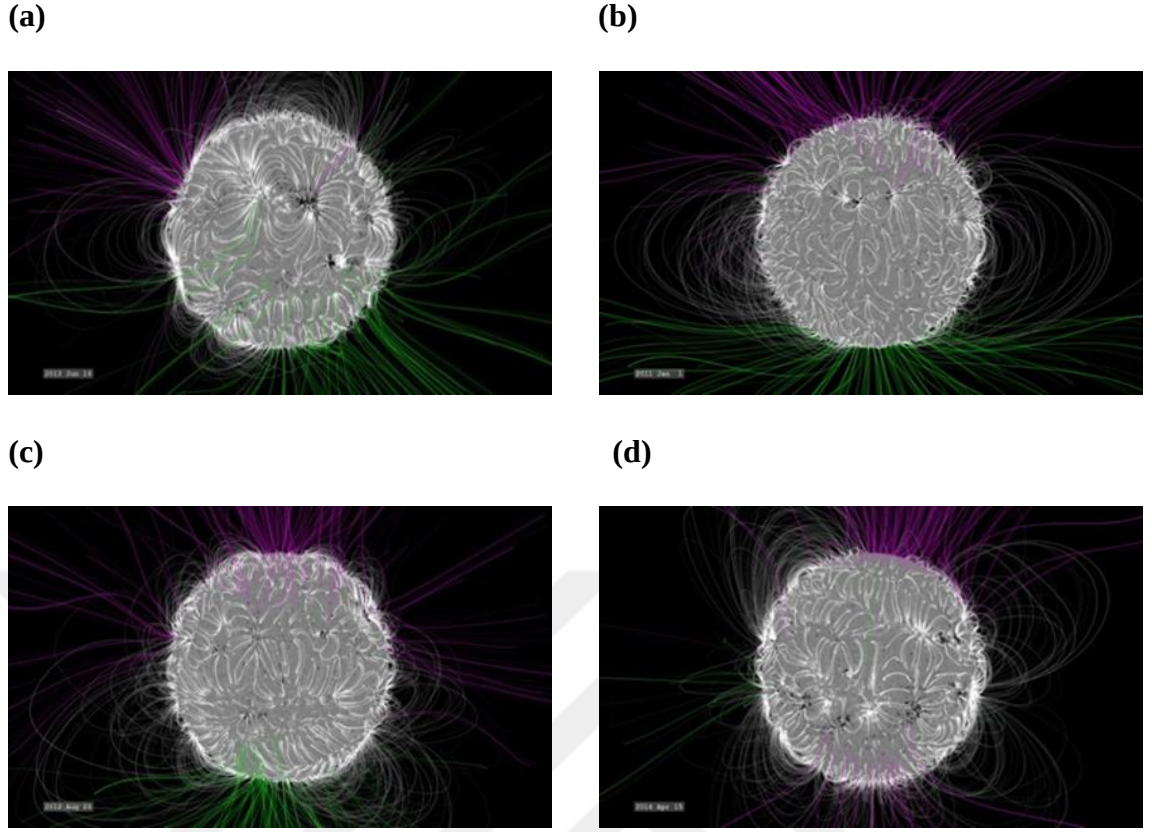
Kromosferik plajlar : 200 Gauss

olarak verilmektedir¹³.

Güneş'teki manyetik alan çizgileri ve bu çizgilerin 2011-2014 yılları arasındaki görünüşleri aşağıdaki gibidir (Şekil 2.7). Burada da görüldüğü gibi çizgiler zaman içerisinde durağan olmayıp sürekli değişim içerisinde. Aynı zamanda karmaşık yapıları da görsellerde görülmektedir.

¹² <https://www.weather.gov/fsd/sunspots>

¹³ <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.h>



Şekil 2.7. PFSS aracılığıyla güneş manyetik alanının yüksek çözünürlüklü hareketsiz görüntüsü.

(a) 1 Ocak 2011;

(b) 23 Ağustos 2012;

(c) 19 Haziran 2013;

(d) 15 Nisan 2014¹⁴.

Güneş Lekeleri teleskobun icadından bu yana (1610) düzenli olarak gözlenmektedir (Vaquero vd. 2009). Samuel Heinrich Schwabe gezegen keşfi için Güneş'te düzenli gözlemler yaparken Güneş çevrimine dair yeni bilgiler bularak Güneş lekelerinin sayısındaki düzenli değişimi ve bulgularını " 1843' te Güneş Gözlemleri " başlıklı kısa bir makalede yayınladı (Carrasco vd. 2015). Bugün lekelerin periyodikliği artık kesinleşmiştir ve bu sebeple Güneş leke çevrimi Schwabe çevrimi olarak da isimlendirilir.

¹⁴<https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4391>

Güneş lekeleri manyetik alan ve diferansiyel dönmenin bir sonucu olarak ortaya çıkar (Sherwood 2002). Bununla birlikte Güneş yüzeyinde meydana gelen Güneş patlamalarının ve püskürmelerin büyük bir bölümü Güneş lekelerinin yoğun olduğu bölgelerde gözlenir. Lekeler, Güneş diski üzerinde genellikle gruplar halinde gözlenirler. Yaşam süreleri birkaç günden birkaç aya kadar değişkenlik gösterir.

Güneş lekelerinin manyetik etkisinin varlığı G.E. Hale'nin keşfinden bu yana bilinmektedir. Bu manyetik etki güneş lekelerinin birincil nedeni olarak kabul edilmektedir. Çünkü, toplam manyetik alan Güneş yüzeyinde her zaman sıfırdır. Bu yüzden döngüler şeklinde patlamalar beklenir. Bu döngüler karakteristik bipolar yapıya yol açar. Buna Hale yasası adı verilmektedir (Hale vd. 1919). Ancak böyle bir yapı zorunlu değildir. Çoğu zaman bir kutbun akışı diğerinden daha yoğundur ve yalnızca tek kutuplu görünür nokta oluşur. Uygun manyetik alan ölçümleri olmasa bile bipolar karakter $H\alpha$ gözlemlerinden anlaşılır. Yapılan $H\alpha$ gözlemlerinde luplardaki akışların farklı yönlerde oluşu görülebilmektedir (Stix 1999).

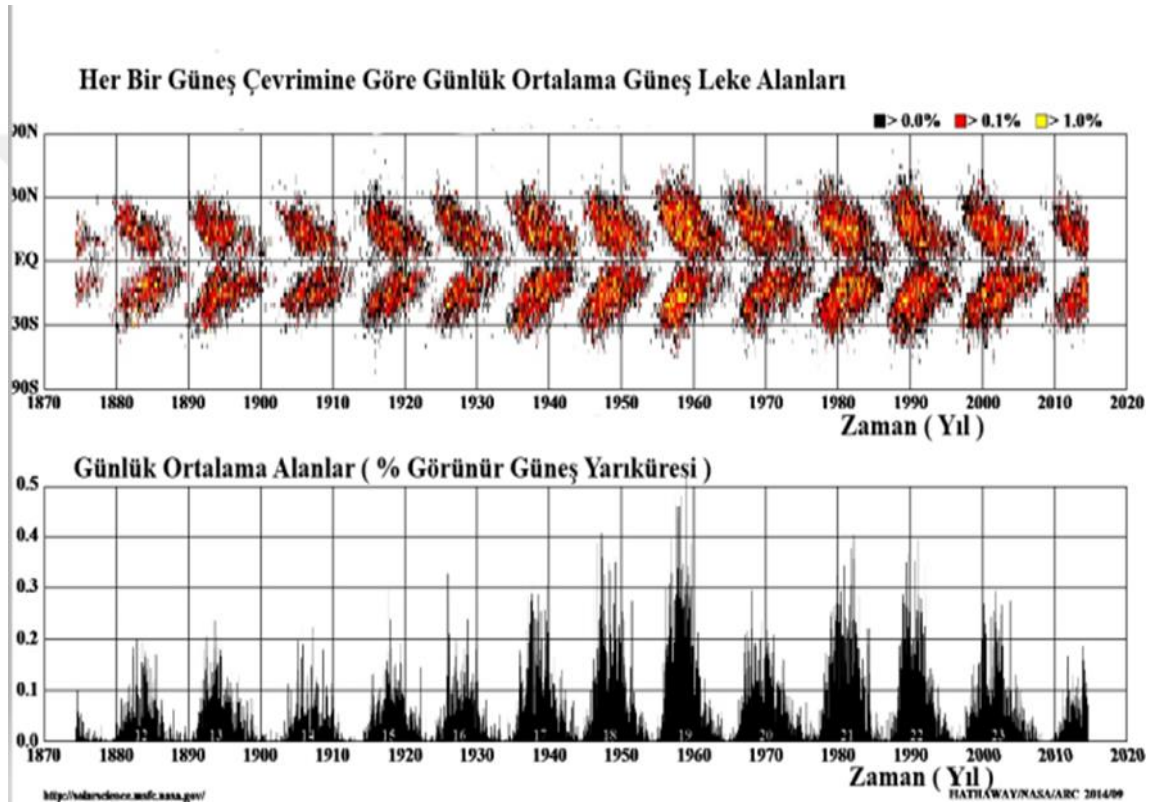
Güneş lekeleri umbra ve penumbra olmak üzere iki kısımdan oluşur. Ancak lekelerde her zaman penumbra olmak zorunda değildir. Lekeler diskin her yerinde oluşmaz ve genellikle $\pm 30^\circ$ ile 40° enlemleri civarında gözlemlenirler. Lekelerin konumu çevrim süresince farklı enlemlerde gözlenebilir.

Güneş lekelerinin büyüklükleri değişken olmakla birlikte, en büyüklerinin çapı, yaklaşık 50.000 km kadardır. Ortalama olarak birer Dünya boyutundaki bu lekelerin bir kısmını Güneş'in parlaklığını azaltacak uygun filtreler kullanarak çıplak gözle görmek mümkündür (Mossman 1989).

Işıkküre (fotosfer) üzerinde küçük, karanlık alanlar şeklinde görünmelerinin nedeni, üzerinde yer aldıkları ışıkküreden daha düşük sıcaklığa sahip olmalarıdır. Gözlenen Güneş lekelerinin sayısı değişkenlik gösterir ve bu sayılar; Güneş'te meydana gelen aktif olaylar; Güneş patlamaları, koronal kütle atımları ile yakından ilgilidir.

Bilinen en temel Güneş değişimi, 11 yıllık Güneş leke çevrimidir. Bu çevrimin minimumu olarak bilinen başlangıç döneminde gözlenen Güneş lekesi sayısı çok düşüktür hatta bazı günler hiç olmayabilir. Çevrimin ortalarında ise Güneş leke sayıları artar ve döngünün en yüksek leke sayıları gözlenir. Bu leke sayıları ile Güneş aktivitesi de paralellik göstermektedir.

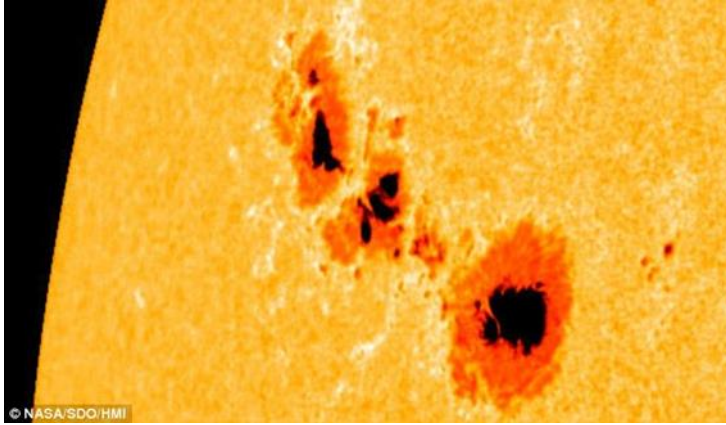
Ancak, çeşitli gözlemcilerden Güneş lekesi sayısı hakkındaki bilgileri derleme fikrini, 1848'de İsviçre'nin Zürih kentindeki Rudolf Wolf ortaya attı. Bugün Wolf tarafından ortaya atılan bu sayı uluslararası Güneş lekesi sayısı serisi olarak anılmaktadır (Clette vd. 2014). Çevrimin başlarında, Güneş lekeleri daha yüksek enlemlerde ortaya çıkar ve daha sonra Spörer yasasına göre döngü maksimuma yaklaştıkça ekvatora doğru hareket eder (Şekil 2.8). Spörer yasası, bir güneş döngüsü sırasında güneş lekesi enlemlerinin değişimini öngörür¹⁵. 24 Eylül 2011 tarihindeki bir aktif bölge Şekil 2.9 da verilmiştir.



Şekil 2.8. Üst panel güneş lekelerinin konumlarının enleme ve zamana bağlı değişimi (kelebek diyagramı) , alt panel güneş leke alanlarının zamana bağlı değişimi¹⁶

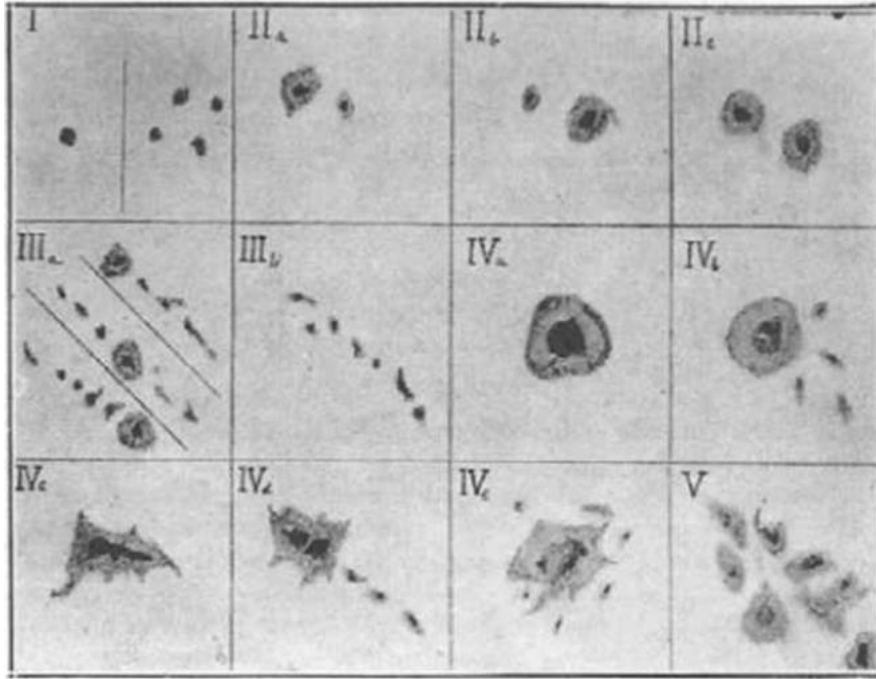
¹⁵Hopkins, Jeanne (1980). Astronomi ve astrofizik sözlüğü. Chicago: Chicago Üniversitesi Yayınları

¹⁶https://en.wikipedia.org/wiki/Sp%C3%B6rer%27s_law



Şekil 2.9. 24 Eylül 2011'deki aktif bölge NOAA AR11302 ¹⁷.

Cortie leke grubunun şekline ve evrimine göre ilk leke sınıflamasını yapmıştır. Cortie sınıflandırmasının amacı, Güneş leke gruplarında gözlenen tipik şekil ve kalıpları göstererek, bir leke grubunun evrimi boyunca geçtiği farklı evreleri tanımlamaya çalışmaktır. Cortie leke gruplarının boylamsal uzanımı ve umbra-penumbra durumuna göre bir leke sınıflaması yapmıştır (Cortie 1901). Cortie'nin Güneş leke sınıflandırmasına ilişkin bir resim şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Cortie Güneş leke gurubu sınıflandırması (Observatorio de Valencia, 1928) (Carrasco 2014).

¹⁷<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2042428/Best-auroras-seen-Britain-thanks-huge-solar-flares.htm>

Waldmeier 1947 yılında Cortie'nin çalışmasından da yararlanarak lekelerin evrimsel gelişimini gösteren bugün Zürich sınıflaması olarak bilinen tek boyutlu bir sınıflama yapmıştır (Waldmeier 1955). Zürich leke gurubu sınıflandırmasına ilişkin bir resim Şekil 2.11'de verilmiştir.

Bu sınıflamada;

A, tek kutuplu bir veya daha fazla penumbrasız lekeleri olan grup,

B, iki kutuplu penumbrasız leke grubu,

C, iki kutuplu, grubun sadece bir ucunda (ön veya arkada) penumbralı lekeleri var olan grubu,

D, iki kutuplu, grubun ön ve arka kısmında penumbralı lekeleri var olan, uzanımı 10° 'den küçük grubu,

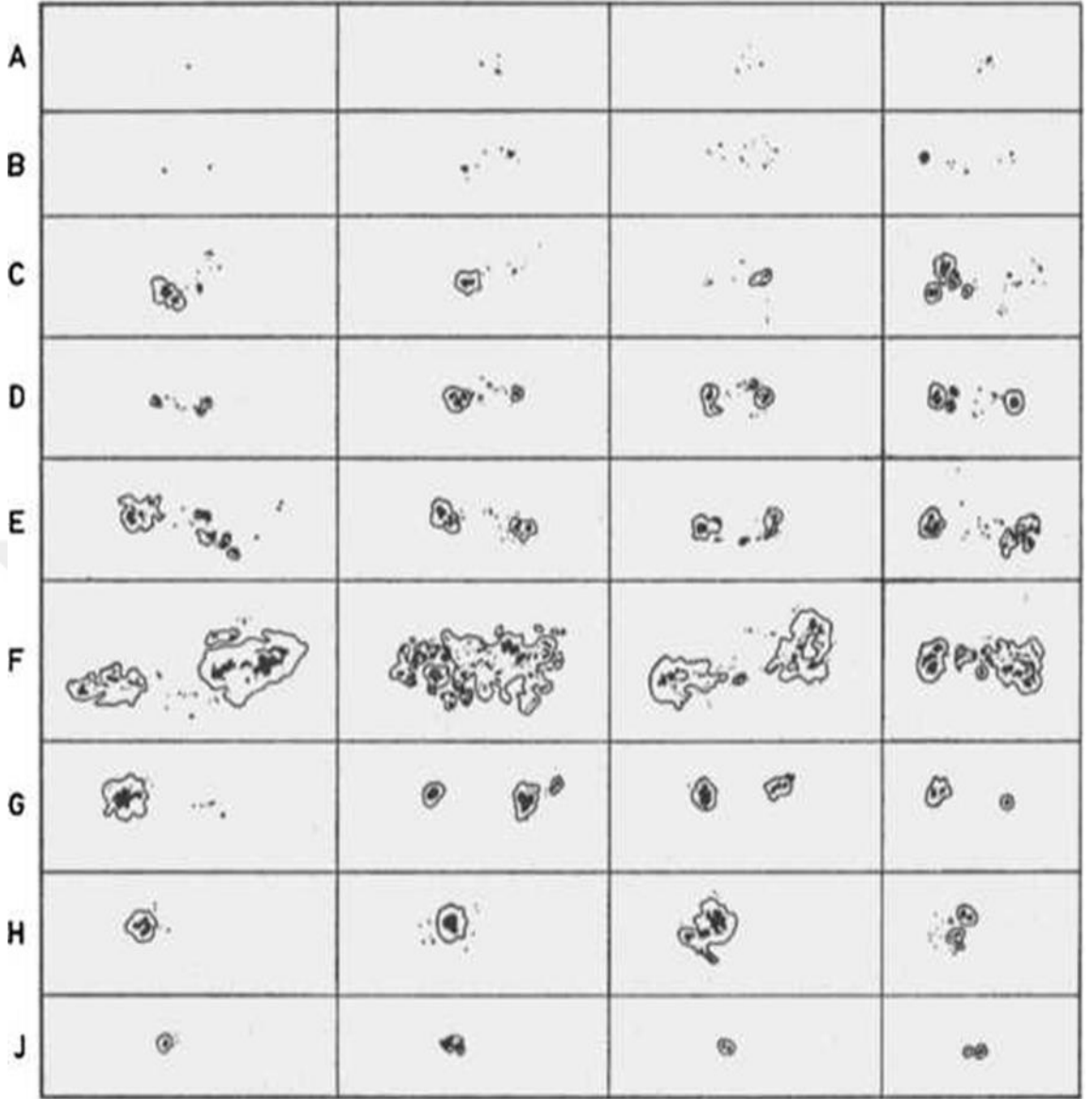
E, iki kutuplu, grubun ön ve arka kısmında penumbralı lekeleri var olan, uzanımı 10° - 15° arası grubu,

F, iki kutuplu, grubun ön ve arka kısmında penumbralı lekeleri var olan, uzanımı 15° 'den büyük grubu,

G, ön ve arka lekeler arasından leke olmayan iki kutuplu penumbralı uzanımı 10° 'den büyük grubu,

H, tek penumbralı leke, çapı 2.5° 'den büyük grubu,

J, tek penumbralı leke, çapı 2.5° 'den küçük grubu temsil etmektedir.

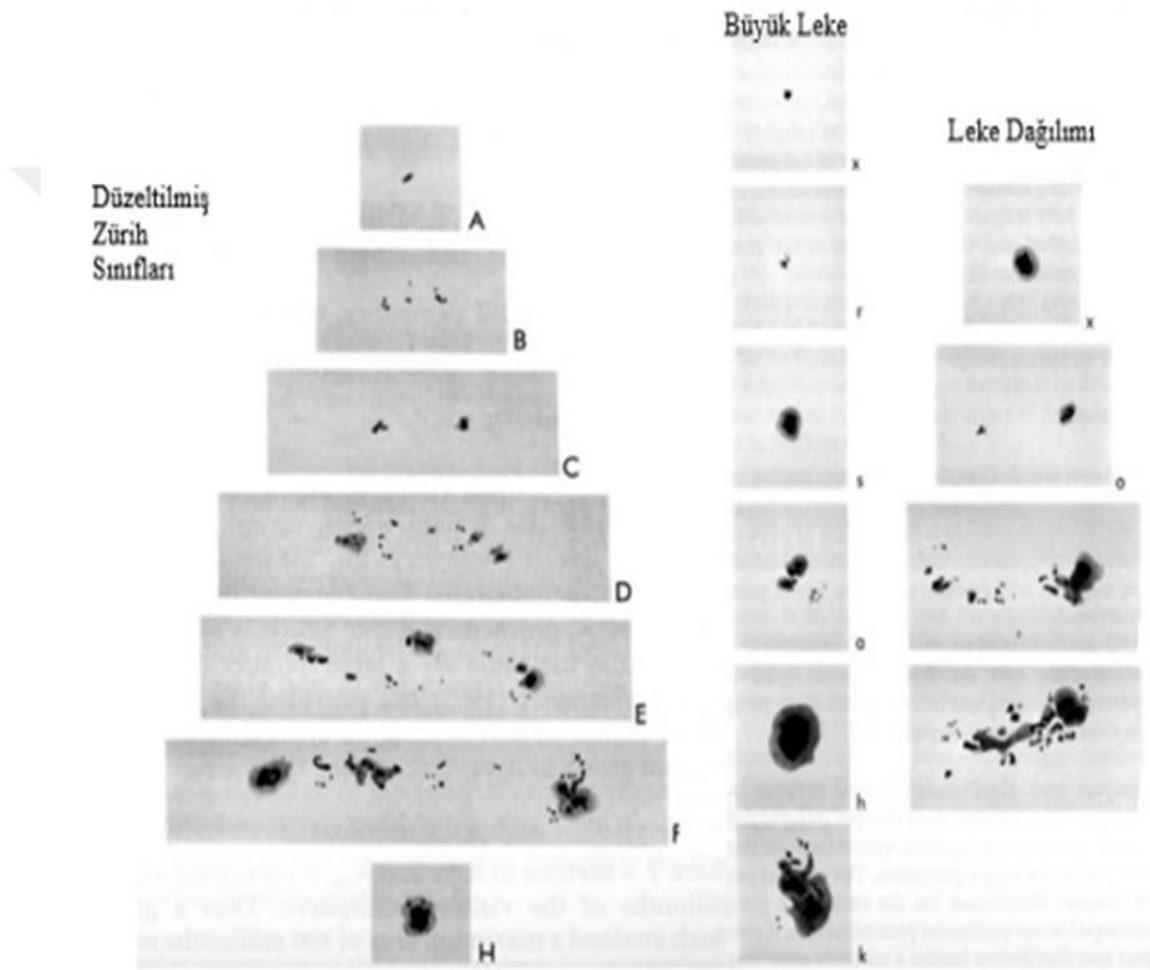


Şekil 2.11. Zürich leke grubu sınıflandırması (Bray vd. 1964).

McIntosh Zürich sınıflandırmasını yapılandırarak üç parametrelili bir sınıflama yapmıştır (McIntosh 1990). McIntosh'un bu sınıflandırmayı gözlemciler için gözledikleri lekelerin sınıflandırmasını daha kolay olmasını hedefleyerek yaptığını ifade etmiştir (Carrasco vd. 2015).

Bu sınıflandırma üç temel parametreye dayanır; sınıflamanın birinci parametresi grubun şeklini, ikinci parametre grubun en büyük lekesinin tipini ve üçüncü parametre de gruptaki ara leke dağılımını tanımlamaktadır.

Sınıflamanın birinci parametresi G ve J grupları çıkarılmış Zürich sınıflamasıdır. Buna göre McIntosh, birinci parametrede Zürich sınıflamasındaki A, B, C, D, E, F, ve H harflerini kullanmıştır. İkinci parametre X, R, S, A, H ve K,    nc  parametre X, O, I, C harflerinden oluşmaktadır. Leke grupları, bu    parametreden gelen harflerin arka arkaya eklenmesi şeklinde sınıflandırılmıştır (AXX, FKC, DAO gibi) . Modifiye edilmiş Zürich leke sınıflandırmasına ilişkin bir resim şekil 2.12’de verilmiştir



şekil 2.12. Modifiye edilmiş Zürich leke sınıflandırması¹⁸ (McIntos Sınıflandırması; McIntos 1990) .

¹⁸<https://britastro.org/2020/determining-the-quality-number-of-a-sunspot-group>

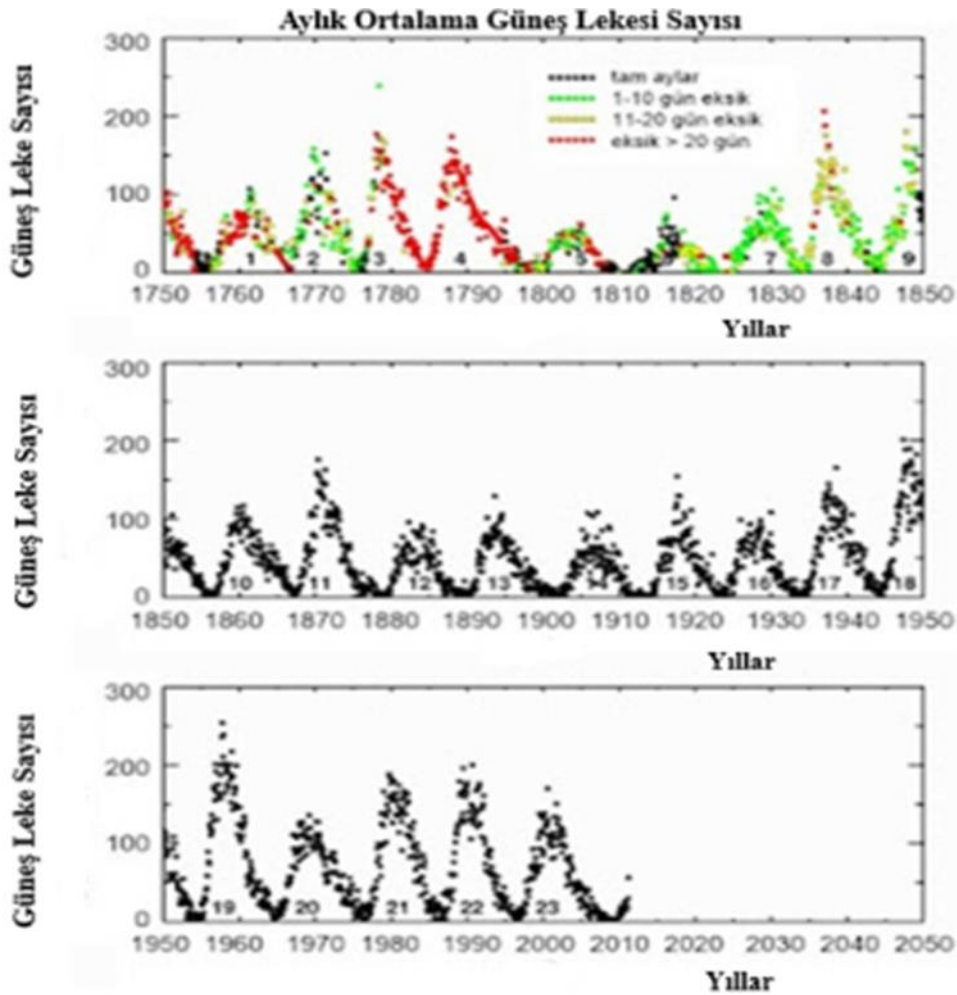
Rudolf Wolf, günlük güneş leke aktivitesini tanımlamak için rölatif sayı olarak isimlendirilen;

$$R = k (10g + f)$$

şeklinde bir bağıntı geliştirmiştir.

k; gözlem yeri, gözlemci ve atmosfer koşulları gibi etmenleri içeren 0-1 arasında değişen bir düzeltme parametresidir **g**; söz konusu gün için gözlenen toplam leke grubu sayıdır ve **f**; ayrı ayrı gözlenen lekelerin toplam sayısını ifade eder.

Wolf Sayısı; Zürih sayısı veya Uluslararası Güneş leke sayısı olarak da bilinmektedir. Günümüzde, Güneş aktivitesini tanımlamak için Wolf sayısı kullanılır.

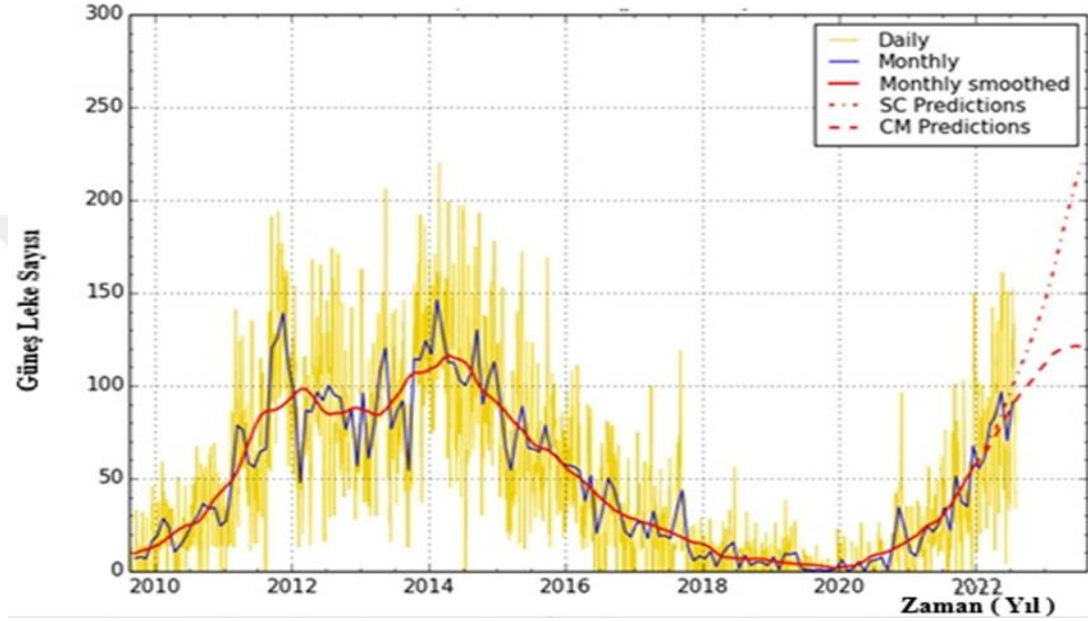


Şekil 2.13. 1750'den başlayarak Güneş leke sayılarının zamanla değişimi¹⁹.

¹⁹tr:nl:Afbeelding:Zürich 1750'den beri güneş lekesi sayısı.png

Uzun Dönem Güneş Lekesi Verileri

Güneş lekelerinin ilk çizimleri Aralık 1128'de İngiliz keşiş John of Worcester tarafından yapılmıştır²⁰. Güneş lekelerinin ilk teleskopik gözlemleri ise Aralık 1610'da İngiliz astronom Thomas Harriot tarafından yapılmıştır²¹ (Chapman 2008). O tarihlerden bu yana leke verileri düzenli olarak kaydedilmektedir. 1970 yılından başlayarak günümüze kadar Güneş leke sayılarının zamanla değişimini gösteren bir görsel Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.14. Günlük ve aylık Güneş leke sayılarının zamana göre değişimi (son 13 yıl).

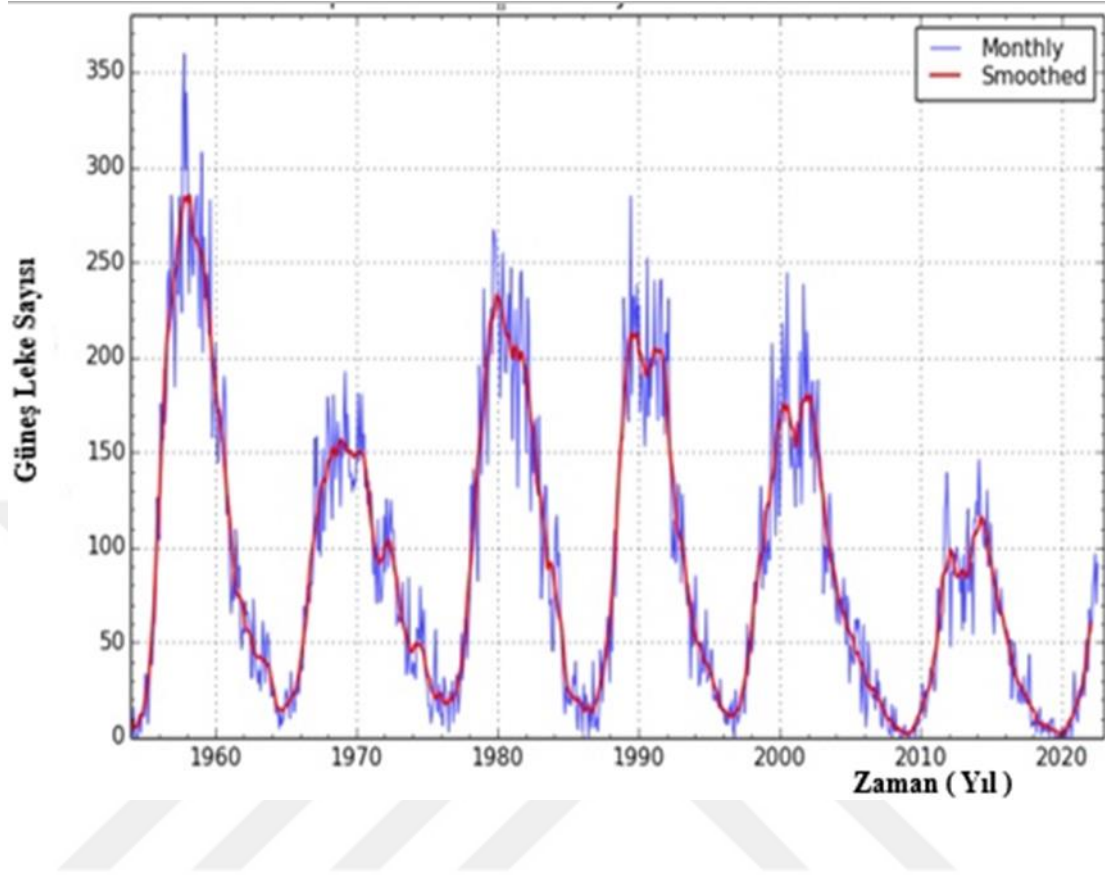
Son 13 yıl boyunca günlük ve aylık güneş leke sayılarının zamana göre değişimi Şekil.2.14'te verilmiştir. Günlük Güneş lekesi sayısı (sarı), aylık ortalama Güneş lekesi sayısı (mavi), 13 adımda yürüyen ortalama kullanılarak düzeltilmiş aylık Güneş lekesi sayısı (kırmızı) ve aylık düzeltilmiş Güneş lekesi sayısına ilişkin 12 aylık tahminler: SC (kırmızı noktalar): Waldmeier' in standart eğrilerinin enterpolasyonuna dayanan tahmin yöntemi; Sadece Güneş lekesi sayı serisine dayanmaktadır. CM (kırmızı çizgiler) : güneş lekesi sayı serilerine uygulanan bir regresyon tekniğini öncü olarak kullanılan jeomanyetik indeks ile birleştiren yöntem (Denkmayr ve Cugnon'dan)²². Son 6 döngünün verileriyle oluşturulmuş uzun dönemli Güneş leke sayılarına ait bir görsel Şekil 2.15'te verilmiştir.

²⁰ <https://www.ccc.ox.ac.uk/illustrations-john-worcesters-chronicle-england-ccc-ms-157>

²¹ <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2008JBAA..118..315C>

²² <https://www.sidc.be/silso/ssngraphics>

Daha uzun süreli leke sayılarına bakacak olursak,



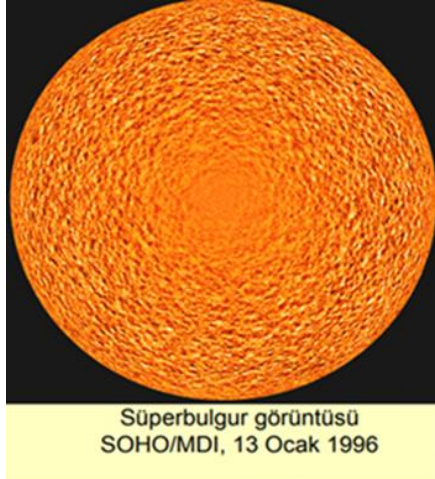
Şekil 2.15. Son altı döngünün verileriyle oluşturulmuş uzun dönemli Güneş leke aktivitesi. Son altı döngü için aylık ortalama Güneş lekesi sayısı (mavi) ve 11 adımda düzeltilmiş Güneş lekesi sayısı (kırmızı)²³.

2. Granülasyon (Bulgurlanma)

Yüksek ayırma gücü olan bir teleskopla Güneş'e bakıldığında tüm Güneş yüzeyini kaplayan tanecikli yapıya granülasyon adı verilir. Granül hücreleri fotosferin tabanını temsil eder. Boyutları 1-2 yay saniyesi mertebesinde. Yaşam süreleri ortalama 10 dakikadan azdır.

Granül hücrelerinin hareketi kaynayan suya benzer. Hücreler aşağıdan yukarıya doğru hareket eder ve orada enerjisini bırakarak tekrar aşağı döner. Granül hücrelerinin merkezleri kenarlarına göre daha parlaktır. Güneş süper granül görüntüsü Şekil 2.16'da verilmiştir.

²³<https://www.sidc.be/silso/ssngraphic>



Şekil 2.16. Güneş süper granül görüntüsü²⁴.

3.Fotosferik Plaj Alanları

Güneş lekeleri civarında ve manyetik alanın yoğunlaştığı yerlerde görülür. Ortalama manyetik alanları birkaç 100 Gauss mertebesindedir. Yaşam süreleri Güneş lekelerinden uzundur. Fotosferik plaj alanları manyetik alanlarla ilişkilidir (Babcock vd. 1955).

Kromosfer (Renk Küre)

Güneş'in kromosferi, Güneş atmosferindeki üç ana katmandan ikincisidir. Fotosferin üzerinde başlar, yaklaşık 2500 km kalınlığa sahiptir. Bu tabakada sıcaklık yükseklikle artar. Ancak artış hızı bölgeden bölgeye farklılık gösterir. Kromosfer Güneş'in iç kısmından en dış tabaka olan korona tabakasına ısı iletiminde rol almaktadır. Kromosfer, yoğunluğu ve sıcaklığı birbirinden farklı üç tabakadan oluşmaktadır. Bunlar; alt, orta ve üst tabakalardır. Sıcaklık alt tabakada yaklaşık 4300 Kelvin iken üst kromosfer tabakasında yaklaşık 20000 Kelvin civarındadır. Alt kromosferin kalınlığı birkaç yüz metredir ve sıcaklık 4300 Kelvin dereceden tabakanın üst kısımlarında 6000 Kelvin dereceye ulaşır. Bu tabaka en iyi H α çizgisinde gözlemlenir. Orta kromosfer kalınlığı 1000 km civarındadır ve bu katmanda sıcaklık yükseklikle birlikte yavaş şekilde artar. 4300 Kelvin derece seviyesindeki sıcaklık, bu tabakanın üst bölgesinde 10000 Kelvin derece civarına ulaşır. Bu tabaka en iyi CaII'nin K çizgisinde gözlemlenir. Üst kromosfer orta kromosferin bitiminden başlayarak geçiş bölgesine kadar uzanır ve ortalama kalınlığı yaklaşık 500 km olup sıcaklık burada 50000 K civarına ulaşır (Kılçık 2002).

²⁴<https://sci.esa.int/web/soho/-/32728-mdi-observations-of-supergranulation>

Kromosfer, Güneş tutulması sırasında kırmızımsı bir renkte görülür. Bu kırmızılık özellikle tayfındaki en şiddetli çizgilerden biri olan H α (656.3 nm)'dan dolayıdır. Bu çizgi, elektronu n=3'ten n=2 enerji düzeyine her geçiş yaptığında bir hidrojen atomu tarafından yayınlanır²⁵. Spektrumun kırmızı kısmında 656.3 nm'lik bir dalga boyu bulunur, bu da kromosferin karakteristik kırmızımsı bir renge sahip olmasına neden olur. Kromosfer hakkında elektromanyetik radyasyonun analizi ile bilgi edinilmektedir (Jess vd. 2015).

Kromosfer tabakasının yoğunluğu çok düşüktür ve fotosferden gelen radyasyona karşı geçirgendir bu yüzden normal şartlarda gözlenmez. Ancak, tam tutulma başlangıcı ve bitişinde gözlemlenir. Fotosferden yayılan bazı dalga boyundaki ışınları soğurur bundan dolayı bu dalga boyuna duyarlı filtreler kullanılarak kromosfer gözlemlenir. Bunlardan başlıcaları: H α , CaII, H ve K çizgileridir.

Kromosfer tabakasında gözlenen başlıca yapılar:

1. Patlamalar:

Patlamalar, Güneş yüzeyinde gözlemlenen ani parlaklık artışlarıdır. Patlamanın olduğu bölgede sıcaklık birkaç saniyede milyonlarca Kelvin dereceye kadar çıkabilir. Buna bağlı olarak patlama sırasında yaklaşık 10^{26} Joule enerji yayınlanır. Genellikle patlamalar Güneş lekesi civarında gerçekleşir ve bu patlamalar esnasında elektromanyetik spektrumun tüm dalga boylarında enerji yayınlanır. Güneş patlamalarının 2 sebebi vardır. Bunlar: Manyetik yeniden bağlanma (reconnection) ve manyetik alan şiddetinin, içerideki basınca dayanamayıp kırılmalarıdır. Patlamaların oluş sıklığı Güneş leke çevrimiyle paralellik gösterir. Güneş patlamaları hem görsel hem de X ışınlarında gözlemlenir. Görsel bölgede en iyi H α ile gözlemlenir. Bazı patlamalar CME'leri (Coronal Mass Ejections) tetikleyici olabilmektedir.

2. Filamentler:

H α 'da Güneş diskinin kenarında manyetik alan luplarıyla, Güneş diski üzerinde asılı duran düşük yoğunluklu yapılardır. Güneş diski üzerinde uzun ince şeritler halinde bulunurlar. Genellikle Güneş patlamaları ile ilişkilidirler. Yaşam süreleri birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişiklik gösterir. Bu yapılar en iyi H α ve CaII'nin H ve K çizgilerinde gözlenmektedirler (Eren 2017).

²⁵<https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>

3. Prominensler:

Güneş diski üzerinde koyu ince uzun şeritler olarak gözlenen yapılar filament olarak adlandırılırken bu yapılar disk kenarında gözlendiğinde ise prominens olarak adlandırılırlar. Güneş'in yüzeyinden dışarıya doğru çıkıntılar şeklindedirler. Bu çıkıntılar genellikle halka şeklinde plazma ve manyetik alandan oluşmaktadır. Korona bölgesi çok sıcak plazmalardan oluşurken bu çıkıntı yapılar görece daha soğuk plazma içeren bölgeler olmaktadır.

4. Kromosferik Plaj Alanları:

H α 'da Güneş diskine bakıldığında Güneş lekeleri civarındaki parlak alanlardır. Faküla veya meşale alanları da denir. Genellikle leke gruplarının etrafında bulunmaktadır. Ancak tüm plaj alanlarında leke grubu gözlenmez. Kromosferik plaj alanları Güneş leke çevrimini takip eden bir düzende hareket ederler. Bu yapılar özellikle H α ve CaII'nin H ve K çizgilerinde gözlemlenmektedir.

5. Kromosfik Ağ Yapı:

H α ve UV çizgisi emisyonunun da en kolay gözlenen ağ benzeri yapılarıdır. Yoğunlaşan manyetik alan çizgileriyle süper granül hücrelerinin ana hattını çizer. Aktif bölgeler ve çevresinde görünür. H α , CaII ve K çizgilerinde gözlemlenir. Yaşam süreleri etrafında bulundukları süper granül yaşam süreleri ile ilişkilidir ve yaklaşık 20 saat civarındadır (Simon vd. 1964).

Geçiş Bölgesi

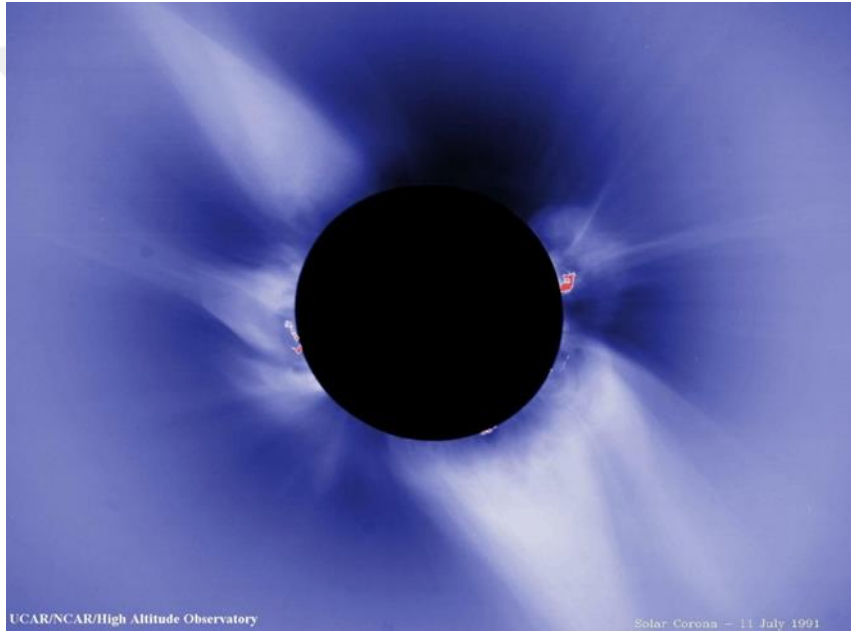
Güneş'in kromosfer ile korona arasındaki bölgesidir. Kalınlığı 100 km'nin altındadır. Kromosferin üst kısımlarında 10 binler mertebesinde olan sıcaklık, korona bölgesinde birkaç milyon Kelvin dereceye ulaşır. Bu bölgede henüz açıklanamamış fiziksel olayların bu ani sıcaklık artışına sebep olduğu düşünülmektedir.

Hidrojen bu sıcaklıklarda iyonize olur ve bu nedenle görülmesi zordur. Hidrojen yerine, geçiş bölgesi tarafından yayılan ışığa C IV, O IV ve Si IV (her biri üç elektron kaybetmiş karbon, oksijen ve silikon) gibi iyonlar hakimdir. Bu iyonlar, Güneş spektrumunun yalnızca uzaydan erişilebilen ultraviyole bölgesinde ışık yayar²⁶.

²⁶ https://solarscience.msfc.nasa.gov/t_region.shtml

Korona

Güneş'in en dış atmosferidir. Güneş rüzgarları ile Dünya'ya kadar uzanır. Kromosferdeki sıcaklık 10^4 Kelvin derece civarında iken, koronada 10^6 Kelvin derece mertebesinde. Bu yüksek sıcaklık sebebi ile atomların çoğu iyonize olmuş durumdadır. Koronada sıcaklık ve yoğunluk Güneş'ten uzaklaştıkça hızlıca azalır. Yoğunluğun çok düşük olması sebebiyle ancak tam Güneş tutulmaları esnasında veya koronagraf denilen özel aletlerle gözlemlenir. Koronanın şekli, Güneş aktivitesine bağlı olup çevrimin maksimum evresinde kutuplardan basık ekvator boyunca uzamış görüntü verirken, minimum evresinde neredeyse dairesel bir yapıya sahiptir. Tam Güneş tutulması sırasında Güneş koronası çıplak gözle görülebilir. Güneş korona bölgesinin Güneş tutulması sırasındaki bir görüntüsü Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17. Güneş korona bölgesinin Güneş tutulması sırasındaki görüntüsü²⁷.

Koronada gözlemlenen yapılar:

1. Koronal Luplar:

Aktif bölgeler ve Güneş lekeleri civarında bulunurlar. Kapalı manyetik alan çizgilerinin bir tezahürüdürler. Yaşam süreleri lupun kararlı olup olmamasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bazıları kısa bir süreliğine gözlenirken bazıları günler veya haftalarca yaşayabilmektedir.

²⁷<https://solarscience.msfc.nasa.gov/corona.shtml>

2. Koronal Delikler:

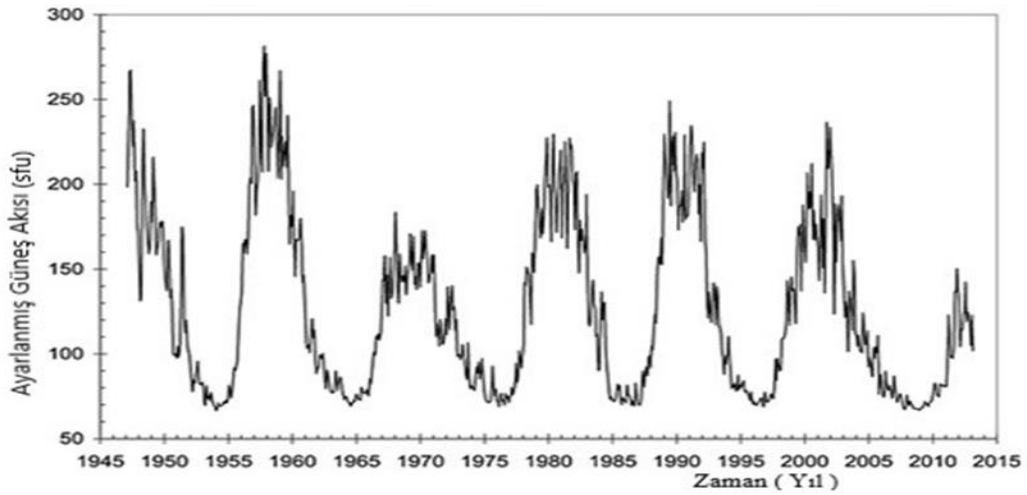
Güneş diskinin genellikle kutup bölgeleri civarında, çevresine göre koyu renkte gözlemlenen yapılardır. Manyetik alanın zayıf olduğu bölgelerdir ve X ışınları gözlemi ile gözlemlenebilmektedirler. Koronal delikler açık manyetik alan çizgileri ile ilişkili olup madde buradan uzaya kaçır ve hızlı Güneş rüzgarlarının kaynağı olarak görülmektedir (Bravo vd. 1997).

3. Helmet Streamers (Miğferimsi yapılar):

Güneş lekeleri veya aktif bölgelerde uzanan yapılardır. Bu bölgeler kapalı manyetik alan içerisinde hapsolmuş Güneş maddesi ile doludur. Beyaz ışıktaki çekilmiş tam tutulma görüntülerinde görülürler.

2.1.3. $F_{10.7}$ Güneş Radyo Akısı:

10.7 cm Güneş radyo akısı ölçümü, 2800 MHz (10.7 cm dalga boyu) merkezli 100 MHz genişliğinde bir bantta bir saat boyunca ortalama olarak güneş radyo emisyonunun gücünün belirlenmesidir (Tapping 2013). Genellikle $F_{10.7}$ indeksi olarak adlandırılan 10.7 cm Güneş radyo akısı ($F_{10.7}$) Güneş aktivitesinin en yaygın kullanılan indekslerinden biridir ve Güneş aktivitesinin mükemmel bir göstergesidir. Birçok Güneş indeksinden farklı olarak, $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı, her türlü hava koşulunda, Dünya yüzeyinden 1947 yılından beri günlük olarak güvenilir bir şekilde ölçülmektedir. 1947'den beri Güneş $F_{10.7}$ radyo akısı verilerinin aylık ortalaması Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. 1947'den beri ayarlanmış (1 AU'luk bir Dünya-Güneş mesafesi için ölçeklendirilmiş) $F_{10.7}$ değerlerinin aylık ortalamaları²⁸.

²⁸ <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/swe.20064>

2.2. İklim ve İklim Değişikliği

İklim, herhangi bir bölgede uzun yıllar boyu ortak gözlenen etkiler (sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgâr, yağış, yağış şekli) sonucu ortaya çıkan meteorolojik duruma verilen addır. İklim buradan da anlaşılacağı gibi hava durumu kavramından farklıdır. Hava durumu kavramı daha kısa süreli veriler için kullanılan bir terimdir, iklim ise uzun vadedeki verilerin ortalaması ile elde edilir. İklim, bu uzun vadede ekstrem durumlar arasında kalmaktadır. İklim değişikliği, ortalama koşulların değişimiyle birlikte daha önemlisi ekstrem değerlerin yenilenme ve yenilenme frekansının (sıklığının) artışı ve sürekliliği ile anlaşılır. Burada uzun yıllardan kasıt 300–500 yıl gibi uzun iklim döngüleridir. Bir yerin iklim koşullarının belirlenebilmesi için en az 30 yıllık gözlem değerlerine gereksinim vardır²⁹.

İklim üzerinde etkisini gösteren ekstrem durumlar tarih boyunca mevcuttu. Ancak ekstrem durumların oluşumu ve sıklığı sanayi alanındaki gelişmelerin ortaya çıkmasıyla boyut değiştirdi. Sanayi devrimi öncesi iklim değişiminde etken olan Güneş aktivitesiyle bu konuda da birçok çalışma halen mevcut, sanayi gelişimi sonrasında sera gazı ve aerosoller başrolü almaya başlamıştır (IPCC 5 2014). Bugün sera gazlarından önemli biri olan CO₂ salınımı rakamları 410 ppm seviyelerine ulaşmış, 1880 yılından bu yana küresel sıcaklık değeri 1.01°C artış göstermiştir³⁰.

Endüstriyel devrim öncesi yaşanmış iklim değişiklikleri tamamen doğal kaynaklıydı. Güneş aktivite değişimleri, atmosferdeki gazların bileşimleri, kara, yanardağ patlamalarının yaydığı tozlar ve okyanuslardaki faaliyetler tamamıyla bir denge içindeydi. Bu denge içinde buzul çağları ve daha sıcak periyotlar da yaşanmıştır. Güneş aktivitesi ile doğal iklim değişiklikleri arasında bir ilişkinin varlığı hala araştırmalara sıkça konu olmaktadır. Tarihe bakıldığında daha önce yaşanan sıcaklıkların uzun vadeli ortalamasının altında olduğu Küçük Buzul Çağı ile Güneş lekelerinin nadir görüldüğü "uzun süreli güneş lekesi minimumu" olarak da bilinen Maunder Minimumu döneminin aynı dönemlerde gerçekleşmesi aralarında ilişkinin varlığı hakkında bir kanıt olarak görülmüş ancak bu konuda hala kesin bir ilişki ortaya konulamamıştır (Eddy 1976).

²⁹<https://mgm.gov.tr/iklim/iklim.aspx?key=B>

³⁰<https://climate.nasa.g>

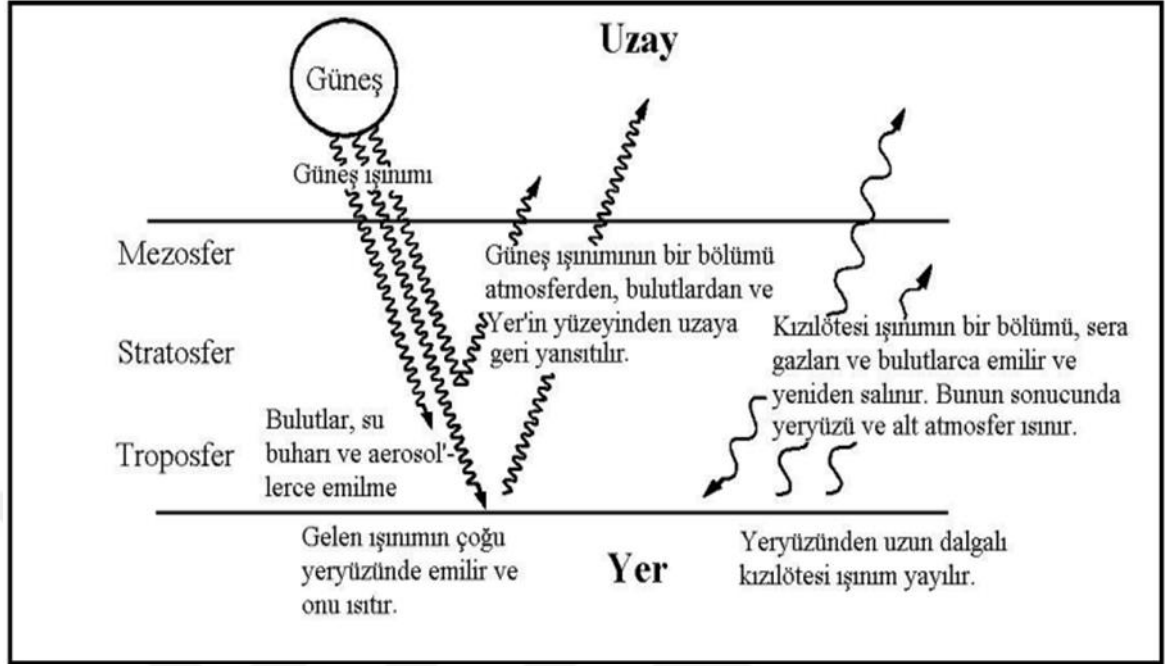
IPCC (Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli) raporlarına bakıldığında bu durumun dünyamızdaki yaşamı ne derece zora soktuğunu göstermekte ve bu anlamda alınacak önlemler belirtilmektedir. Ancak tedbirler tam anlamıyla gerçekleştirilemezse bu oranlarda sera gazı salınımlarının gelecekte oluşturacağı etkiler merak konusudur.

Bu bağlamda, içinde bulunduğumuz durumda sera gazı ve aerosollerin iklim değişimine etkisini hesaplamak gelecekte oluşabilecek daha yüksek seviyelerdeki hesaplamalar için referans niteliğinde olacaktır. Elbette ki Güneş aktivitesindeki değişim var olduğu sürece iklim değişimine olan katkısı da her zaman araştırmalara katılması gereken bir faktördür.

Küresel ısınmayı kontrol altında tutmak için Paris Anlaşmasında 1.5°C ile belirlenen sıcaklık değişimi değerine uymanın önemi IPCC tarafından 2018'de çıkarılan raporda da ele alınmaktadır. Isınmanın 1,5°C ile sınırlandırılması, 2030 yılına kadar emisyonların yarıya indirilmesini ve 2050 yılına kadar net sıfır emisyon elde edilmesini gerektirecektir (Rogelj vd. 2018). Ancak yapılan çalışmalar bu değerin aşılabileceği yönündedir. Şayet bu değerin üzerinde artış gözlenirse, istenmeyen doğa olaylarının görülmesine neden olabileceği öngörülmektedir (IPCC 5 2014).

2.2.1. Dünya'nın Isıl Dengesi

Dünyaya, Güneş'ten gelen enerji ile Dünya'dan uzaya tekrar geri gönderilen enerji arasında dengededir. Güneş'ten Dünya'ya her dalga boyunda ışıınım gelmektedir. Ancak gelen enerjinin bir kısmı bulutlar ve atmosfer tarafından geri yansıtılır. Dünya'ya ulaşan kısmın da bir bölümü yeryüzü tarafından emilirken bir kısmı yine uzaya geri yansıtılır. Bu tutulan ve yansıtılan enerji oranları Şekil 2.19'da verilmektedir. Aynı zamanda Dünya da yaptığı ışıınma ile bir miktar enerji kaybetmektedir. Atmosferimizdeki oksijen ve Azot gibi gazlar bu ışıınıma karşı saydamken karbondioksit, metan vb. gazlar opaktır ve ışıınların geçişine izin vermez. Bu sera gazlarının oranı arttıkça Dünya'dan uzaya geri dönecek ve Dünya'nın ısııl dengesini sağlayacak ışıınlar tekrar tekrar Dünya'ya dönerek atmosferde fazla ısıının depo edilmesine, dolayısıyla küresel ısınmaya sebep olmaktadır.



Şekil 2.19. Sera etkisinin şematik gösterimi (WHO, 1996'ya göre Türkes, 2000; Türkes vd. 2000) ³¹.

2.2.2. İklim Değişimini Yönlendiren Etmenler

Küresel iklim değişimini yönlendiren etmenler,

1. Güneş ışınlamındaki değişiklikler
2. Sera gazı birikimlerindeki değişimlerin boyutları
3. Aerosol parçacıklarının küresel iklim üzerindeki etkileri şeklinde sınıflandırabiliriz.

Güneş Işınımındaki Değişimler

Güneş enerjisi sabiti; yer atmosferinin hemen dışında birim yüzeye, dik olarak, birim zamanda gelen, bütün dalga boylarındaki Güneş enerjisidir ve değeri yaklaşık 1366 W/m²'dir. Bu değer yer atmosferinin hemen dışında yapılan ölçümdür, çünkü yer atmosferi gelen ışınlamın çok büyük kısmını (dalga boyuna göre) engeller ya da yansıtır.

³¹<https://dergipark.org.tr/tr/download/issue-full-file/54706>

Güneş sabiti için ilk hesaplama çalışmasını 1838'de Claude Pouillet yaptı ve Güneş sabitinin ilk tahmini değerini ortaya koydu. Geliştirdiği çok basit bir pirheliometreyi kullanarak, mevcut tahmine yakın 1.228 W/m^2 'lik bir değer elde etti³². Daha sonra birçok hesaplama yapılmaya çalışıldı ancak tam sonuç elde edilemedi. 1978'de Güneş ışınımının uzay tabanlı gözlemleri başladı. Bu ölçümler Güneş sabitinin sabit olmadığını ve 11 yıllık Güneş leke döngüsüne göre de değiştiğini gösterdi.

Güneş ışınımındaki değişimler için zamanda geriye giderken, son 400 yıldır kaydedilen Güneş lekeleri veya çok daha eski veriler örneğin 10.000 yıl geriye gitmek için kozmojenik radyonüklitler kullanarak ışınım rekonstrüksiyonlarına bakılır (Şekeryapan, 2018). Bu tür rekonstrüksiyonlar Güneş ışınımının belirli periyodikliklere göre değiştiğini göstermektedir. Bu döngüler şunlardır: 11 yıl (Schwabe döngüsü, Schwabe 1844), 88 yıl (Gleisberg döngüsü, Gleissberg 1944), 208 yıl (DeVries döngüsü, Anne vd. 2020) ve 1.000 yıl (Eddy döngüsü, Eddy 1976) döngüleridir.

Güneş Enerjisi Sabiti Hesaplaması;

$$P_{\text{sun}} = \sigma T^4$$

$$P_{\text{sun}} = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4 \times (5777\text{K})^4 = 4.31 \times 10^7 \text{ W/m}^2$$

$$P_{\text{sun}} = 4.31 \times 10^7 \text{ W/m}^2 \times 4\pi r^2 = 3.85 \times 10^{24} \text{ W}$$

$$P_{\text{sun}} = 3.85 \times 10^{24} \text{ W elde edilir.}$$

Güneş'in çapı (r): $1.393 \times 10^9 \text{ m}$, Güneşin yüzey sıcaklığı: 5777 K , $\sigma : 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ olarak alınmıştır.

Sonra elde edilen değer formülde yerine konularak;

$$I = P_{\text{sun}} / 4\pi R^2$$

$$I = 3.95 \times 10^{26} \text{ W} / 4\pi (1.5 \times 10^{11} \text{ m})^2$$

$$I = 1370 \text{ W/m}^2 \text{ elde edilir.}$$

Dünya güneş uzaklığı (R): $1 \text{ AU} = 1.496 \times 10^9 \text{ m}$, π : 3,14 olarak alınmıştır.

Güneş sabiti, sadece görünür ışığı değil her türlü Güneş radyasyonunu içerir. Bu değer Yer-Güneş uzaklığına bağlı olduğundan, Dünya yörüngesi de eliptik olduğundan, sürekli değişir.

³²https://fr.wikipedia.org/wiki/Claude_Pouillet

Sera Etkisi

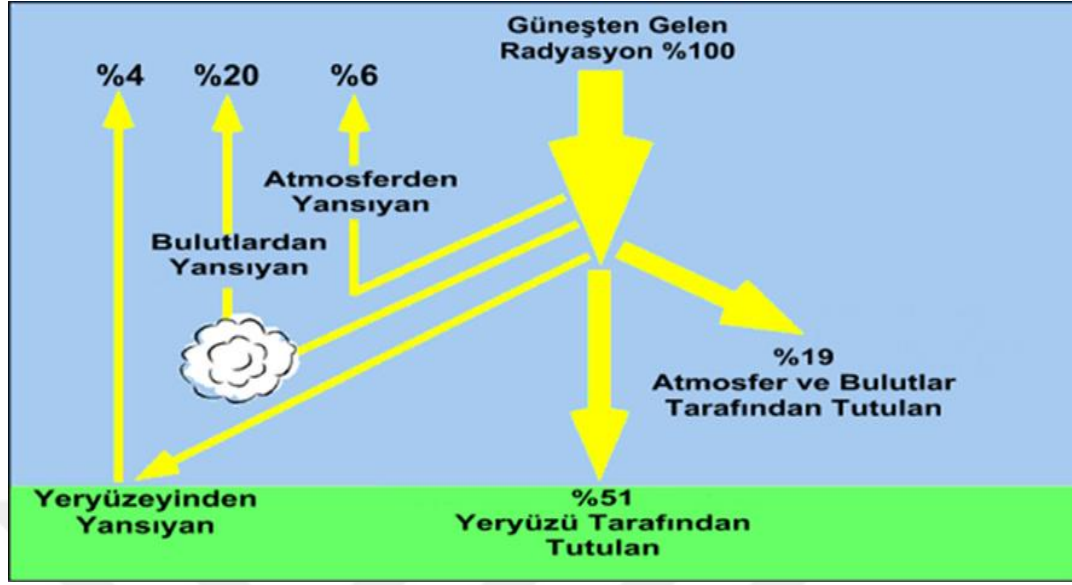
Dünya atmosferi birçok gazdan oluşmaktadır. Bununla beraber az miktarlarda asal gazlar da bulunmaktadır. Güneş'ten Dünya'ya gelen ışınlar, atmosferi geçerek yeryüzünü ısıtır. Atmosferdeki gazlar başta CO₂ olmak üzere, yerküredeki sıcaklığın belli bir kısmını muhafaza eder ve yerkürenin ısı kaybetmesine engel olur. Atmosferin bir özelliği ışığı geçirme ve ısıyı tutmadır. Atmosferin ısıyı tutmasıyla birlikte suların sıcaklığı belirli bir seviyede sabit kalır. Bu sayede okyanusların ve nehirlerin donması engellenir. Işınların, bu gazlar (CO₂ ve diğer sera gazları) tarafından tutulmasına sera etkisi denir. Başlıca sera gazları; su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), azotoksit (N₂O), ozon (O₃), Kloroflorokarbonlar (CFC'ler) ve hidrocloroflorokarbonları (HCFC'ler) içerir (Akın 2006). Küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının değişimi Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının değişimleri ve kaynakları³³

Sera Gazları	Yoğunluk 1750	Yoğunluk 2003	Değişim %	Doğal ve Suni Kaynaklar
Karbon dioksit	280 ppm	376 ppm	34	Organik çürüme, orman yangınları, volkanlar, fosil yakıtların yanması, ormanların tahrip edilmesi, yanlış toprak kullanımı.
Metan	0.71 ppm	1.79 ppm	152	Islak alanlar, organik çürüme, termitler, doğal gaz ve petrol çıkartılması, pirinç üretimi.
Diazot monoksit	270 ppb	319 ppb	18	Ormanlar, yeşil alanlar, okyanuslar, toprak işleme, gübreleme, fosil yakıtların yanması.
Kloroflora karbon (CFCs)	0	880 ppt	-	Soğutucular, spreyler, kimyasal çözücüler
Ozon	-	Atmosferde enlemlere ve yükseltiye bağlı olarak değişmektedir.	Stratosfer tabakasında azalmakta, yeryüzüne yakın alanlarda artmaktadır.	Güneş ışınlarının direkt olarak oksijen molekülleri üzerine olan etkisi ile doğal olarak gerçekleşmektedir.

³³<https://mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s=7>

Aşağıda atmosferik enerji dengesini gösteren bir şema yer almaktadır.



Şekil 2.20. Güneş'ten Gelen Radyasyonun Tutulması ve Yansımaları³⁴.

Yeryüzünün ısıtılmasında kullanılan enerji; su buharı, CO₂ ve metan gazları tarafından tutulur ve yavaş yavaş uzaya gönderilir. Sera gazlarının etkisi ise işte bu noktada devreye girer. Atmosferde, değerleri normalin üzerine çıkan bu gazlar yerden uzaya gönderilen enerjiyi daha fazla tutmaya başlar. Bu da dengeyi bozarak küresel ısınma olayının yaşanmasına neden olur.

İnsan aktivitelerinden kaynaklanan sera gazına en büyük katkısı CO₂ yapmaktadır. Örneğin; fosil yakıtların yakılması, biokütlenin yakıt olarak kullanılması veya arazi genişletme sırasında ormanların yakılması ve bazı endüstriyel ve kaynak çıkarma işlemleri ile karbondioksit salınır (IPCC 3 2001) .

İnsan aktiviteleri küresel sıcaklıkların endüstri devrimi öncesi 1850-1900 periyoduna göre yaklaşık $1 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ artmasına neden olmuştur ve artışın, günümüzdeki gibi devam etmesi halinde 2030-2052 yılları arasında $1,5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşması beklenmektedir³⁵.

İklimi etkileyen diğer önemli faktörlerden birisi de atmosferik aerosollerdir (havada asılı duran küçük parçacıklar). Bunların başında; deniz tuzu, sülfat bileşikler, siyah karbon ve çöl tozları gelmektedir. Aerosol birikimlerindeki değişiklikler, bulut miktarını ve bulutun yansıtma özelliğini değiştirebilir.

³⁴ <https://www.mgm.gov.tr/genel/meteorolojiyegir.aspx?s>

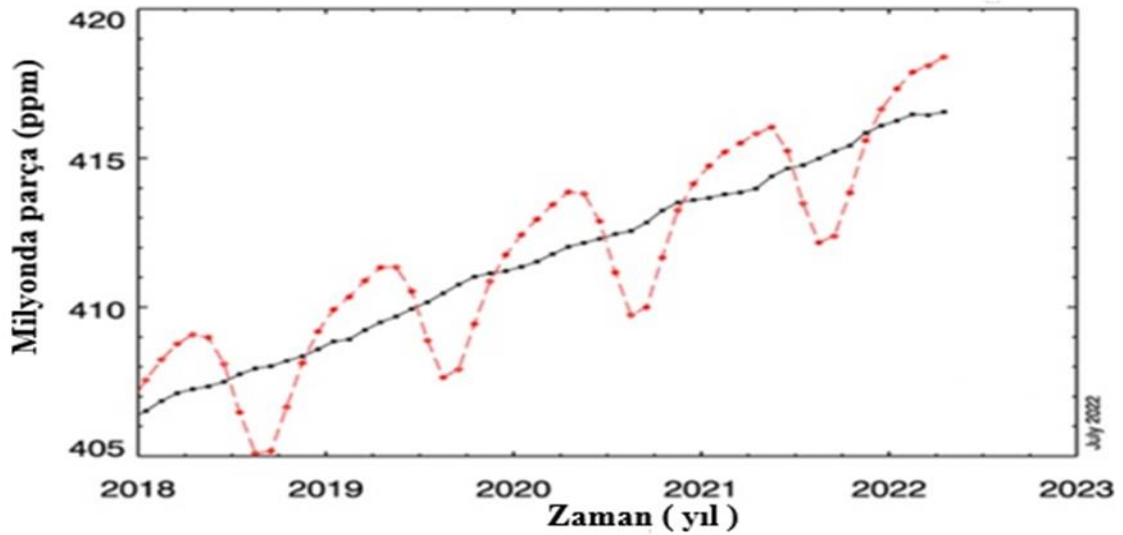
³⁵ İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ETKİLERİ VE UYUM, HİZMETİÇİ EĞİTİM, İSTANBUL 26 Nisan 2019

Troposferdeki insan kaynaklı aerosoller ve özellikle fosil yakıtlarının yanmasından çıkan kükürt dioksit kaynaklı sülfat aerosoller, Güneş ışınımını yeryüzüne ulaşmadan tutar ve uzaya geri yansıtır. Genel olarak, troposferdeki aerosollerde gözlenen artışlar, iklimde soğutma eğilimindeki bir negatif etki oluştururlar. Atmosferde asılı kalan bu parçacıklar, doğal ve endüstriyel işlemler aracılığıyla atmosfere karışır ve uygun rüzgarlar ve hava koşulları ile dünyanın dört bir yanına taşınırlar. Bu parçacıklar, hem Güneş ışınımının yayılması ve emilmesi yoluyla doğrudan, bulut özelliklerini değiştirme yoluyla da dolaylı olarak iklimi etkilemektedirler (Samset 2016).

Sera Gazı Birikimlerindeki Değişimlerin Boyutları

Dünya üzerinde 1700'lü yıllardan günümüze insan faaliyetlerindeki artış ve sanayileşmedeki gelişmeler sera gazı salınımlarında artışa neden olmuştur (IPCC 5 2014). 2021 yılı itibariyle, ölçülen atmosferik karbondioksit konsantrasyonları, sanayi öncesi seviyelerden neredeyse %50 daha yüksektir³⁶.

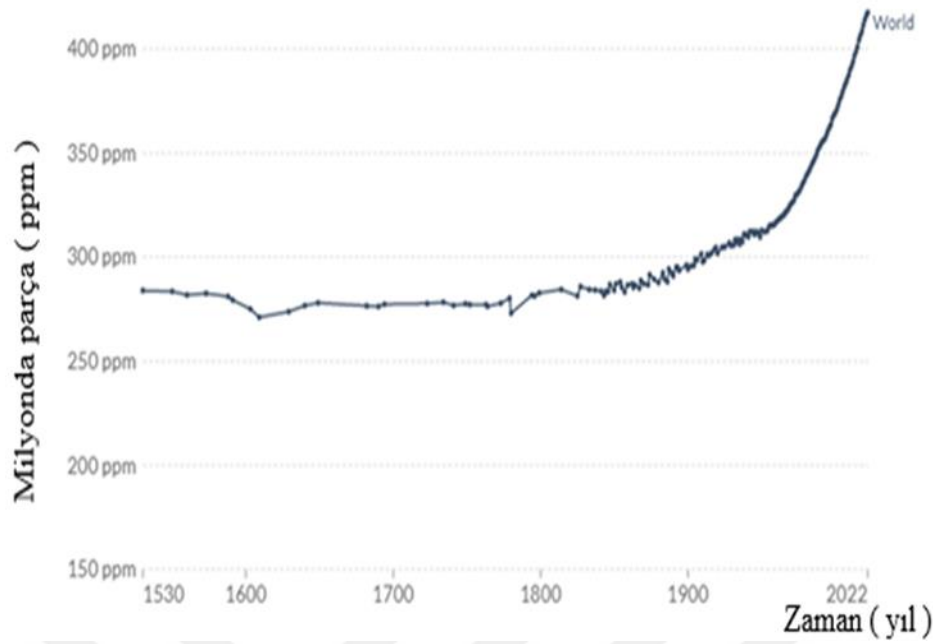
Sera gazı verileri, su buharı çıkarıldıktan sonra CO₂'nin kendisi de dahil olmak üzere havadaki tüm moleküllerin sayısına bölünen karbondioksit moleküllerinin sayısı olarak tanımlanan kuru hava mol kesri olarak rapor edilir. Mol kesri milyonda bir parçacık (ppm) olarak ifade edilir. Örnek: 0.000400, 400 ppm olarak ifade edilir. Son 5 yıllık küresel aylık ortalama CO₂ değişimi Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'de verilmiştir.



Şekil 2.21. Son beş yıllık küresel aylık ortalama CO₂ değişimi ³⁷.

³⁶Fox, Alex. "Atmosferik Karbon Dioksit, Pandemi Emisyonlarının Azalmasına Rağmen Yeni Yüksek Seviyeye Ulaştı". Smithsonian Dergisi. 2021-06-22.

³⁷<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>



Şekil 2.22. Our World in Data'nın web sayfasından alınan veriler ile elde edilmiş grafik³⁸.

Veriler incelendiğinde CO₂ salınımindaki artışın büyüklüğü göz önündedir. Bu kontrasyondaki yükselişin Dünya'mıza etkileri ve bu artışın gelecekte oluşturacağı etkiyi ortaya koymak, günümüzde birçok araştırmanın odak noktasındadır. Bu sebeple yaptığımız çalışmada Güneş aktivitesi ve iklim değişimi arasındaki ilişkiye bakarken CO₂ verilerinin etkisine de yer verilmiştir.

Aerosol Parçacıklarının Küresel İklim Üzerindeki Etkileri

Katı ve sıvı maddelerin gaz ortamı içerisinde dağılmasıyla oluşan yapıya aerosol adı verilir. Bu partiküller doğal veya antropojenik olarak oluşabilmektedir. Doğal oluşumlu aerosollere; rüzgarlar, deniz spreyleri, buharlaşma ve volkanik aktiviteler örnek gösterilebilir. Antropojenik kaynaklara ise; endüstriyel prosesler, yanma olayları, taşınma prosesleri vb. örnek verilebilir. Boyutları birkaç on Å'dan yüzlerce µm'ye kadar çıkabilmektedir. Aerosollerin boyutları, atmosferdeki kalış süreleri ile ters orantılıdır. Boyutları 2. 5 µm' den küçük partiküller ince partikül, büyük olan partiküller ise kaba partikül olarak sınıflandırılırlar. Bununla birlikte birikim modu olarak bilinen bir diğer tür ise bu iki türü de kapsar. Birikim modu aerosoller, atmosferdeki su buharı dolayısıyla atom çekirdeklerinin bir araya toplanması ile oluşurlar (Valavanidis 2008).

³⁸<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

Sera gazlarının tersine aerosoller atmosferik enerji dengesini her iki yönde de etkileyebilir. Sera gazlarının atmosferdeki enerji dengesi üzerindeki etkileri yaklaşık 2.5 W/m^2 iken sülfat aerosoller ve fosil yakıtların yanması sonucu dumanın soğutma etkisi $-0,5$ ile -2 W/m^2 arasındadır (Kılçık 2002). Aerosol konsantrasyonları bölge ve zamana göre oldukça değişkendir. Birkaç haftalık yaşam süreleri ile sülfat aerosoller endüstriyelmiş bölgeler üzerinde kaynaklara yakın yerde çok büyük bolluklara sahip olabilirler. Bununla birlikte sera gazları tüm gün etkiliyken aerosoller yalnızca gündüz etkilidir. Aerosollerin etkisi Güneş ışınlarının geliş açısına, rölatif neme, partikül boyut ve kompozisyonuna ve yüzeyin albedosuna bağlıdır. Aerosoller boyutları ve bulundukları yerlere göre farklı şekillerde sınıflandırılır:

Kent Aerosoller, Deniz Aerosoller, Kıtalar ait Aerosoller, Uzak kıtasal Aerosoller, Serbest Troposferik Aerosoller, Kutup Aerosoller, Çöl Aerosoller (Kılçık 2002). 2008-2019 yılları arası Türkiye geneli aerosol verileri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. 2008-2019 yılları arası Türkiye geneli aerosol verileri³⁹.

Yıllar	Aerosol verileri (Türkiye)
2008	0,2068
2009	0,2089
2010	0,1888
2011	0,1997
2012	0,1912
2013	0,1788
2014	0,1819
2015	0,1901
2016	0,1764
2017	0,185
2018	0,2014
2019	0,1897

³⁹<https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/aerosol-2003-2021>

3. MATERYAL VE METOT

Günümüzde artmakta olan iklim değışikliğı Dünya yaşamını oldukça yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle iklim değışikliğı üzerinde etkisi olabilecek etmenler son yıllarda oldukça önemli hale gelmiştir. Geçmişten bu yana sıcaklık verileri incelendiğinde dönemsel olarak Güneş aktivitesi ile paralellik göstermektedir. Ancak gelişen teknoloji ile birlikte iklim değışikliğı üzerinde birçok farklı etmen bulunmaktadır. Güneş aktivitesi ve iklim değışimi arasında ilişkinin var olup olmadığını ortaya koymak da bu sebeple önemli bir hal almıştır.

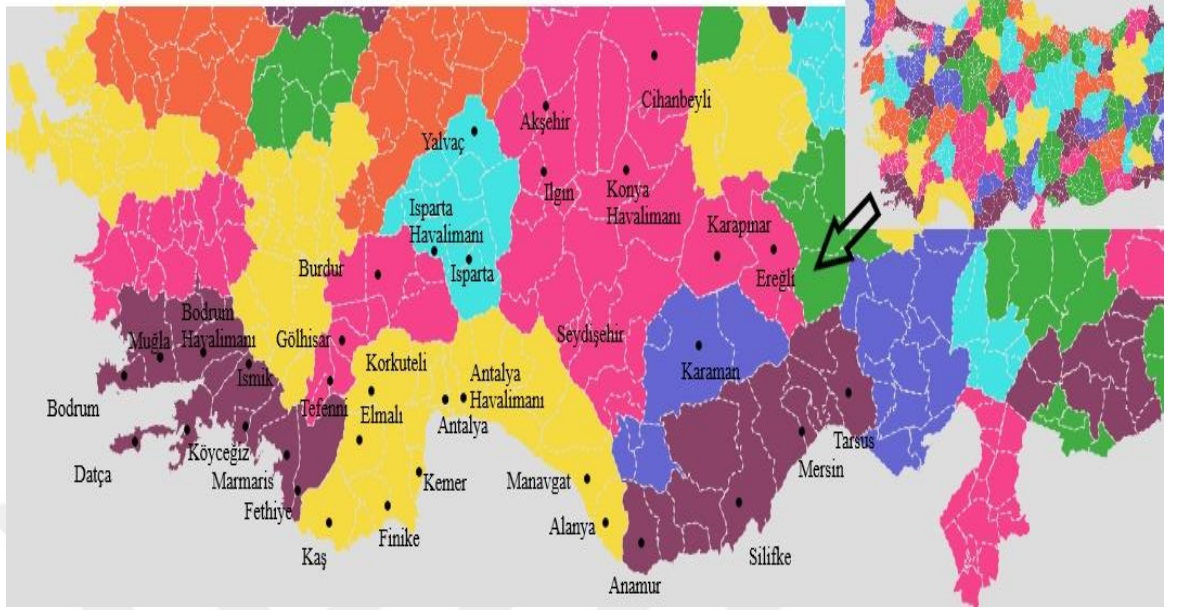
Bu çalışma kapsamında 24. Güneş çevrimi boyunca (2009-2020), yaklaşık 11 yıllık bir dönem için Güneş lekeleri, Dünya'nın aylık ortalama yüzey sıcaklık verileri, sera gazı verileri, aerosol verileri ve $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı verileri kullanılmıştır.

Bu çalışma kapsamında 01.01.2009 - 01.01.2020 tarihleri arasını kapsayacak şekilde:

Güneş leke sayıları	: SILSO web sitesinden,
$F_{10.7}$ Güneş radyo akısı verileri	: Space Weather web sitesinden,
Sera gazı (CO_2) verileri	: NOAA web sitesinden,
Aerosol verileri	:MGM Türkiye ve Çevresi Aerosol Analizleri
Sıcaklık verileri	: Meteoroloji Genel Müdürlüğünden

alınarak düzenlenip çalışmada kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan sıcaklık istasyonları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan sıcaklık verilerinin alındığı bölgelerin harita üzerinde gösterimi.

Bu çalışmada kullanılan yöntemler:

Regresyon analizleri; aralarında sebep-sonuç ilişkisi bulunan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak çalışmada kullanılan veriler ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla iki değişken arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesini tespit etmek için yapılan analizlerdir.

Regresyon analizi,

$$Y = \alpha + \beta X + \epsilon$$

şeklinde bir bağımlı ve bir de bağımsız değişken içeren bir modeldir.

Bu modelde;

X; bağımsız (sebep) değişkeni olup hatasız ölçüldüğü varsayılır.

Y; bağımlı (sonuç) değişken olup belli bir hataya sahip olduğu varsayılır.

α ; sabit olup $X=0$ olduğunda Y 'nin aldığı değerdir.

β ; regresyon katsayısı olup, X 'in kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık

Y' nin kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarını ifade eder.

ϵ ; tesadüfi hata terimi olup ortalaması sıfır varyansı σ^2 olan normal dağılım gösterdiği varsayılır.

Bu varsayım parametre tahminleri için değil katsayıların önem kontrolleri için gereklidir. Çalışmada bu yöntem; Güneş leke sayıları, $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı, aylık sıcaklık ve sera gazı verileri için kullanıldı.

Çapraz Korelasyon analizi; iki ya da daha çok değişken arasında ilişki olup olmadığını, ilişki varsa yönünü ve değerini muhtemel zaman gecikmesini de hesaba katarak ortaya koyan bir istatistiki analizdir. Çapraz korelasyon, iki veri setinin ilişkilendirilme derecesini tahmin etmenin standart bir yöntemidir.

$i = 0, 1, 2 \dots N-1$ olmak üzere

$x(i)$ ve $y(i)$ şeklinde iki veri seti alınır, m_x ve m_y bu veri setlerinin ortalamasıdır.

Yukarıdaki tüm gecikmeler $d = 0, 1, 2, \dots N-1$ için hesaplanırsa, orijinal serinin iki katı uzunlukta bir çapraz korelasyon serisi elde edilir ve d gecikmesindeki korelasyon katsayısı r şu şekilde tanımlanır:

$$r(d) = \frac{\sum_i [(x(i) - m_x) * (y(i-d) - m_y)]}{\sqrt{\sum_i (x(i) - m_x)^2} \sqrt{\sum_i (y(i-d) - m_y)^2}}$$

Korelasyon katsayısı -1 ile +1 ($-1 \leq r \leq 1$) arasında değişen değerler almakla birlikte, korelasyon katsayılarında 0,00 ile 0,25 arası değer 'çok zayıf', 0,26 ile 0,49 arası değer 'zayıf', 0,50 ile 0,69 arası değer 'orta', 0,70 ile 0,89 arası değer 'yüksek', 0,90 ile 1,00 arası değer ise 'çok yüksek' olduğu ifade edilir (Köklü vd. 2009). Ancak, korelasyon katsayısının güveni doğrudan veri sayısı ile ilişkili olup veri sayısı çok küçük veya çok yüksekse bu aralıklar değişkenlik gösterir. Korelasyon katsayısının pozitif olması değişkenler arasında aynı yönlü bir ilişkinin olduğunu, negatif olması ise ters yönlü bir ilişkinin olduğunu göstermektedir.

Korelasyon değerlerinin anlamlı olup olmadığı elde edilen korelasyon değerlerini yorumlamak için önemlidir. İstatistiksel olarak sig. değeri veya p değeri olarak ifade edilen anlamlılık katsayısının $p < 0.05$ olması istatistiksel olarak anlamlıdır yorumu yapılabilmesi için gereklidir⁴⁰.

$p < 0.005$ %95 güven düzeyinde anlamlıdır (Hata oranının %5'te tutulması)

$p < 0.001$ %99 güven düzeyinde anlamlıdır (Hata oranının %1'de tutulması)⁴¹.

Periyot analizleri, hem Güneş (Güneş leke sayıları ve $F_{10.7}$), hem de iklim verilerinin (yüzey sıcaklığı) periyodik değişimlerini elde etmek amacıyla Fourier periyot analizi kullanılmıştır.

Fourier periyot analizi: Fourier, periyodik fonksiyonları birbirine dik sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının toplamını kullanarak göstermiştir. Günümüzde Euler bağıntısı kullanılarak sinüs ve kosinüs fonksiyonları yerine kompleks üslü sayılar kullanılmaktadır. Fonksiyonların kompleks üslü sayıların toplamı olarak gösterilmesine Fourier serisi gösterimi denir. Fourier açılımı sayesinde fonksiyonların frekansı kolaylıkla belirlenebilir. Bu yaklaşım farklı periyotlarda girdiye maruz kalan sistemlerin çıktısını ve çıktısının frekansını belirlemekte kolaylık sağlar.

Fourier dönüşümü; Fourier serilerinin periyodik olmayan fonksiyonlara da uyarlanarak genişletilmiş halidir. Herhangi bir $g(t)$ fonksiyonunun Fourier Dönüşümü aşağıdaki gibi ifade ile verilir.

$$F\{g(t)\}=G(f)=\int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-2\pi i f t} dt$$

Dönüşüm sonucunda frekansın (f) fonksiyonu olan ve $g(t)$ 'nin f frekansındaki gücünü veren bir $G(f)$ fonksiyonu elde edilir. $G(f)$ fonksiyonu bu nedenle $g(t)$ 'nin güç spektrumu olarak isimlendirilir.

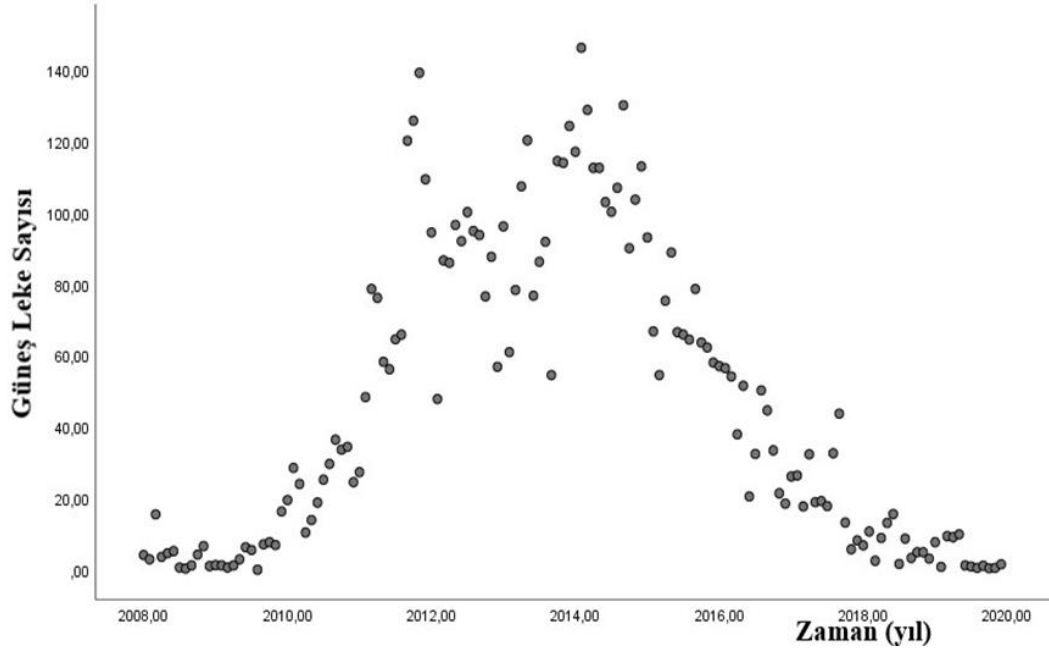
⁴⁰<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/109830>

⁴¹https://www.toraks.org.tr/site/sf/books/pre_migration/c19fa28083ae026a97e3878c26e1b03eaacfd74d114c8d66f832d8d806c56307.pdf

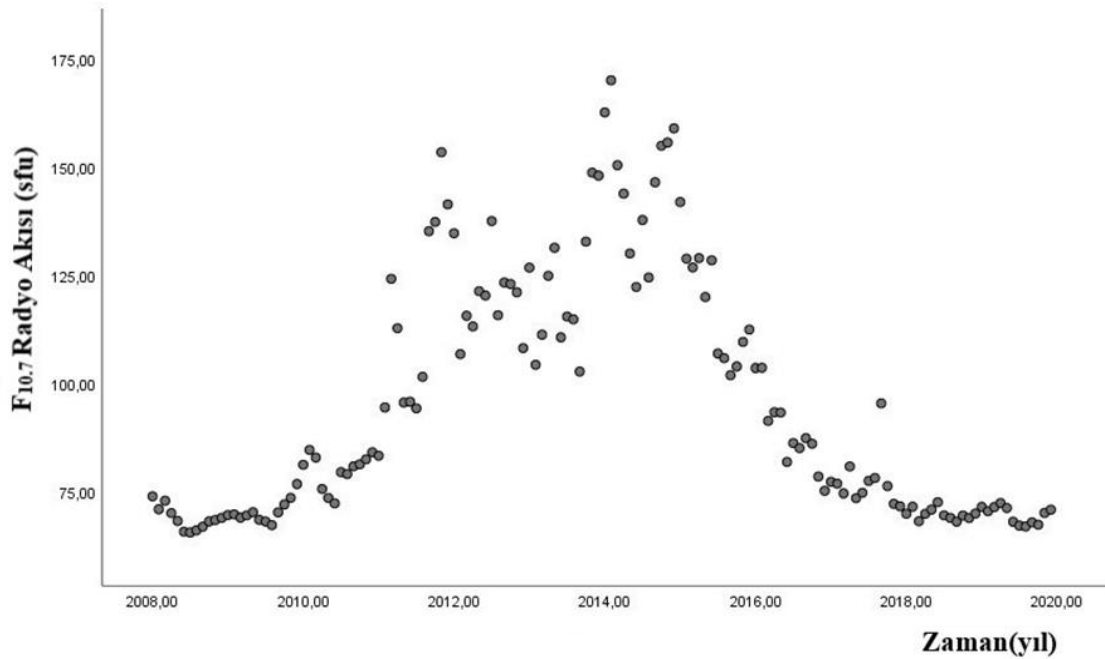
4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada kullanılan verilerin zamansal değişim grafiklerine aşağıda yer verilmiştir. Çalışmada Güneş aktivitesinin bir göstergesi olarak Güneş lekeleri ve $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı verileri kullanılmıştır. İklim değişikliğinin bir göstergesi olarak ise aylık ortalama sıcaklık, CO_2 ve aerosol verileri kullanılmıştır.

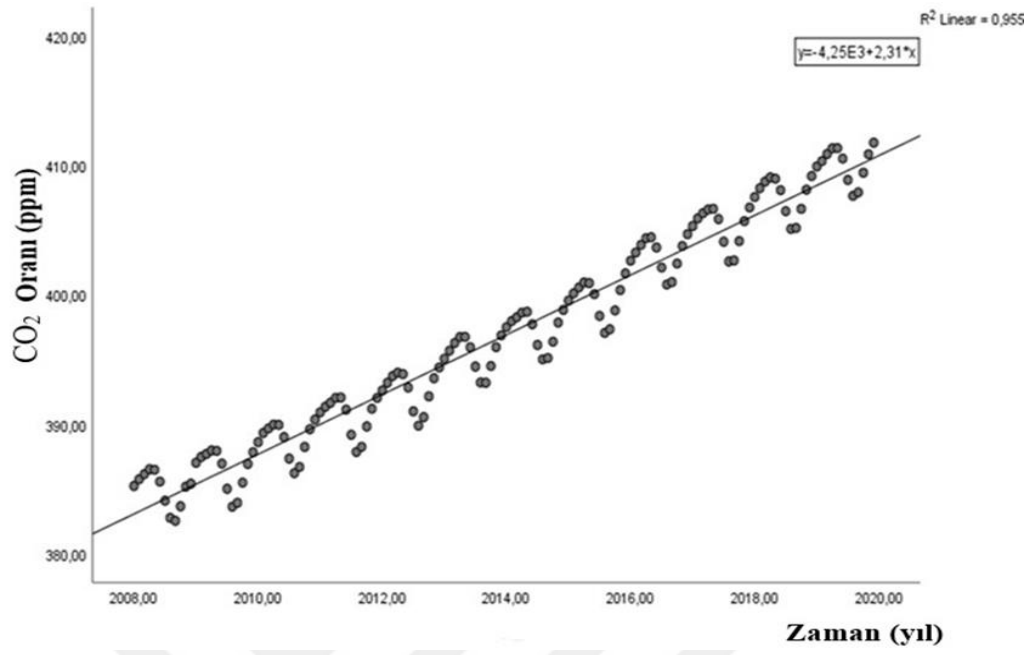
(a)



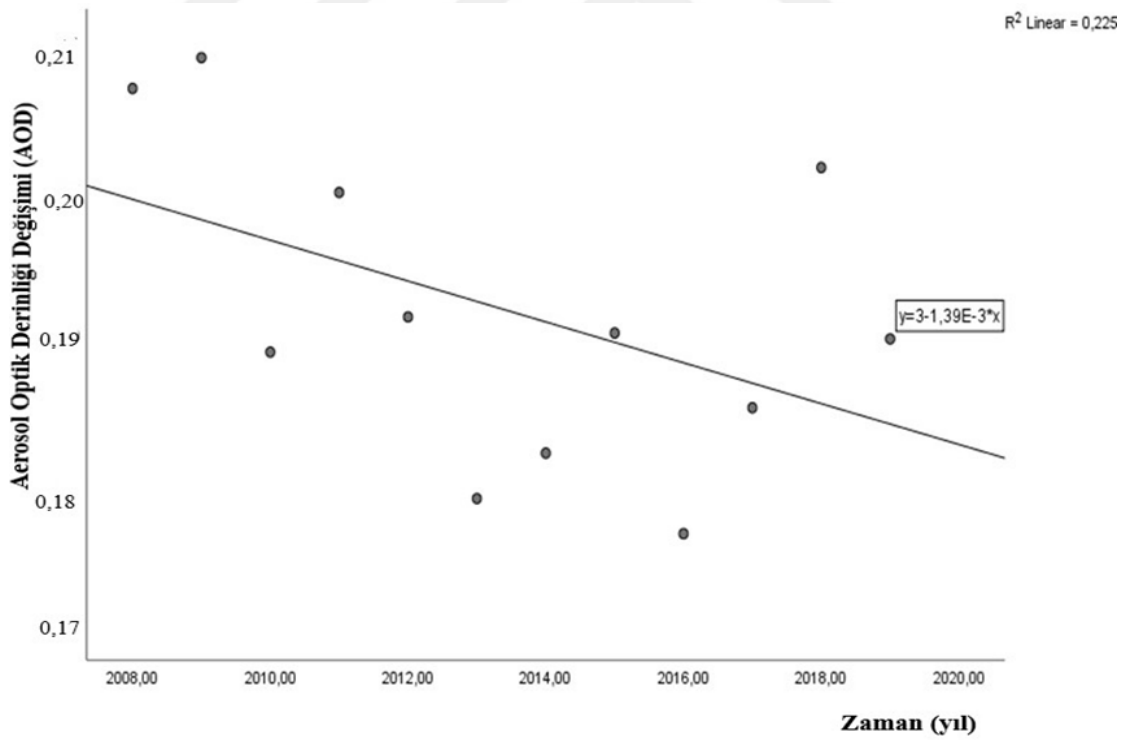
(b)



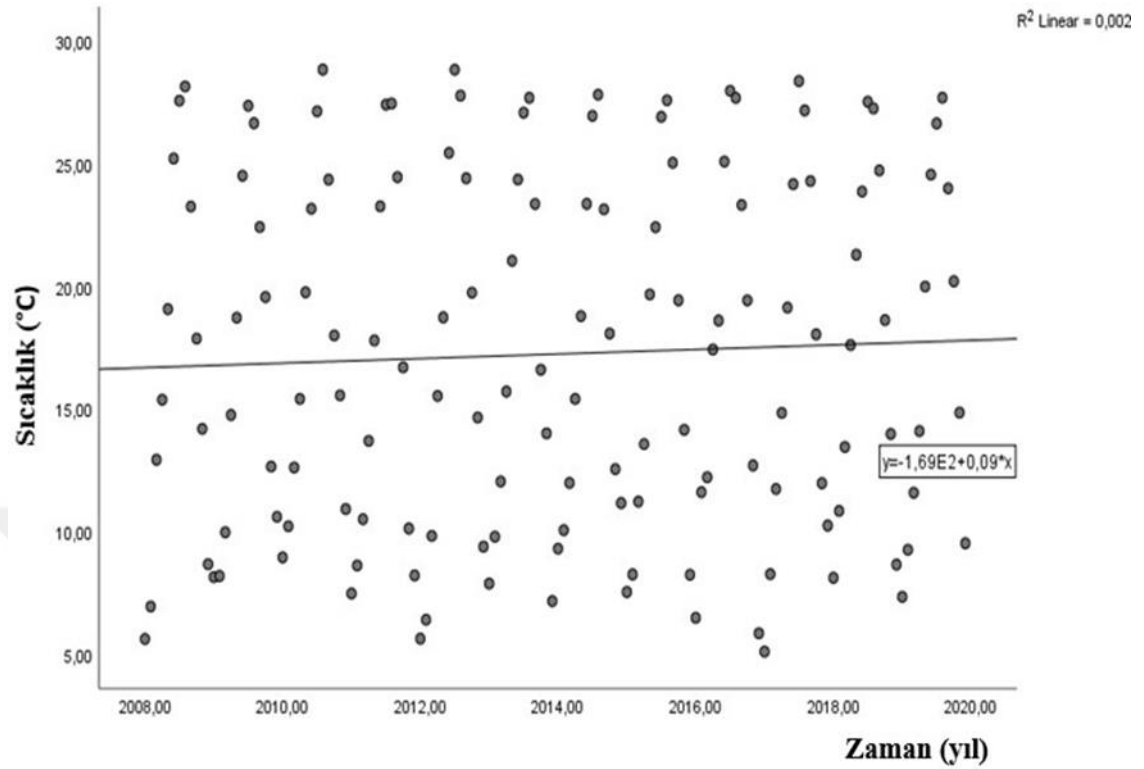
(c)



(d)



(e)



Şekil 3.2. 2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin zamana bağlı değişimleri, (a)2008-2020 yılları arası Güneş Leke 2008- Sayısı, (b)2008-2020 yılları arası $F_{10.7}$ Güneş Radyo Akısı, (c)2008-2020 yılları arası CO_2 oranı, (d)2008-2020 yılları arası Aerosol değişimi, (e)2008-2020 yılları arası Sıcaklık değişimi.

Şekil 3.2’de elimizde bulunan verilerin zamana bağlı değişim grafikleri verilmiştir. Çalışmada sıcaklık verileri bağımlı değişkeni, diğerleri ise bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Çalışmada bu değişkenler arası ilişkiyi incelemek için birkaç yöntem başvurulmuştur.

İlk olarak çalışma kapsamında, 2008 ile 2020 yılları arasındaki sıcaklık, CO_2 , Güneş leke sayısı, $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı ve aerosol verilerine Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. Veriler arasında ilişki olup olmadığını eğer ilişki varsa yönü ve düzeyini belirlemek amaçlı veri setleri karşılaştırılarak tablodaki sonuçlar elde edilmiştir. (bkz. Çizelge 3.1)

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan veriler ile yapılan Pearson korelasyon hesaplamaları sonucu elde edilen sonuçlar.

	KORELASYON DEĞERLERİ (Aylık verilerde)	Anlamlılık Düzeyinde Korelasyon (Sig.)	KORELASYON DEĞERLERİ (Yıllık verilerde)	Anlamlılık Düzeyinde Korelasyon (Sig.)
GÜNEŞ LEKE SAYISI - SICAKLIK	- 0.017 ±0.083	0.838	- 0.479 ±0.073	0.115
CO₂ ORANI - SICAKLIK	- 0,088 ±0.083	0.291	0.292 ±0.080	0.356
F_{10.7}RADYO AKISI- SICAKLIK	- 0,113 ±0.083	0.175	- 0.461 ±0.074	0.131
GÜNEŞ LEKE SAYISI - F_{10.7}RADYO AKISI	0.964 ±0.022	0.000	0.990 ±0.010	0.000

p < 0.005 (% 95 güven düzeyinde) anlamlıdır. p < 0.001 (%99 güven düzeyinde anlamlıdır).

Aylık veriler için Pearson korelasyonu sonuçlarına bakıldığında Güneş leke sayısı, CO₂ konsantrasyonu, F_{10.7} Radyo akısı, aerosol verileri ile sıcaklık arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptanamamıştır. Güneş leke sayısı ile F_{10.7} Radyo akısı arasında ise p< 0.001 (%99 güven düzeyinde) anlamlı bir ilişki saptanmıştır ve aralarında yüksek korelasyon elde edilmiştir.

Yıllık verilerde Pearson korelasyon hesaplaması yapıldığında korelasyonlar aylık verilere göre yüksek gözüktü de veri sayısı azaldığı için anlamlılık katsayıları düşük olmakta ve istatistiksel olarak anlam ifade etmemektedir.

Aylık veriler üzerinde ayrıca çapraz korelasyon uygulanmıştır. Çapraz korelasyon sonucu elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. 2008-2020 yılları arası için aylık veriler kullanılarak elde edilen çapraz korelasyon analizi sonuçları.

	KORELASYON	STANDART HATA	Anlamlılık Düzeyinde Korelasyon (Sig.)	DELAY (Ay)
GÜNEŞ LEKE SAYISI- SICAKLIK	-0.017	± 0.084	0.838	0
CO ₂ ORANI- SICAKLIK	0.089	± 0.083	0.291	2 Ay
F _{10.7} RADYO AKISI-SICAKLIK	0.114	± 0.083	0.175	0

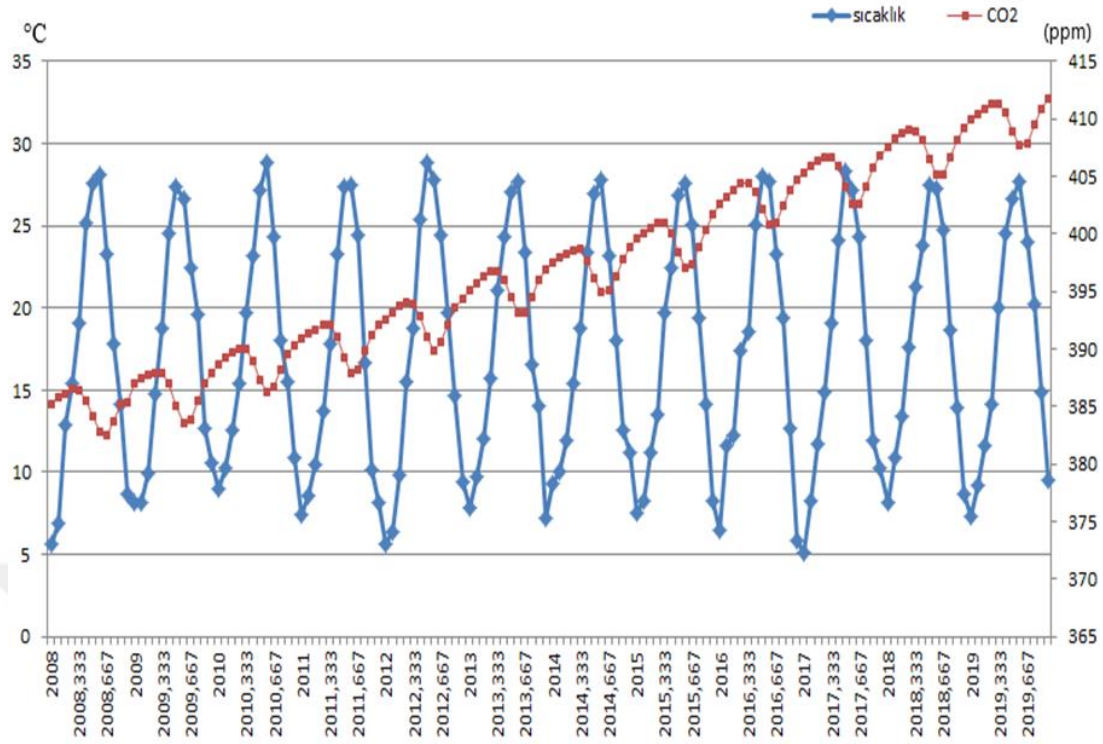
$p < 0.005$ (% 95güven düzeyinde) anlamlıdır. $p < 0.001$ (%99 güven düzeyinde anlamlıdır).

Yapılan çapraz korelasyon analizleri sonucunda Güneş Leke Sayısı-Sıcaklık arasında p değeri 0,838 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,005'ten büyük olduğundan anlamlı bir istatistiksel sonuç elde edilememiştir.

Karbondioksit Oranı-Sıcaklık arasında (p) değeri 0,291 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,005'ten büyük olduğundan anlamlı bir istatistiksel sonuç elde edilememiştir.

F_{10.7} Radyo Akısı-Sıcaklık arasında p değeri 0,175 olarak bulunmuştur. Bu değer 0,005'ten büyük olduğundan anlamlı bir istatistiksel sonuç elde edilememiştir.

Bu sonuçlara bakıldığında 2008-2020 yılları arasında Sıcaklık ile Karbondioksit Oranı, Güneş Leke Sayısı ve F_{10.7} Radyo Akısı verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon olduğu sonucu elde edilememiştir.



Şekil 3.3. Aylık CO₂ ve Sıcaklık verilerinin aynı grafik üzerinde gösterimi

Şekil 3.3'te CO₂-Sıcaklık eğrilerine aynı grafikte baktığımızda CO₂ verilerinin 2 ay geride kaldığı görülmektedir. Sıcaklık ve CO₂ grafikleri birlikte incelendiğinde oldukça benzer davranış sergiledikleri görülmüştür.

Veriler üzerinde yapılan çalışmada anlamlı bir sonuç elde edilemediğinden veriler smooth edilmek için 11 adımda yürüyen ortalamaları alınarak pearson analizi tekrarlanmış ve regresyon analizi bu verilere uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonuçları aşağıda Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan aylık verilerden elde edilen 11 adımda yürüyen ortalama verileri kullanılarak yapılan Pearson korelasyon hesaplamaları sonuçları.

	KORELASYON DEĞERLERİ (r) (11 adımda yürüyen ortalama verilerinde)	Anlamlılık Düzeyinde Korelasyon (Sig.)	Determinasyon katsayısı (r²)
GÜNEŞ LEKE SAYISI - SICAKLIK	-0.284	0.001	0.07
CO₂- SICAKLIK	0.255	0.003	0.06
F_{10.7}- SICAKLIK	-0.278	0.001	0.07
GÜNEŞ LEKE SAYISI - F_{10.7}	0.989	0.000	0.96

$p < 0.005$ (% 95güven düzeyinde)anlamlıdır. $p < 0.001$ (%99 güven düzeyinde anlamlıdır).

11 adımda yürüyen ortalama veriler kullanılarak korelasyon işlemi tekrarlandığında veriler istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edildi. Bu sonuçlara göre Güneş leke sayısındaki değişim sıcaklıktaki değişimi %7 oranında, CO₂ verilerindeki değişim sıcaklıktaki değişimi %6 oranında, F_{10.7} Radyo akısı verilerindeki değişim sıcaklıktaki değişimi %7 oranında, Güneş leke sayısındaki değişim F_{10.7} Radyo akısı verilerindeki değişimi %96 oranında açıklamakta olduğunu göstermektedir.

Antalya ve çevresi için yapılan bu çalışmada, elde edilen veri setleri smooth edilerek yapılan çoklu regresyon analizi sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir. Söz konusu regresyon analizi sonucunda bağımlı ve bağımsız değişkenlerin ilişkisi Şekil 3.6’da verilmiştir.

Model Özeti

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	,357	,127	,107	,45207	,143

a. Bağımsız değişkenler: F10.7S, CO2S, sunspotS

b. Bağımlı değişken: sıcaklıkS

Şekil 3.4. Regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçlar

KATSAYILAR

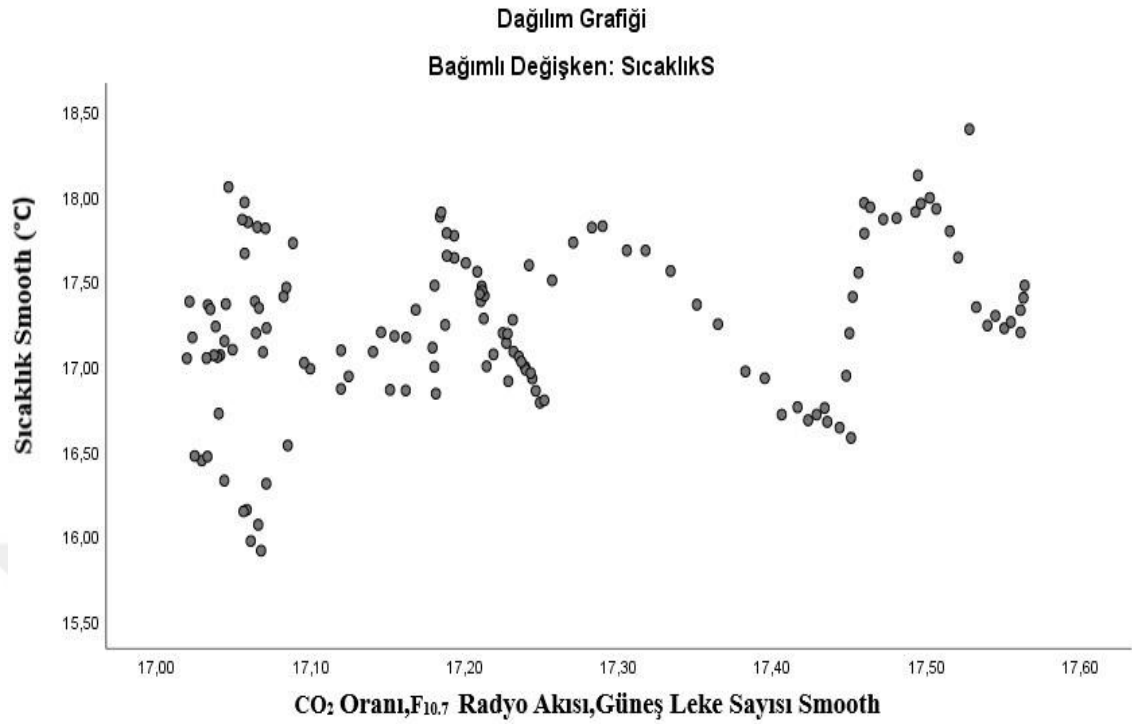
Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	11,930	2,126		5,611	,000
	sunspotS	-,003	,007	-,241	-,431	,667
	CO2S	,014	,005	,219	2,638	,009
	F10.7S	,000	,010	-,012	-,021	,983

Bağımlı değişken:Sıcaklık

Şekil 3.5. Çoklu regresyon analizi sonucu elde edilen sonuçlar

Buna göre,

Yapılan regresyon analizi sonucunda smooth edilmiş veriler kullanılarak anlamlı sonuçlar ortaya çıkmamıştır. Verilerden sadece CO₂ verisi için istatistiksel anlamlılık katsayısının altında veri elde edilmiştir. Bu nedenle tahmin yapabilmek için kullanılabilecek bir denkleme ulaşamamıştır.



Şekil 3.6. Regresyon analizi sonucunda bağımlı ve bağımsız değişkenler ilişkisi.

Yapılan Fourier Periyot Analizi sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4’te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çalışmada kullanılan veriler ile yapılan Fourier Analizi sonuçları.

	Frekans	Periyot	Güç
GÜNEŞ LEKE SAYISI	0.099251 1/yıl +/-0.002281	10.075455 Yıl +/-0.231569	0.957871
SICAKLIK	0.369936 1/yıl +/-0.006028	2.703171 Yıl +/-0.044045	0.526043
F_{10.7} RADYO AKISI	0.108274 1/yıl +/-0.002328	9.235833 Yıl +/-0.198554	0.935752

Çizelge 3.4'te elde edilmiş sonuçlar beklenen değerlere yakın olduğu görülmüştür. Güneş leke sayısı verileri ve bu veriler ile paralel olması beklenen $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı verileri 24. Güneş Çevrimi için yapılan bu çalışmada 11 yıllık Güneş çevrimine yakın sonuç vermiştir. Yine bu çalışmada elde edilen Sıcaklığın zamana bağlı değişiminde yaklaşık 2.7 yıllık periyotlar söz konusudur. Bu değer beklenen değer ile uyumludur.

Lomb Scargle Periodogram Analizi ve Sonuçları

Düzensiz aralıklı verilerde periyodik sinyalleri algılamak ve karakterize etmek için kullanılan iyi bir algoritmadır (Jacob 2018) . Düzensiz örnekleniş verileri üzerinde verimli bir hesaplama izin vererek Fourier benzeri bir güç spektrumu elde etmeyi sağlar.

Ancak, doğru frekansları bulmak ve her bir frekansın olasılığını değerlendirmek kolay değildir. Bu yöntemde frekans ızgara aralığını belirlemek önemlidir. Bu frekans ızgara aralığını belirlemek için buluşsal veya sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Buluşsal yöntemde Nyquist frekansı kullanılabilir ancak bu yöntemde gözden kaçan pikler olabilir. Ayrıca lomb scargle uygulaması düzenli aralıklı frekanslar gerektirir eğer frekanslar düzensiz aralıklı ise bunun yerine başka yöntemler kullanılabilir. Sezgisel yöntemde ise isteğe bağlı maximum ve minimum frekanslar girilerek uygun ızgara aralıklarına karar verilebilmektedir.

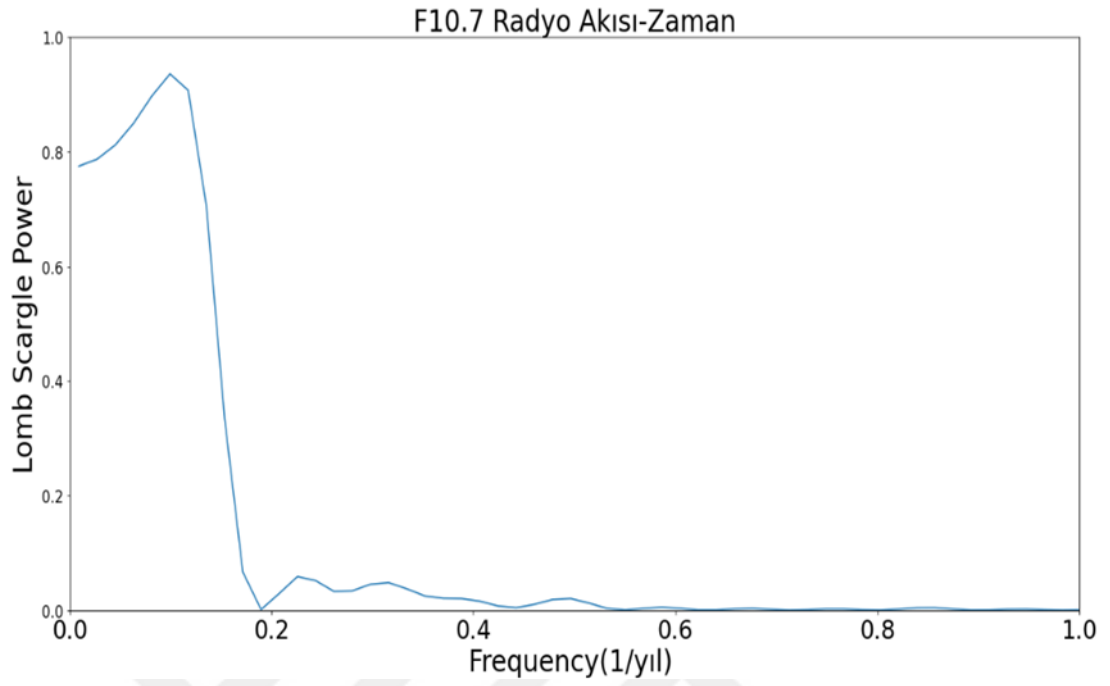
Oluşan güç spektrumunda hangi frekans bölgelerinde pik yaptığı ve bu bölgelere karşılık gelen güç değerleri görülmektedir. Bu spektrumda elde edilen piklerin varlığı en muhtemel periyotları elde etmemizi sağlar. Çünkü veriler içerisinde bir çok periyodiklik belirtisi ortaya çıkabilmektedir ve spektrumda elde edilen pikler oldukça temizlenmiş olduğundan en yüksek ihtimalli periyot ve harmonikliklerini elde etmemizi sağlamaktadır.

Fourier analizi, periodogram ve sinüzoidlerin en küçük kareler modellemesi ile arasındaki yakın bağlantılar uzun zamandır bilinmektedir (Brunt 1931). Çalışmada bu yöntem uygulanmıştır. Elde edilen verilere en küçük kareler normalleştirme yapıldığında ortaya Güç değeri (P) çıkar (Zechmeister vd. 2008). Elde edilen bu güç değeri boyutsuz bir değer olup 0 ile 1 arasında bir değer alır.

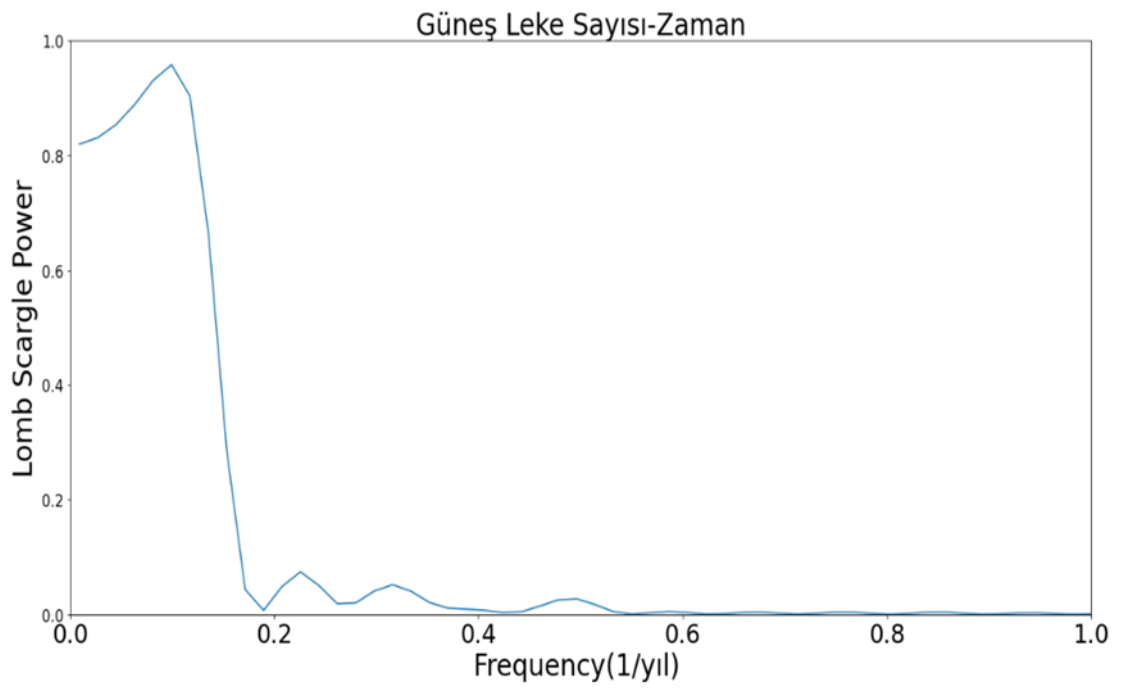
Çalışmada lomb scargle periodgramı verilerin periyodikliğini görmek amaçlı kullanılmış olup sezgisel yöntem aracılığıyla ızgara aralıklarına karar verilmiştir. Bu periodgram hesaplamaları Python programlama dilinde yazılmış hazır bir kod kullanılarak yapılmıştır.

Veriler üzerinde yapılan çalışma sonucunda aşağıda Şekil 3.7'de verilen grafikler ve Çizelge 3.4'te verilen sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar beklenen değerler civarındadır. Bu durum çalışmayı daha güvenilir hale getirme açısından önemlidir.

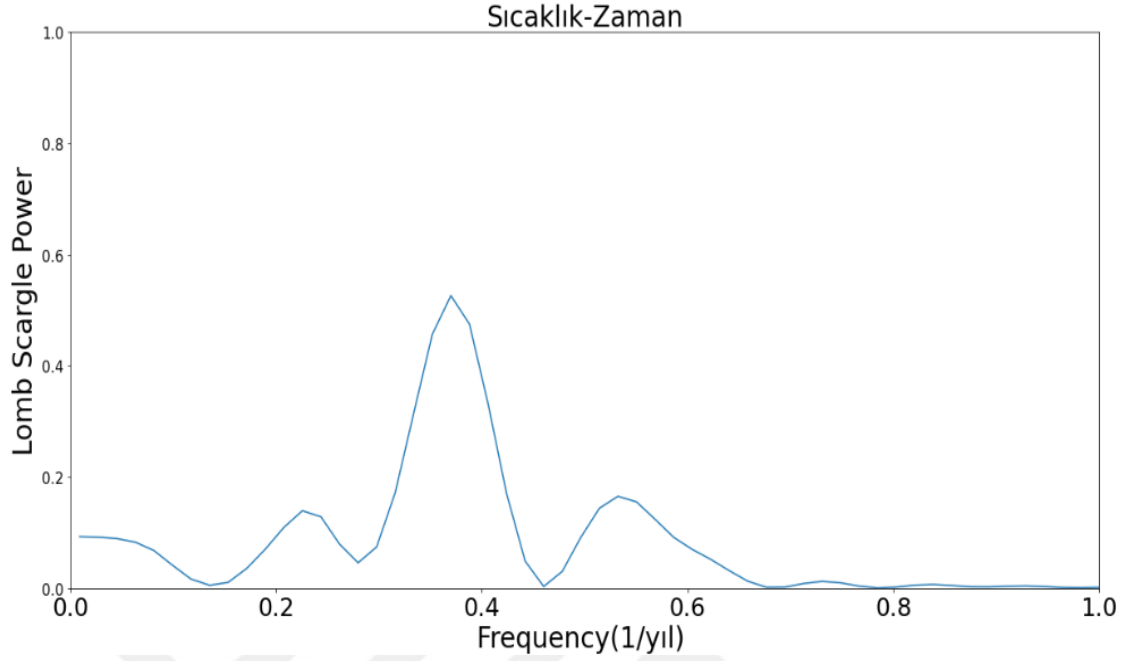
(a)



(b)

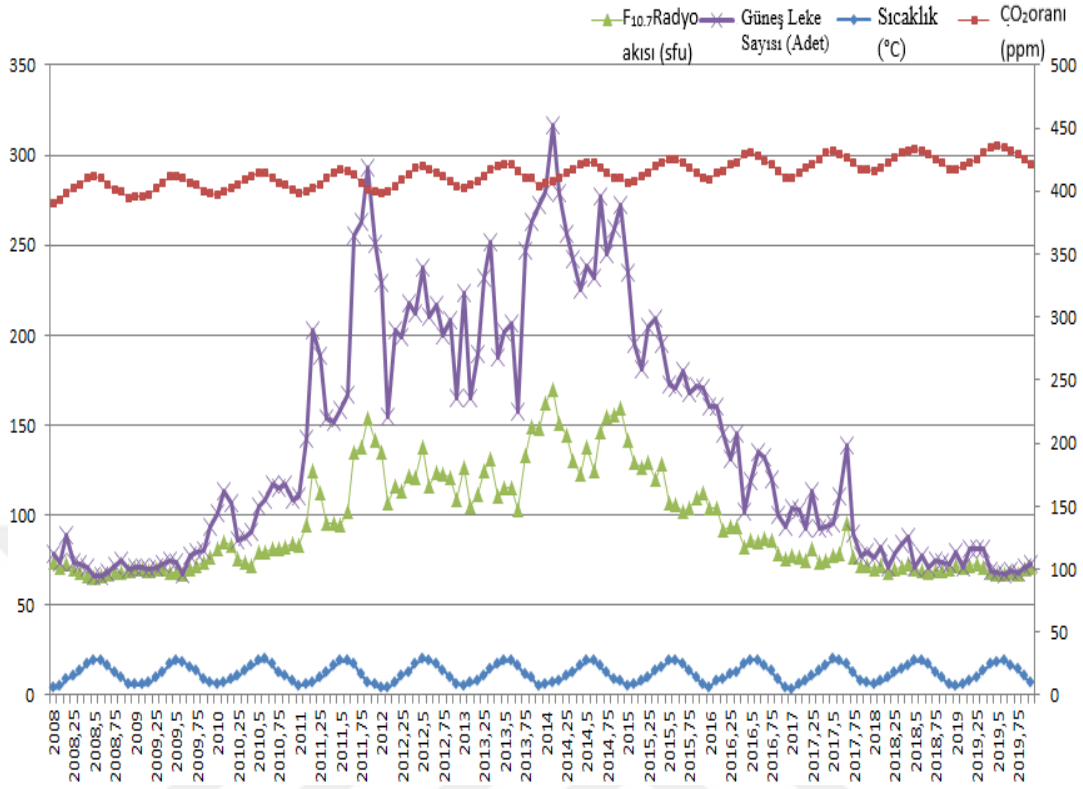


(c)



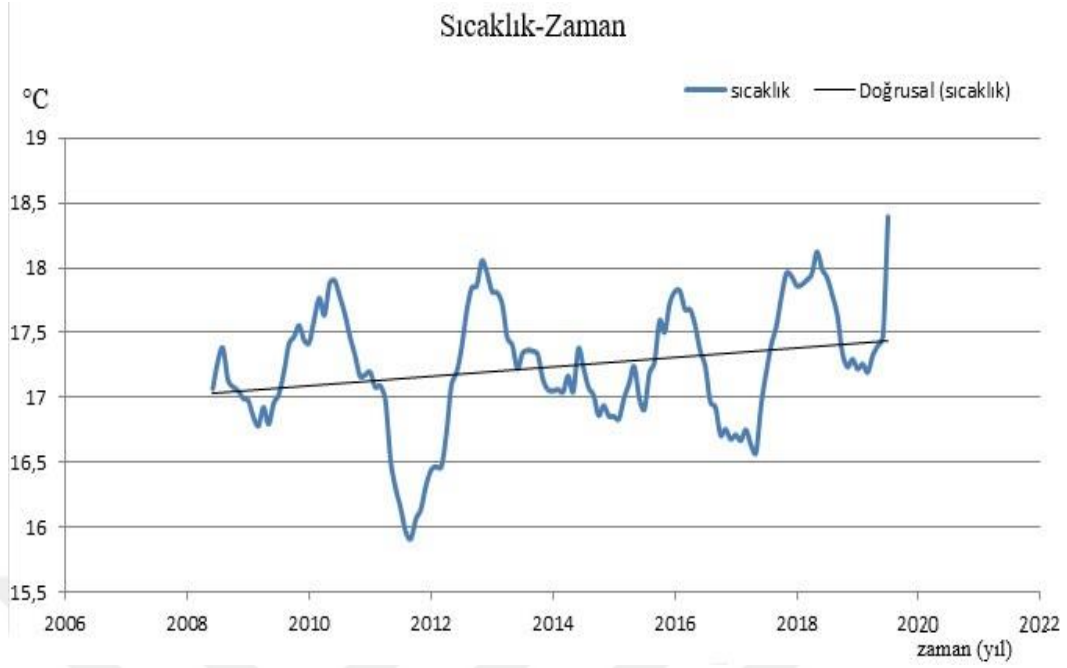
Şekil 3.7. Veriler üzerinde yapılan Fourier Analizi sonucu elde edilen grafikler. (a) $F_{10.7}$ Radyo akısının güç spektrumu, (b)Sunspot (Güneş leke sayısı) sayısı güç spektrumu, (c)Sıcaklık değerinin zamana bağlı güç spektrumu.

Çalışmada kullanılan verilerle zamana bağlı Sıcaklık, CO_2 , $F_{10.7}$ Radyo Akısı, Güneş Leke Sayısı verilerine aynı grafik üzerinde uygulandığında;

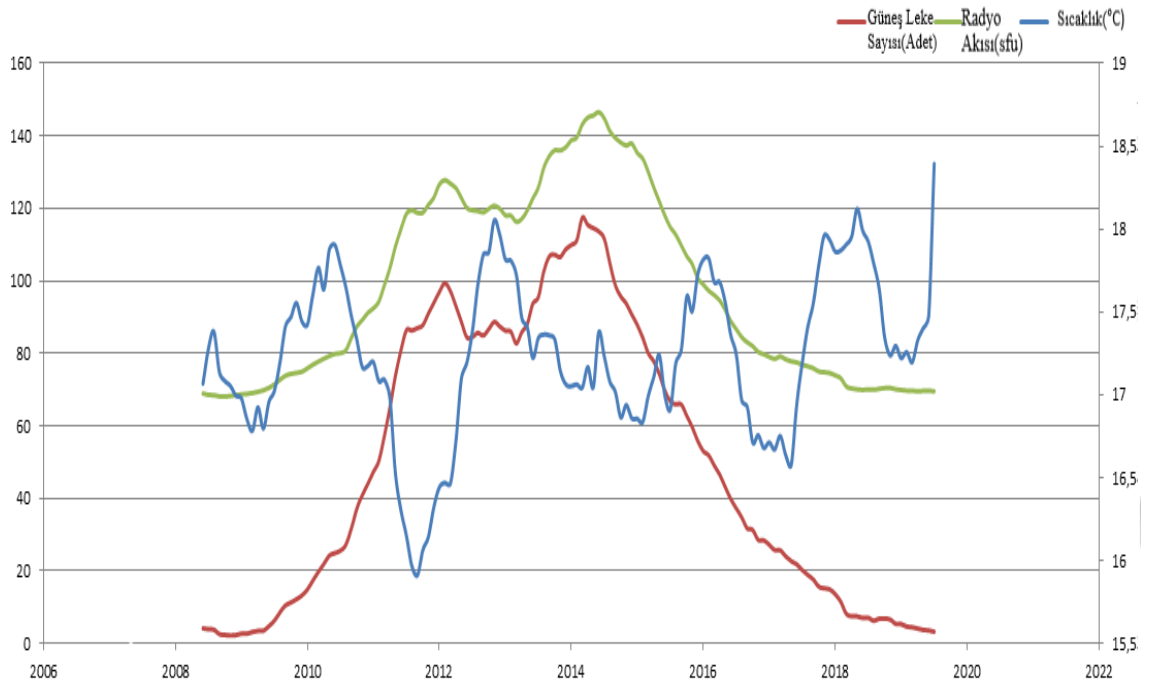


Şekil 3.8. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin aylık ortalamalarının zamana bağlı değişim grafikleri (sol eksen Güneş Leke Sayısı ve $F_{10.7}$ Radyo akısı verilerine sağ eksen sıcaklık ve CO_2 verilerine ait büyüklükleri göstermektedir).

Şekil 3.8 detaylı incelendiğinde aylık olarak ortalamalar ele alındığında mevsimsel değişimler etkisiyle dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Veriler 11 adımda yürüyen ortalama alınarak smooth edilerek (Şekil 3.9) tekrar bakıldığında mevsimsel geçiş etkisinin azaltılmasıyla incelendiğinde sıcaklık değerinin 2008-2020 yılları arası artış eğiliminde olduğu görülmektedir.



Şekil 3.9. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin 11 adımda yürüyen ortalama sıcaklık değerlerinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 3.10. 2008-2020 yılları arası çalışmada kullanılan verilerin 11 adımda yürüyen ortalama değerlerinin zamana bağlı değişimi.

Şekil 3.10 incelendiğinde Güneş leke sayısı ve $F_{10.7}$ Güneş radyo akısı verileri ve sıcaklık verisi arasında yaklaşık 2011 yılında bir uyumsuzluk görülmektedir. 2011 yılının iklimsel olaylarına baktığımızda bu yıl dünyada o güne kadar gerçekleşen en sıcak La Nina olayına tanıklık etmiştir. Ancak Türkiye’deki sıcaklıklar La Nina olayına rağmen düşüş göstermiştir⁴². Türkiye’de Dünya yıllık ortalama sıcaklığı altında bir ortalama sıcaklık verisi kaydedilmiştir⁴³. Dolayısıyla, 2011 yılındaki sıcaklık düşüşünün sebebinin yanardağ patlamaları olduğu düşünülmektedir⁴⁴. 2010 yılı sonunda İzlanda da Eyjafjallajökull yanardağ patlaması önemli bir patlama olarak tarihe geçmiştir. Bu olayın gerçekleşme tarihi uyumsuzluk sebebi olabilir.



⁴²<https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2011-iklim-raporu.pdf>

⁴³ <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sicaklik-i-85727>

⁴⁴<https://www.aa.com.tr/tr/yasam/turkiye-gittikce-isinacak/133053>

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada 24. Güneş Çevrimi boyunca sıcaklık verileri; Güneş leke sayısına, $F_{10.7}$ radyo akısına, sera gazı verilerine ve aerosol verilerine bakılarak incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Güneş Aktivitesinin anlamlı göstergeleri olarak kabul edilen Güneş leke sayısı ve $F_{10.7}$ Radyo Akısı arasında anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Güneş leke sayısı ve $F_{10.7}$ Radyo Akısı ile sıcaklık verileri arasında uyum söz konusu değildir. Bu çalışmada bu veriler arasındaki uyumsuzluk sebebi olabileceği düşünülen günümüzde atmosferdeki oranları maksimum değerleri izleyen sera gazı ve aerosol verileri de analizlere katarak etkileri incelenmiştir. Aylık ortalama ve yıllık ortalama değerler karşılaştırıldığında istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilememiştir ancak 11 adımda yürüyen ortalama değerler alındığında ise istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre ise Güneş leke sayısı, $F_{10.7}$ Radyo Akısı ve CO_2 verilerindeki değişimin sıcaklıktaki değişimi düşük bir yüzdeyle açıklayabilmekte olduğu söylenebilmektedir.

Yine yapılan çalışmada 2008-2020 yılları arasında kullanılan verilerden CO_2 , $F_{10.7}$, Güneş leke sayısı ile sıcaklık verileri arasında istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilecek sonuçlar elde edilememiştir. Ancak göz önüne alınması gereken durumlardan biri de sera gazları ve aerosollerin sıcaklık üzerinde bazı durumlarda ters, bazı durumlarda aynı yönlü etkiye sahip olup birbirlerinin etkisini maskeleyebilirler. Özellikle aerosollerin bölgesel veriler olup bölgeden bölgeye fazla değişim göstermesi ve atmosferde kısa süre kalmaları genel olarak yorumlanmasında dezavantaj oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında alınmayan bölgesel iklim özelliklerinin de (bulut, yağmur vb.) bu genel verileri etkilediği ve verilerdeki bazı uyumsuzlukların oluşmasına sebep olabileceği öngörülmelidir.

24. Güneş Çevrime bakıldığında bu çevrim diğer Güneş çevrimlerine nazaran leke sayıları açısından son 100 yılın en düşük genlikli çevrimlerinden biri olmuştur. Lekesiz gün sayısı diğer çevrimlere oranla oldukça yüksektir. Yani bu çevrim için Güneş aktivitesi diğer çevrimlere nazaran daha düşüktür.

Sera gazlarının atmosferik oranlarının her geçen gün ciddi derecede artışlar gösterdiği ve alınan önlemlerin uygulanmasının gerekliliği ortadadır. Eğer önlemler yerine getirilmez ise yapılan tahminler bize yakın geleceğimizin buzulların erimesi, yangın, sel vb. gibi pekte iç açıcı olmayan iklim felaketlerini getireceğini göstermektedir. 2015 yılında Paris anlaşması uyarınca ülkeler ısınmayı $2^{\circ}C$ 'nin altında tutmayı öngördüler. IPCC 2021 raporu doğrultusunda 2011-2020 yılları arasında sanayi öncesi emsal çizgiye bakıldığında dünya sıcaklığının bu döneme göre ortalama $1.09^{\circ}C$ artış gösterdiğini ortaya koymaktadır. Gelecek yıllarda önlemler uygulanmazsa sıcaklık artışının beklenenin de üzerine çıkması kaçınılmaz olabilir.

Unutulmamalıdır ki bu dünya tüm insanlığın yaşam alanıdır ve yaşam alanımızın tahrip olması hiçbirimizin menfaatlerine uymamaktadır. Bu sebeple iklim değişimi problemi tüm dünya için önemli bir problemdir ve çözümü için birçok çalışma yapılmaktadır ve yapılmaya da devam edilmesi gerekmektedir.



6. KAYNAKLAR

- Akın, G. 2006. Küresel Isınma Nedenleri ve Sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, Ankara, sayı 46-2. ss. 29-43.
- Anne, Lihua. , Vaquero, Jose M. 2020. New evidence of the Suess/de Vries cycle existing in historical naked-eye observations of sunspots, Open Astronomy, ss. 28-31
- Asplund, M. , Grevesse, N. ,Sauval, A. J. , Scott, P. 2009. The chemical composition of the Sun. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, sayı 47, ss. 481-522.
- Babcock, H. W. , Babcock, H. D. 1955. The Sun's Magnetic Field 1952-1954. The Astrophysical Journal, sayı 121, 349 s.
- Bravo, S., Stewart, G. A., 1997. The Correlation Between Sunspot and Coronal Hole Cycles and a Forecast of the Maximum of Sunspot Cycle 23. Solar Physics, cilt 173, ss. 193-198.
- Brunt David 1931. Gözlemlerin Kombinasyonu (2. baskı). Cambridge Üniversitesi Yayınları, 250 s.
- Bray, R. J. , Loughhead, R. E. , 1964. Sunspots, Dover, New York, ss. 257-283
- Carrasco, V. M. , Aparicio A. J. , Vaquero J. M. 2014. Sunspot Catalogue of the Valencia Observatory (1920-1928) ss. 5-11
- Carrasco, V. M. , Lefèvre L. , Vaquero J. M. 2015. Equivalence relations between the Cortie and Zurich sunspot group morphological classifications. Solar Physics; cilt. 290, 1445 s.
- Chapman, A. 2008. Thomas Harriot: ilk teleskopik astronom. Journal of the British Astronomical Association, sayı 118, ss. 315-325.
- Clette, F. , Svalgaard, L. , Vaquero, J. M. , Cliver, E. W. 2014. Revisiting the Sunspot Number. Space Science Reviews, Cilt. 186, ss 35-103.
- Cortie, A. L. 1901. On the Types of Sun-Spot Disturbances. Astrophys. cilt 13, ss. 260–264.
- Eddy J.A. 1976. The Maunder Minimum. Science, sayı 192 (4245), ss. 1189-1202.
- Elkins, L. T. Tanton 2006. The Sun, Mercury ve Venus . Facts on File, USA, ss. 83-137
- Eren, S. 2017. Güneş Leke Gruplarının Güneş Patlaması Üretme Potansiyellerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, ss. 11-13.
- ESO. 1997. The Biggest Star in the Sky. <https://www.eso.org/public/news/eso9706/> [Son erişim tarihi: [05.01.2023].
- Gleissberg, W. 1944. A Table of Secular Variations of the Solar Cycle , Journal of Geophysical Research. sayı 49, 243 s.

- Goupil, MJ., Lebreton, Y., Marques, JP., Samadi, R., Baudin, F. 2011. Open issues in probing interiors of solar-like oscillating main sequence stars 1. From the Sun to nearly suns, Journal of Physics: Conference Series, 20 s.
- Hale, George E. , Ellerman, Ferdinand, Nicholson, S. B. , Joy, A. H. 1919. The Magnetic Polarity of Sun-Spots. Astrophysical Journal, sayı 49, 153 s.
- IPCC Raporu , 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change, İsviçre.
- IPCC Raporu , 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change , İsviçre.
- Iliadis, C. 2007. Nuclear physics of stars. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 666 s.
- Jacob T. VanderPlas 2018. Understanding the Lomb-Scargle Periodogram, The American Astronomical Society, The Astrophysical Journal Supplement Series, cilt 236, sayı 1, 28 s.
- Jess, D.B., Morton, RJ., Verth, G; Fedun., Grant, S.T.D., Gigiozis, I. 2015. Multiwavelength Studies of MHD Waves in the Solar Chromosphere. Space Science Reviews. cilt 190, Sayı 1-4, ss. 103-161.
- Karslıoğlu, A. B. 2020. Umbral Parlak Noktaların Güneş Leke Morfolojisine Göre Davranışlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, ss. 8-16
- Kılçık, A. 2002. Güneş Aktivitesinin Arz İklimi Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, ss. 9-11.
- Köklü, N., Büyüköztürk Ş., Çokluk Ö. 2006. Sosyal Bilimler İçin İstatistik. Pegem A, 280 s.
- Martins, F., Depagne, E., Russel, D., Mahy, L. 2013. Evidence of quasi-chemically homogeneous evolution of massive stars up to solar metallicity, EDP Sciences, Les Ulis, Fransa, 10 s.
- McIntosh, 1990. P. S. The classification of sunspot groups. Solar Physics sayı 125 (1990), ss. 251– 267.
- Mossman, J.E. 1989. A comprehensive search for sunspots without the aid of a telescope, 1981-1982, Royal Astronomical Society, Quarterly Journal, Cilt 30, ss 59-64.
- Observatorio de Valencia: 1928a, Publicaciones del Observatorio Astronómico, cuaderno nº 2, Valencia. , Solar Physics, sayı 289, 20 s.
- Rogelj, J. , Shindell, D., Jiang, K., Bešta, S., 2018. Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. IPCC SR1 5, ss. 93-174.
- Sackmann, I.J. , Boothroyd , A. I. , Kraemer , K.E. 1993. Our Sun. III. Present and Future. Astrophysical Journal. cilt 418, 457 s.
- Salaris, M., Cassisi, S. 2005. Evolution of Stars and Stellar Populations. Wiley-VCH, 388 s.
- Samset, B. H. 2016. Aerosols and Climate. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science, Oxford University Press USA. ISO 690

- Schwabe, H. 1844. Sonnenbeobachtungen im Jahre 1843. Dessau'da Von Herrn Hofrath Schwabe. Astronomische Nachrichten, cilt 21, sayı 15, 233 s.
- Sherwood, J. 2002. Dark Edge of Sunspots Reveal Magnetic Melee. University of Rochester, USA. 14627-0033
- Simon, G. W. , Leighton, R. B. 1964. Velocity Fields in the Solar Atmosphere. I. Preliminary Report. Astrophys Journal, sayı 135, 474 s.
- Stix, M. 1999. The Sun. Springer, ss. 284- 332.
- Stix, M. 2004. The Sun. 0941-7834. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, ss. 428-431.
- Şekeryapan C. 2018. Geçmişî Takip Etmek–Paleolimnoloji, Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 16 (2), ss. 201- 215.
- Tapping K. F., 2013. The 10.7 cm solar radio flux ($F_{10.7}$). Space Weather, sayı 11, ss. 394- 406.
- Türkeş, M., Sümer, U. M. ve Çetiner, G., 2000. Küresel İklim Değişikliği ve Olası Etkileri. Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları, İstanbul Sanayi Odası, 7-24, ÇKÖK Gn. Md. , Ankara.
- Valavanidis, A., Fiotakis, K. ve Vlachogianni, Thomais. 2008. Airborne particulate matter and human health: toxicological assessment and importance of size and composition of particles for oxidative damage and carcinogenic mechanisms, J Environ Sci Health C Environ Carcinog Ecotoxicol Rev, USA, ss. 339-362.
- Vaquero, JM., Vazquez, M. 2009. The Sun Recorded Through History. Astrophysics and Space Science Library, ASSL, cilt 3, 377 s.
- Zechmeister M. Kürster M. 2008. The generalised Lomb-Scargle periodogram A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms, Astronomy&Astrophysics, cilt 496, sayı 2, ss. 577 – 584.
- Waldmeier, M., 1955. Polare Fackeln. Mit 6 Textabbildungen. Zeitschrift für Astrophysik sayı 38 (1955) , ss. 37–54.

ÖZGEÇMİŞ

Eda URAS

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-Devam Ediyor	Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	Çukurova Üniversitesi
2008-2012	Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Adana

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Öğretmen	Milli Eğitim Bakanlığı
2015-Devam Ediyor	Fizik Öğretmenliği, Antalya