T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

GÜNEŞ LEKE ÇEVRİMLERİ TAHMİN YÖNTEMLERİ VE 25. ÇEVRİMİN BEKLENEN ÖZELLİKLERİ

Yüksek Lisans Tezi

Berna AY

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

İzmir
2022

T.C.
EGE ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

GÜNEŞ LEKE ÇEVRİMLERİ TAHMİN YÖNTEMLERİ VE 25. ÇEVRİMİN BEKLENEN ÖZELLİKLERİ

Berna AY

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Esin SİPAHİ

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astrofizik Yüksek Lisans Programı

İzmir
2022

Berna AY tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan "**Güneş leke çevrimleri tahmin yöntemleri ve 25. çevrimin beklenen özellikleri**" başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 31.08.2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:		**İmza**
Jüri Başkanı	**: Doç. Dr. Hasan Ali DAL**	**.....**
Raportör Üye	**: Dr. Öğr. Üyesi Şule AYAR ÖZBAL**	**.....**
Üye	**: Doç. Dr. Esin SİPAHİ**	**.....**

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "**Güneş Leke Çevrimleri Tahmin Yöntemleri Ve 25. Çevrimin Beklenen Özellikleri**" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

31 / 08 / 2022

İmzası

Berna AY

ÖZET

GÜNEŞ LEKE ÇEVRİMLERİ TAHMİN YÖNTEMLERİ VE 25. ÇEVRİMİN BEKLENEN ÖZELLİKLERİ

AY, Berna

Yüksek Lisans Tezi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Esin SİPAHİ
Ağustos 2022, 88 sayfa

Leke çevrimi, güneş aktivitesinin günümüze kadar birçok bilim insanı tarafından çalışılmış özelliklerinden biridir. ~11 yıllık çevrimin özelliklerinin belirlenmesi için güneş leke gruplarının alanları, konumları, eğim açıları vb. nicelikleri ölçülmüş ve birbirleri ile olan ilişkileri incelenerek tüm çevrimler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak yeni çevrimlerin özellikleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Güneş aktivitesi için farklı yöntem ve modeller ile yapılan tahmin çalışmalarının gözlemler ile tam olarak uyuşmadığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak güneş aktivitesinin kaynağı olan süreçlerin tam olarak anlaşılamamış olması gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında, güneş leke çevrimi tahmini için literatürde yer alan çalışmalar toplanarak kullanılan tahmin yöntemleri incelenmiş ve günümüzde devam etmekte olan 25. güneş leke çevrimi için öngörüler güneş leke gözlemleri ile karşılaştırılarak tartışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Güneş Lekeleri, Güneş Çevrimi, Çevrim Tahmin Yöntemleri.

ABSTRACT

THE PREDICTION METHODS OF SUNSPOT CYCLES AND THE EXPECTED FEATURES OF 25TH CYCLE

AY, Berna

MSc in E.U., Department of Astronomy and Space Sciences
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Esin SİPAHİ
August 2022, 88 pages

Spot cycle is one of the features of solar activity that has been studied by many scientists until today. In order to determine the characteristics of the ~11-year cycle, the areas, positions, angles of inclination of the sunspot groups, etc. quantities were measured and all cycles were compared with each other by examining their relations with each other. The properties of new cycles have been tried to be estimated using different methods. It has been seen that the prediction studies made with different methods and models for solar activity do not agree with the observations completely. It is stated that the reason for this is not clearly understanding of the processes that are the source of solar activity. In this thesis, the studies about sunspot cycle prediction were collected in the literature and the prediction methods used were reviewed and the predictions for the 25th sunspot cycle, which is ongoing today, were compared with the sunspot observations and discussed.

Keywords: Sunspots, Solar Cycle, Prediction of Solar Cycle.

ÖNSÖZ

Güneş üzerine yapılan çalışmalar bilim dünyasında her dönem önemli bir yer edinmiştir. Bu çalışmalar sadece Güneş'i anlamak için değil aynı zamanda güneş aktivitesinin yer üzerindeki etkisinin anlaşılması için de önemlidir. Güneş günümüzde 25. leke çevrimi içerisindedir. Çevrimin nasıl geçeceğini önceden bilmek uydu çalışmalarının planlanmasında etkilidir. Bu nedenle güneş çevrim tahminleri üzerine literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Bu tez çalışmasında literatürde yer alan çevrim tahmin yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular mevcut gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Bu tez çalışmasında 25. Güneş çevrimi için tahminlerde bulunulmuş ve literatürde yer alan diğer tahminlerle karşılaştırılmıştır.

İZMİR
31/08/2022

Berna AY

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇ KAPAK ii

KABUL ONAY SAYFASI iii

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI v

ÖZET vi

ABSTRACT ix

ÖNSÖZ xi

İÇİNDEKİLER DİZİNİ xiii

ŞEKİLLER DİZİNİ xvii

ÇİZELGELER DİZİNİ xxi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xxiii

1.GİRİŞ 1

1.1 Tezin Amacı 2

2. GENEL KISIMLAR 3

2.1 GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ 3

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

2.1.1 Güneş'in İç Yapısı 4

2.1.2 Güneş Atmosferi 7

2.2 GÜNEŞ DİNAMOSU 14

2.2.1 Diferansiyel Dönme 14

2.2.2 Dinamo 14

2.2.3 Sonlandırıcılar 15

2.2.4 Uzay Havası 16

2.3 GÜNEŞ LEKELERİ VE LEKE ÇEVRİMİ 17

2.3.1 Leke Gözlemlerinin Tarihçesi 17

2.3.2 Lekelerin Genel Özellikleri 19

2.3.3 Leke Çevriminin Genel Özellikleri 21

2.3.4 Leke Çevriminin İklim Üzerine Etkisi 27

2.3.5 Leke Çevrim Tahminin Önemi 30

3. LEKE ÇEVRİMİ TAHMİN YÖNTEMLERİ 31

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

3.1 Dinamo Modeline Dayanan Yöntemler....33

3.2 Öncü Yöntemler....34

3.3 İstatistiksel Yöntemler....36

3.4 Lineer Olmayan Modele Dayanan Yöntemler....37

3.5 Tayfsal Yöntemler....37

3.6 Neural Ağlar Yöntemi....38

4. MATERYAL VE YÖNTEM....39

5. BULGULAR....41

5.1 Aylık Ortalama Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi....41

5.2 13 Aylık Ortalamalar İle Düzeltilmiş Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi....43

5.3 12-24. Çevrimler Arası Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi....46

5.4 Grafik Okuma Yöntemi İle Çevrimlerin Genel Özellikleri....48

6. SONUÇ VE ÖNERİLER....51

KAYNAKLAR DİZİNİ....55

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

TEŞEKKÜR 61

ÖZGEÇMİŞ……...62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil Sayfa

2.1. Güneş'in yapısı ve atmosfer katmanları 4

2.2. Güneş'in iç yapısı 5

2.3. Güneş içerisinde geçiş bölgesinin yeri 6

2.4. Güneş'in yarıçapına bağlı olarak yoğunluk ve sıcaklık değişimi.....6

2.5. Güneş'in atmosfer katmanları 7

2.6. Güneş lekelerinin bir görüntüsü 8

2.7. Bir güneş lekesindeki umbra ve penumbra bölgelerinin görüntüsü 8

2.8. Fakülalar. 9

2.9. Kromosfer katmanının bir görüntüsü 10

2.10. Kromosfer ve prominensler.....11

2.11. Korona katmanının bir görüntüsü.....12

2.12. Korona'daki miğferimsi yapılar. 13

2.13. Güneş çevriminin manyetik dinamo modeli.....15

2.14. Her panelde bulunan noktalı dikey çizgiler, Leamon vd. tarafından ölçülen 140 yıllık (1860-2020) sonlandırıcılardır 16

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil Sayfa

2.15. 1826 – 1843 yılları arasında Heinrich Schwabe tarafından gözlemlenen güneş lekesi grupları 18

2.16. Her sınıfın örneği ile birlikte üç bileşenli McIntosh sınıflandırması.....20

2.17. Eğim açısı gösterimi. 20

2.18. Güneş lekesindeki Zeeman yarılması 21

2.19. Hale'nin polarite yasasının yüzeydeki görünümü. 22

2.20. Ardışık iki çevrimde güneş lekelerinin ve Güneş'in manyetik polaritesi değişimi……22

2.21. Üstteki şekil enleme ve zamana bağlı güneş lekelerini gösteren kelebek diyagramıdır.....23

2.22. 1. taralı alan Ortaçağ Maksimumunu, 2. Spörer minimumunu, 3. Maunder Minimumu temsil eder……..24

2.23. Gleissberg ve Suess çevrimi 24

2.24. Waldmeier etkisi..…..25

2.25. Leke çevriminde görülen Gnevyshev boşluğu.. 26

2.26. Dört faklı aktivite için kuzey- güney asimetrisi 26

2.27. İklimi etkileyen değişkenler 27

2.28. C-14 yöntemine göre tespit edilmiş minimum-maksimum dönemler 28

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil Sayfa

2.29. Güneş lekesi-iklim ilişkisi. 29

2.30. Güneş leke sayısı değişiminin küresel sıcaklık ile karşılaştırılması gösterilmektedir. 29

3.1. Dinamo modeli kullanılarak 24. çevrim tahmini.....34

3.2. 20 güneş çevrimi için minimum noktalarının ve maksimum genlikteki zamanların karşılaştırılması……..35

3.3. Öncü yöntem kullanılarak güneş çevrimi tahminine bir örnek çalışma 35

3.4. Güneş çevrimi parametrelerini gösteren şematik bir diyagram. 36

3.5. Her bir çevrim için leke sayıları (S_{max}) ile çevrimin iniş süresi (T_a) arasındaki korelasyon.....36

3.6. Lineer olmayan bir model ile tahmin edilen güneş çevrimleri……..37

3.7. 23-38. güneş çevrimleri tahminleri.....38

5.1. Aylık ortalama güneş leke verileri.....41

5.2. Aylık ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı…….....41

5.3. Aylık ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil…….43

5.4. 13 aylık ortalamalar ile düzeltilmiş güneş leke verileri. 43

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

Şekil Sayfa

5.5. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı…….…..…44

5.6. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil……...44

5.7. 12-24. çevrim güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı…….….47

5.8. 12-24. çevrim güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil……47

5.9. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı……49

5.10. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin çevrim uzunluğu…….……..49

5.11. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı…….....49

5.12. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı……..…50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge Sayfa

2.1. Güneş'in genel özellikleri..... ……...3

5.1. Aylık ortalama güneş lekesi verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler. 42

5.2. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş lekesi verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler……45

5.3. 12-24. güneş çevrimi leke verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler.. 46

5.4. 12-24. güneş çevrimi leke verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler. 48

6.1. 25. güneş çevrimi için literatürde yer alan tahminler. 51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$R_\odot$	Güneş Yarıçapı
H_α	Hidrojenin Alpha Çizgisi
P	Dönem
K	Etkin Sıcaklık Birimi
log g	Yüzey Çekimi
S/N	Sinyal- Gürültü Oranı
T	Tesla
H	Hidrojen
He	Helyum
W	Watt

Kısaltmalar

SILSO	Sunspot Index and Long-term Solar Observations
PDF	Probability Distribution Function
KDE	Kernel Density Estimator
SLD	Spotless Days
LR	Linear Regnession
RF	Random Forest

RBF	Radial Basis Function
SVM	Support Vector Machine

1.GİRİŞ

Güneş gözlemlerinin en belirgin özellikleri güneş leke ve leke gruplarıdır. Çok uzun dönemlerden beri güneş lekelerinin kayıtları tutulmaktadır. Lekeler, fakülalar ve flare olayları şeklinde kendini gösteren güneş aktivitesi uzun zamandır çalışılmaktadır. Benzer aktivite yapılarının diğer yıldızlarda da gözlenmesi güneş aktivitesi üzerine yapılan çalışmaları daha da önemli kılar. Güneş aktivitesini ne kadar iyi anlarsak diğer yıldızlarda çok daha şiddetli olarak gözlenen bu aktivite yapılarının doğasını daha iyi çözümleyebiliriz. Güneş üzerine yapılan çalışmalar güneş aktivitesinin, güneşteki plazma hareketleri ile manyetik alan arasındaki etkileşimin bir sonucu olduğunu ortaya koymuştur.

Uzun dönemlerdir çalışılan güneş lekelerinin doğaları halen tam olarak anlaşılamamış olsa da güneş lekelerinin sayılarının ortalama 11 yıllık dönemler ile değiştiğini çok iyi biliyoruz. Bu dönemli değişime güneş leke çevrimi denir. 25. güneş leke çevrimini yaşadığımız şu günlerde çevrimin maksimumuna doğru çıkışı gözlemliyoruz. 2026 yılına kadar güneş leke sayıları ile birlikte güneş flarelerinin de sayı ve şiddetlerinde artış beklenmektedir.

Güneş patlamaları sırasında uzaya yüksek enerjili parçacıklar fırlatılacağından bu durum yer yörüngesinde dolanan uydular ve uzay istasyonunda çalışan astronotları olumsuz etkiler. Bu sebeple güneş aktivite çevriminin önceden tahmini önemlidir. Literatürde güneş aktivite çevrimlerinin tahmini için birçok çalışma yer almaktadır. Güneş dinamosu tarafından manyetik alanının üretimi ve taşınması ile ilgili bilgilerimizi güneş çevrimi tahminleri ile test edebiliriz.

Güneş aktivitesinin iklim üzerine olan etkisi de bilimsel çalışmalarda oldukça fazla yer alan bir konudur. Küresel iklim değişimleri ile güneş aktivitesi arasındaki ilişkiyi gösteren en iyi kanıtlardan biri C-14 izotopunun değişimidir. Kozmik ışınlar atmosferdeki azot atomlarına çarparak az bulunan C-14 izotopunu üretir. Güneş manyetik olarak daha etkin olduğu dönemlerde bir kalkan görevi görerek Yer'e düşen kozmik ışın miktarını azaltır. Güneş aktivite çevrimi tahminleri iklim değişimi çalışmalarında da kullanılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Güneş leke çevrimi tahminleri farklı birçok yöntem kullanılarak yapılmaktadır. Güneş aktivitesi için farklı yöntem ve modeller ile yapılan tahmin çalışmalarının gözlemler ile tam olarak uyuşmadığı literatürde yer alan çalışmalarda ifade edilmektedir. Bunun nedeni olarak güneş aktivitesi süreçlerinin tam olarak anlaşılamamış olması gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında, güneş leke çevrimi tahmini için literatürde yer alan çalışmalar incelenerek kullanılan çevrim tahmin yöntemleri belirlenmiş ve özetlenmiştir. Günümüzde devam etmekte olan 25. güneş leke çevrimi için yapılan öngörüler yine literatürdeki çalışmalardan toplanmıştır. SILSO güneş verileri kullanılarak dönem analizi yöntemi ile 25. çevrimin genel özellikleri bu tez çalışmasında tahmin edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada 25. çevrim için belirlenen özellikler literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2'de Güneş'in genel özellikleri ve aktivite yapıları tanımlanırken, Bölüm 3'te güneş çevrimi tahmin yöntemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Tezde incelenen güneş verileri ve yapılan tüm analizler Bölüm 4'te yer almaktadır. 25. Güneş çevrimine ilişkin bulgular Bölüm 5'te verilmiştir. Sonuçlar ve tartışma kısmı Bölüm 6'da sunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

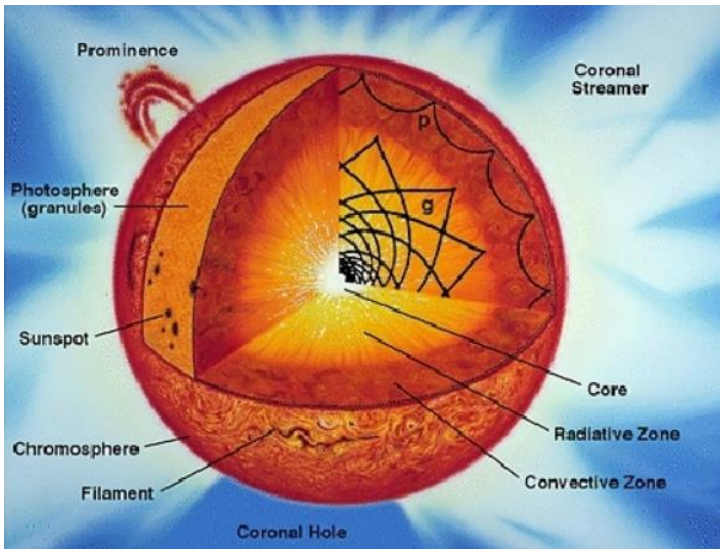
2.1 GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ

Samanyolu Gökadası'nın Orion kolunda bulunan Güneş G2V tayf türünden soğuk bir yıldızdır ve yaklaşık 4.57 milyar yıldır varlığını sürdürmektedir. Diğer yıldızları anlamak için iyi bir model yıldız olan Güneş, Güneş sisteminin merkezinde yer almaktadır. Güneş'in kütlesi, Güneş sisteminin kütlesinin yaklaşık %99.8'lik kısmına karşılık gelir. Evrimsel olarak anakol aşamasında olan Güneş'in merkez kısmındaki yoğunluk ve sıcaklık nükleer tepkimeler ile enerji üretimini sağlaması için yeterlidir. Merkezindeki hidrojeni helyuma dönüştürerek enerjisini sağlar. Güneş'in genel özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Güneş'in genel özellikleri (Zeilik vd., 2018).

Parametre	**Değeri**
Kütle	1.99×10^{30} kg
Yarıçap	6.96×10^{8} m
Ortalama Yoğunluk	1410 kg/m^3
Yüzey Çekim İvmesi	2.74×10^{2} m/s^2
Kaçış Hızı	6.18×10^{5} m/s
Etkin Sıcaklık	5777 ^{0}K
Işınım Gücü	3.86×10^{26} W
Manyetik Alanı;	
Güneş Lekelerinde	0.3 T
Bütün Diskte	0.0001 T
Network (Ağ)'larda	0.002 T
Plaj Bölgelerinde	0.02 T

Güneş bir atmosfer ve bir iç kısımdan oluşmaktadır (bkz. Şekil 2.1). Fakat iki kısım arasında belirgin bir sınır yoktur. Güneş'in tüm özellikleri üzerinde elde edilen bulgular kullanılarak diğer yıldızlar hakkında da bilgi edinilebilir.



Şekil 2.1. Güneş'in yapısı ve atmosfer katmanları (https://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/Helioseismology/large/mdi004_prev.jpg adresinden alınmıştır).

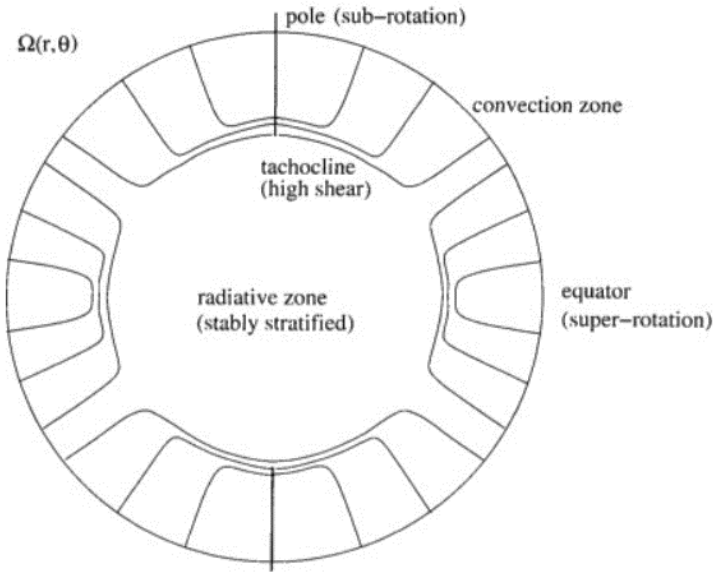
Güneş üzerine yapılacak çalışmalardan belirlenen fiziksel süreçlerin diğer yıldızlara da uygulanması Güneş'i iyi bir astrofiziksel laboratuvar haline getirir.

2.1.1 Güneş'in İç Yapısı

Güneş'in iç yapısı hakkında gerçek değerlere yakın tahminlerde bulunmamızı sağlayan gözlemler nötrino akısı ve doppler kayma ölçümleridir. Güneş'i oluşturan elementlerin %92.1'i hidrojen, %7.8'i helyum, %0.1'i diğer element atomlarıdır. Güneş'in iç kısmı çekirdek, radyatif katman, arayüz katmanı ve konvektif katman olmak üzere 4 kısma ayrılır. Güneş'in iç yapısını betimleyen bir görüntü Şekil 2.2'de görülmektedir.

Çekirdek

Sıcaklığı yaklaşık 15.6 milyon derecedir. Güneş'in yaydığı enerjinin kaynağı çekirdekte gerçekleşen nükleer füzyon tepkimeleridir. Kalınlığı yaklaşık 174.000 km olan çekirdek merkezden fotosfere kadar olan uzaklığın %25'ine kadar uzanır. Sıcaklığı, basıncı ve yoğunluğu üst sınırına doğru azalmaktadır. 150 g/cm^3 olan yoğunluk 20 g/cm^3'e, 15.6×10^6 K olan sıcaklık ise $7\text{-}8\text{x}10^6$ K'e düşmektedir.



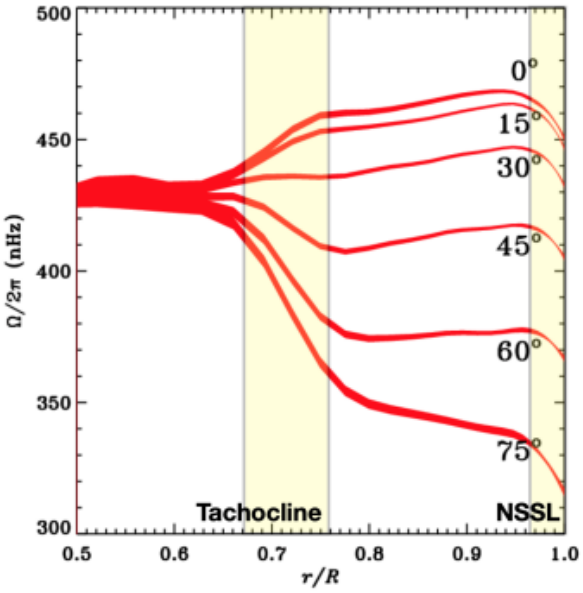
Şekil 2.2. Güneş'in iç yapısı (Gilbert, 2013).

Radyatif Katman

Çekirdek sınırından güneş yarıçapının yaklaşık % 75'ine kadar uzanan katmandır. Çekirdekte üretilen enerji ışınım yoluyla radyatif bölge boyunca yukarı doğru taşınır. Ancak merkezden yayınlanan bir fotonun yüzeye ulaşması iç kısmın opak olmasından dolayı 10^5-10^7 yıl zaman alır. Radyatif bölgenin başlangıcında 7×10^6 K olan sıcaklık 2×10^6 K'e, yoğunluk ise 20 g/cm^3 'ten 0,2 g/cm^3'e düşer.

Arayüz Katmanı (Tachocline)

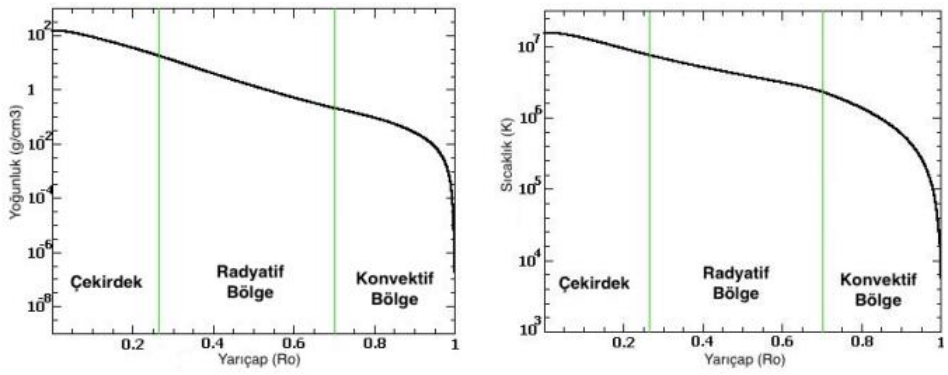
Radyatif bölge ile konvektif bölge arasında bulunan katmanda, dönme hızlarındaki değişimlerin manyetik alanları sararak güçlendirdiği varsayılmaktadır. Bu bölgeye tachocline (hız değişim bölgesi) adı verilmiştir. Güneş'teki leke bölgelerinin oluşmasına neden olan manyetik alanın bu katmanda üretildiği düşünülmektedir. Bu katmanın yeri Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Güneş içerisinde geçiş bölgesinin yeri (Matilsky ve Toomre, 2021).

Konvektif Katman

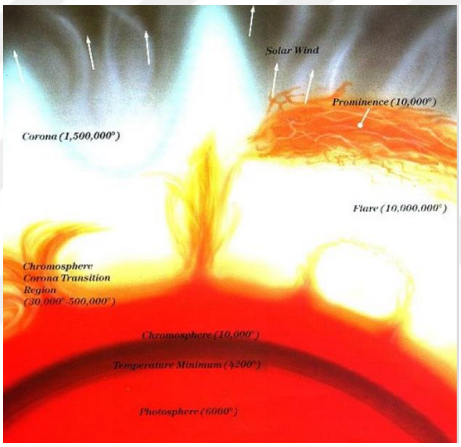
Kalınlığı yaklaşık 200.000 km olan konvektif katmanda enerji konveksiyon yoluyla yüzeye taşınır. Yükselen sıcak gaz küreleri granül olarak görünür. Enerjisini fotosfere taşıyan gaz küreleri soğuyarak konvektif bölgenin tabanına doğru batarlar. Boyutlarına bağlı olarak 3 farklı granül tanımlanır. Bunlar: Granül, mezogranül ve süpergranüllerdir. Granüllerin çapı yaklaşık 500-2000 km arasında değişirken süpergranüller ise 20000-30000 km ölçeklerinde gözlenebilir. Granül ve süpergranül boyutlarının arasındaki ölçeklerde görülen konveksiyon hücrelerine mezogranül denir. Güneş'in yarıçapına bağlı olarak yoğunluk ve sıcaklık değişimi Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Güneş'in yarıçapına bağlı olarak yoğunluk ve sıcaklık değişimi (Sarp, 2018).

2.1.2 Güneş Atmosferi

Güneş'in şimdiye kadar ele aldığımız plazma durumuna sakin güneş, atmosfer tabakalarında meydana gelen geçici süreçlere aktif güneş denir. Güneş'in çok keskin ve net bir kenarı varmış gibi görünür fakat gerçek bir yüzeyi yoktur. Güneş atmosferinin optik olarak ince olduğu katmandan kaynaklanan fotonları görürüz. Güneş'in atmosferi sadece yaklaşık 600 km'de optik olarak inceden optik olarak kalına değişir. Bu mesafe Güneş'in kenarına keskin görünümünü verir. Güneş'in atmosferi içten dışa doğru fotosfer, kromosfer, geçiş bölgesi ve korona olarak dört katmandan oluşur. Şekil 2.5'te bu katmanların yapısına ilişkin bir görüntü verilmiştir.

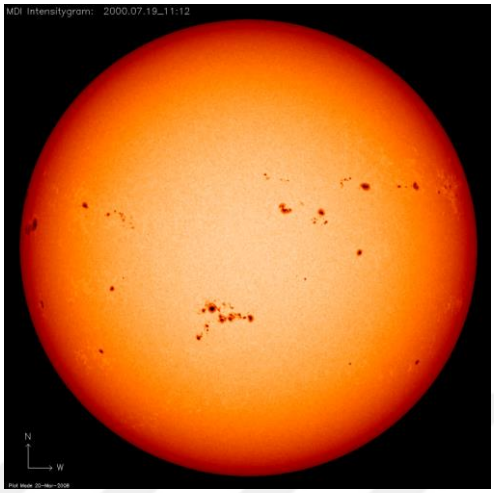


Şekil 2.5. Güneş'in atmosfer katmanları (https://history.nasa.gov/EP-177/i3-3.jpg adresinden alınmıştır).

Fotosfer

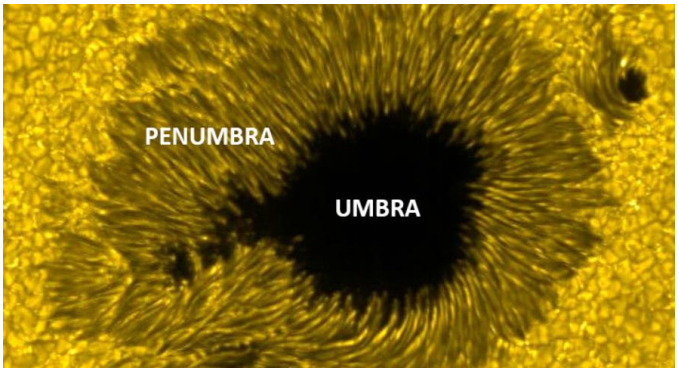
Gözlenebilen fotonların kaynaklandığı bölge olarak tanımlanır. Güneş atmosferinin en alt katmanı olan fotosferin kalınlığı yaklaşık 500 km'dir. Fotosferin tabanında yaklaşık 5800 K olan sıcaklık 4400 K'e kadar düşer. Sıcaklığın 4400 K'e düştüğü bölge fotosferin üst sınırı olarak tanımlanır. Fotosferde gözlenen yapılar güneş lekeleri, faküla ve granüllerdir. Arayüz katmanında oluştuğu düşünülen manyetik alan güneş plazması ile etkileşim içerisindedir. Manyetik alan ve plazma birlikte hareket eder. Güneş'in iç kısmında plazma basıncı, manyetik basınca göre daha baskındır, manyetik alanlar plazma tarafından taşınır. Şekil 2.6'da görülen güneş lekeleri, manyetik alanların yoğunlaştığı yerlerde Güneş'in yüzeyinde oluşan

karanlık bölgelerdir. Fotosferde yaklaşık 1 Gauss olan manyetik alan şiddeti Güneş lekesinde 3000 Gauss'a kadar yükselir. Çevrelerine göre daha soğuk olan leke bölgelerinin karanlık görünme nedeni konvektif ısı akışının yoğun manyetik alan tarafından baskılanmasıdır.



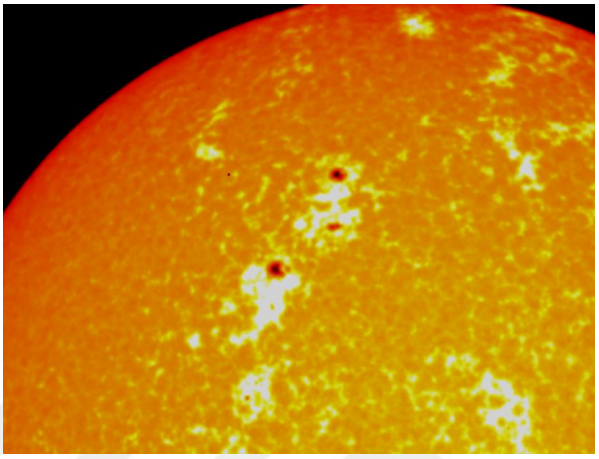
Şekil 2.6. Güneş lekelerinin bir görüntüsü (https://eoimages.gsfc.nasa.gov/images/imagerecords/37000/37575/20000719_1112_mdi_1024.gif adresinden alınmıştır).

Şekil 2.7'de görülen gibi bir lekenin merkezinde manyetik alanın daha yoğun olduğu karanlık bölgeye 'umbra`(gölge), umbrayı çevreleyen manyetik alanın umbraya nispeten daha az yoğun olduğu yarı karanlık bölgeye ise 'penumbra` (yarı gölge) adı verilir. Umbranın sıcaklığı 4000 K'e kadar düşebilir. Umbra'nın çapı 10000 ile 30000 km arasında değişirken, penumbra ise umbranın iki katı genişliğe ulaşabilir.



Şekil 2.7. Bir güneş lekesindeki umbra ve penumbra bölgelerinin görüntüsü (https://www.spaceweatherlive.com/images/help/zonnevlekken/sunspot_penumbra_umbra.jpg adresinden alınmıştır).

Fakülalar ise Şekil 2.8'de görüldüğü gibi fotosferden daha sıcak ve daha parlak bölgelerdir. Fotosferden daha fazla enerji yayan bu bölgeler Güneş lekeleri nedeniyle düşen fotosfer sıcaklığına katkıda bulunurlar. Fakülalar lekelerin habercisidir. Leke oluşmadan önce o bölgede parlak alanlar olarak oluşurlar. Ardından lekeler meydana gelir. Bu nedenle fakülalar daha çok lekelerin yakınında bulunurlar.



Şekil 2.8. Fakülalar (https://www.nasa.gov/images/content/558962main1_faculae0094-670.jpg adresinden alınmıştır).

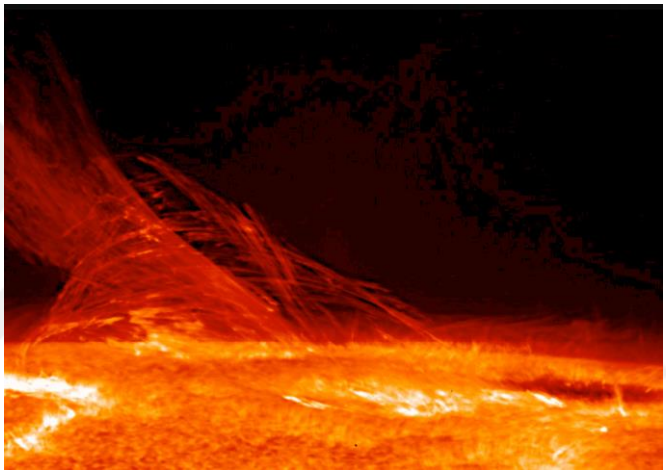
Granüller, konvektif katmandaki konveksiyon hareketinin fotosferdeki izdüşümüdür. Fotosfere taşınan konvektif hücreler daha parlak, soğuyarak iç kısma dönen konvektif hücreler ise karanlık olarak gözlenir. Fotosferde, daha parlak ve daha sönük yapılar şeklinde kendilerini gösterirler. Yaklaşık 700 km'lik bir genişliğe sahip olan bu bölgelerin ömrü beş ila on dakika arasındadır. Bu parçalı yapı, granülasyon olarak bilinir ve fotosferin tabanına doğru çıkıntı yapan konveksiyon bölgesinin tepesidir. Fotosferin tabanındaki granülasyon, alttaki konveksiyon bölgesi tarafından üretilen yükselen ve düşen gaz kabarcıklarından kaynaklanır.

Kromosfer

Kromosfer, Güneş'in fotosferin üzerinde bulunan atmosfer tabakasıdır. Tam Güneş tutulması esnasında H_α salmasının bir sonucu olarak kırmızı ince bir şerit gibi görünen kromosferin kalınlığı yaklaşık 1600 km'dir. Şekil 2.9'da olduğu gibi kırmızı görünmesinin nedeni hidrojen atomlarının 6563 Å dalgaboyunda ışınım

yapmasıdır. Kırmızı göründüğü için ‘renk küre` olarak adlandırılır. Sıcaklık, kromosferin alt sınırında yaklaşık 4300 K civarı bir minimum sıcaklığa düştükten sonra, geçiş bölgesine kadar sürekli artarak yaklaşık 25000 K’e ulaşır. Homojen olmayan yapısı nedeniyle alt-orta-üst kromosfer olarak kendi içinde üç kısımda incelenir. Enerjinin taşınması ışınım yoluyla ve mekanik dalgalarla gerçekleşir.

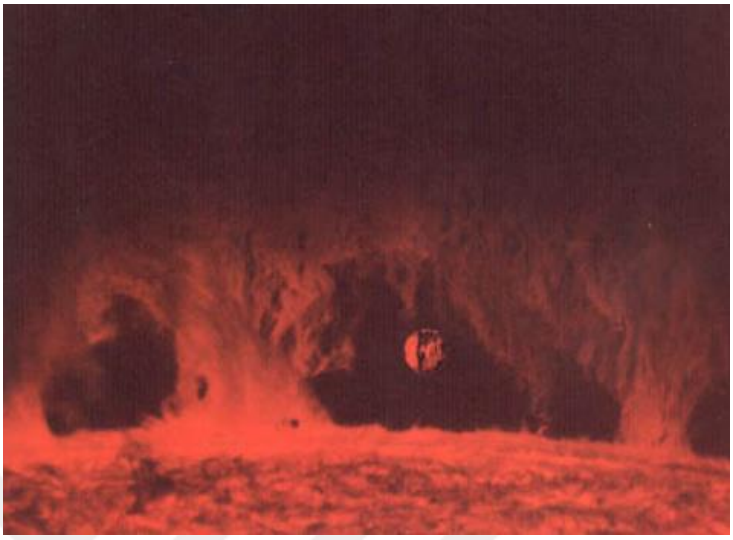
Kromosferde, ağ yapı, plaj bölgeleri, filamentler, prominensler, spiküller gibi yaşam süreleri birbirinden farklı birçok manyetik aktivite gözlenir. Kromosferik ağ yapıları, süper granüllerin sınırlarında bulunan manyetik alan bağlantılı parlak yapılardır.



Şekil 2.9. Kromosfer katmanının bir görüntüsü (https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/664504 main_chromosphere-orig_full.jpg adresinden alınmıştır).

Leke sayısı maksimumda iken gözlenen ağ yapılarına aktif network, minimumda iken gözlenenlere ise sakin network denir. Plaj bölgeleri, kromosferde görünen parlak yapılardır. Fakülanın oluşmasını sağlayan manyetik yapıların kromosfere doğru ilerlemesi sonucu oluşurlar. Filamentler, plaj bölgelerinde ortaya çıkan iplikçik şeklinde gözlenen, karanlık ve düzensiz yapılardır. Göreli olarak daha soğuk bölgelerdir. Prominensler, disk kenarından görünen filamentlere verilen isimdir. Tutulma sırasında diskin kenarında pembe bulutlar şeklinde gözlenirler. Aktif ve sakin prominens olmak üzere iki grupta incelenir. Sakin prominensler birkaç gün ile birkaç hafta ömre sahiptirler. Sıcaklıkları yaklaşık 7000 K olan sakin prominensler 5- 10 Gauss arasında manyetik alan şiddetine sahiptir. Aktif

prominensler, birkaç dakika ya da saatlik ömre sahiptirler. Yapısındaki madde çok yüksek hızlara sahip olduğu için kısa zamanda büyük değişimler geçirerek sönerler. Şekil 2.10'da prominenslerin Yer büyüklüğü ile karşılaştırılması görülmektedir.



Şekil 2.10. Kromosfer ve prominensler (https://history.nasa.gov/SP-402/p15.jpg adresinden alınmıştır).

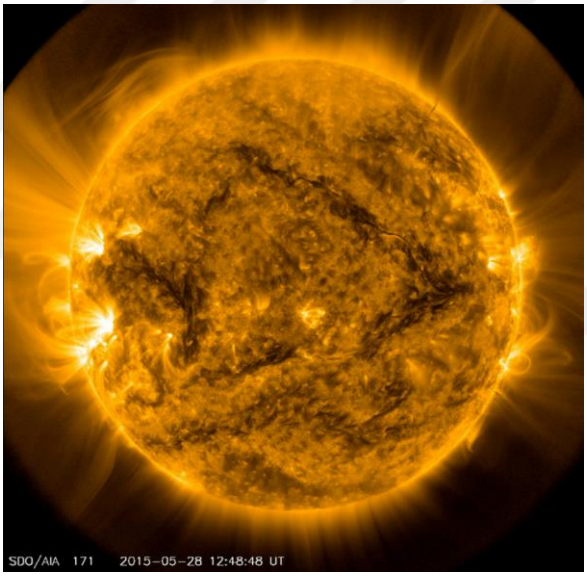
Spiküller ise 500- 1500 km boyunda kromosferden fışkıran ince alevlerdir. Kuvvetlenmeye başlayan manyetik alan bölgelerinde oluşan spiküller en iyi H_α'da gözlenirler. Yaşam süreleri 15 dakika ya da daha az olmasına rağmen kromosfer, korona ve güneş rüzgarının kütlesinde önemli rol oynadıkları düşünülmektedir. Kromosferde meydana çıkan manyetik süreçlerden biri de flarelerdir (parlamalar). Manyetik alanın yapısını bazen dramatik şekilde değiştiren flareler, radyo bölgeden gamaya kadar ışıma yaparlar.

Geçiş Bölgesi

Geçiş bölgesi, kromosfer ile korona arasında bulunan ince bir katmandır. Kromosferin üzerinde, sıcaklık yaklaşık 100 km içinde çok hızlı bir şekilde yükselir ve 10^5 K'den fazla bir sıcaklığa ulaşır. Sıcaklık daha sonra daha yavaş yükselmeye devam eder ve sonunda 10^6 K'i aşar.

Korona

Güneş atmosferinin en üst ve en büyük katmanıdır. Kromosferden geçiş bölgesi ile ayrılır. Yoğunluk bakımından son sırada olan korona güneş rüzgarları sayesinde Yer'e kadar uzanır. Güneş tutulmasında diskin kenarından genişleyen beyaz bir hale olarak görülür. Sıcaklığı yaklaşık 10^6 K iken aktif bölgelerde birkaç milyon K'e ulaşır. Yoğunluğunun az olması nedeniyle şeklini Güneş'in manyetik alanı belirler. Bu bağlamda koronanın şekli her gün farklılık gösterir. Leke çevriminin maksimum olduğu dönemde kutuplarda basık ekvatorda geniştir, minimum olduğu dönemde ise diskin çevresinde daireye yakın bir görünüm sergiler.

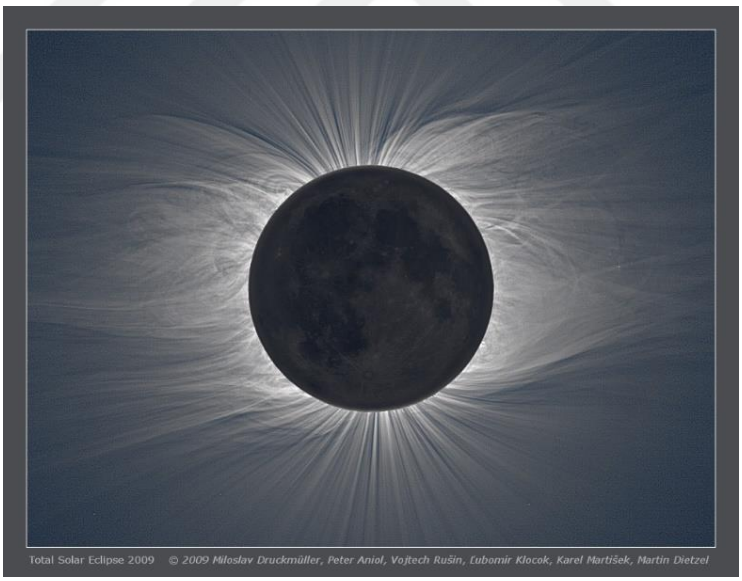


Şekil 2.11. Korona katmanının bir görüntüsü
(https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/seesaw171.jpg adresinden alınmıştır).

Korona, gelen ışımaya göre K, F ve E korona olmak üzere üç kısımda tanımlanır. K korona, serbest elektronlar tarafından saçılan fotosfer kaynaklı ışımadan sürekli beyaz ışık salımı yapar. F korona, toz tanecikleri tarafından saçılan fotosferik ışıktan kaynaklanan bileşendir. E korona ise korona boyunca yer alan yüksek oranda iyonize atomlar tarafından üretilen salma hatlarının kaynağıdır (Carroll ve Ostlie, 2007).

Şekil 2.11'de görüldüğü gibi koronada koronal luplar, koronal delikler, kutup tüycükleri, X-ışın parlak noktaları, plazma akıntıları gibi çeşitli manyetik

yapılanmalar bulunmaktadır. Koronal luplar, aktif bölgeler ve güneş lekeleri etrafındaki yapılardır. Kapalı manyetik alan çizgilerinden oluşurlar. Manyetik lupun yüksekliği en fazla 10 $R_\odot$ olabilir. Ömürleri birkaç gün ile birkaç hafta arasında değişir. Koronal lupların ayakuçlarında güneş lekeleri bulunur. Böylece luplar iki kutuplu manyetik bölgeleri birbirine bağlarlar. Koronal delikler, lupların içinde bulunan plazmayı daha fazla taşıyamayan manyetik alan çizgilerinin açılması sonuncu oluşan bölgelerdir. Daha çok açık manyetik alanların bulunduğu uçlak bölgesinde yer almalarına rağmen leke çevrimine bağlı olarak konumları, sayıları ve boyutları değişiklik göstermektedir. Güneş rüzgarlarının kaynağı oldukları bilinmektedir. Güneş yılda kütlesinin 10^{-13}'ünü kaybeder. Hızları 300-800 km/s arasında değişiklik gösterir. Kutup tüycükleri, Güneş'in uçlaklarında bulunan açık manyetik alan çizgileri ile bağlantılı ince akımlardır. X- ışın parlak noktaları ise tüm disk üzerine düzensiz olarak dağılmış, yaşam süreleri ortalama 8 saat olan noktalardır. Leke çevriminin minimum döneminde maksimum dönemine oranla daha fazla bulunurlar.



Şekil 2.12. Korona'daki miğferimsi yapılar (http://www.zam.fme.vutbr.cz/~druck/Eclipse/Ecl2009e/Tse2009_1000_mid/Tse2009e_1000mm_mid.png adresinden alınmıştır).

Plazma akıntıları, Güneş tutulmasında net olarak görülen lekeler, prominensler ya da filamentlerle ilişkili miğferimsi yapılardır. Şekil 2.12'de yer alan miğferimsi yapılar Güneş tutulması sırasında ilgi çeken görüntüler ortaya çıkarmaktadır.

2.2 GÜNEŞ DİNAMOSU

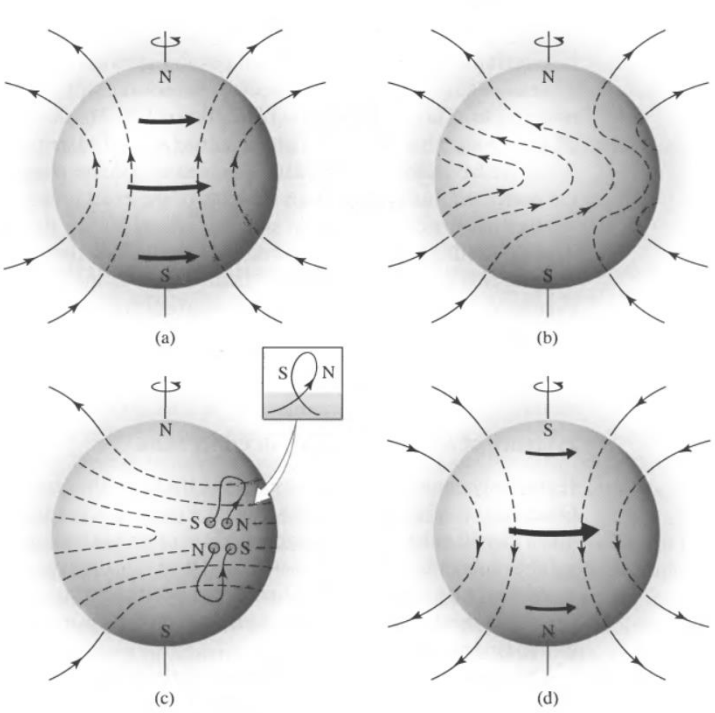
2.2.1 Diferansiyel Dönme

Güneş'in enleme bağlı dönme hareketine verilen addır. Diferansiyel dönme Güneş'in katı cisim olmadığının ispatıdır. Güneş yüzeyindeki bir manyetik yapılanmayı izleyerek ya da gazın Doppler kaymalarını ölçerek, Güneş'in farklı bir şekilde döndüğü bilgisine ulaşabiliriz. Ekvatorda dönme süresi yaklaşık 25 gün iken, kutuplarda bu süre 36 güne çıkar. Carrington dönme dönemi olarak adlandırılan Güneş dönmesinin standart değeri ise 27.2753 gündür.

2.2.2 Dinamo

Güneş'te meydana gelen birçok manyetik yapının oluşumu yüzeyin altında manyetik bir dinamonun varlığının kabulünü zorunlu kılmıştır. Bu kabulü zorunlu kılan etkenler; ortalama 11 yılda bir oluşan aktivite çevriminde öncü lekelerin polaritesinin pozitif bir sonraki aktivite çevriminde ise negatif olması, Güneş'in yüzeyine doğru ilerleyen manyetik alan çizgilerinin sarılmasıyla oluşan akı tüpünün yüzeye çıkarak çeşitli manyetik yapıları oluşturmasıdır. Dinamo teorisi yüksek enerjili plazmanın manyetik alan oluşturma sürecini açıklar. Güneş için ilk dinamo modeli 1961'de Horace Babcock tarafından ortaya atıldı. Son elli yılda gözlemsel olarak desteklenen deneysel modeller geçtiğimiz on yılda yerini üç boyutlu manyetohidrodinamik sayısal simülasyonlara bırakmıştır (McIntosh vd, 2019).

Birçok dinamo modelinde Ω ve α etkisi olmak üzere iki çeşit temel süreç, toroidal ve poloidal alan olmak üzere iki çeşit temel manyetik alan yer almaktadır. Güneş çevriminin minimumunda iki zıt kutbu birbirine bağlayan basit manyetik dipol poloidal alanı oluşturur. Plazmanın içerisindeki poloidal alanlar diferansiyel dönme nedeniyle sarılarak toroidal alanı oluştururlar. Bu manyetik yapılanmalar Şekil 2.13'te görülmektedir. Ω etkisi, poloidal alandan toroidal alan oluşumunu sağlayan diferansiyel dönmenin kesme hareketini açıklar. α etkisi ise sarmal hareketler sonucu poloidal alanın yeni bir bileşenin oluşturulması sürecidir. Böylece Güneş çevriminin sürdürülmesini sağlar.



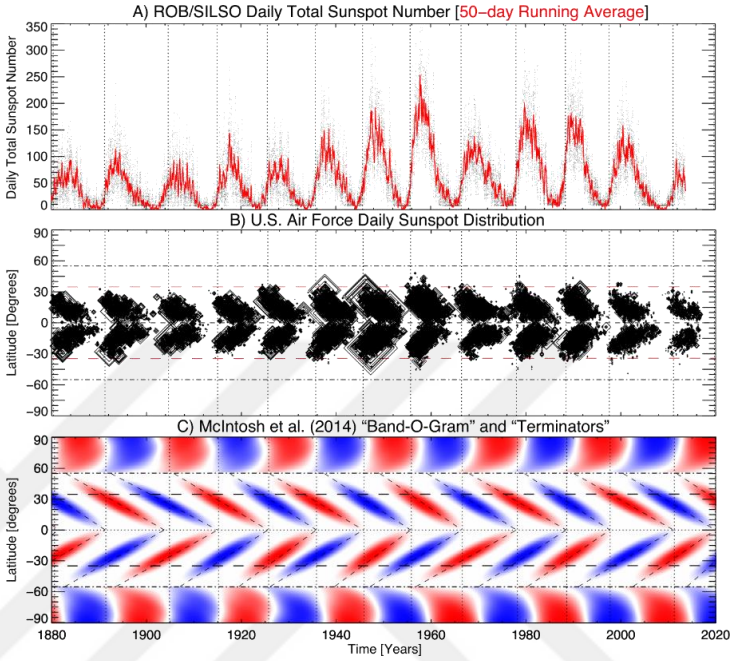
Şekil 2.13. Güneş çevriminin manyetik dinamo modeli. (a) Güneş'in manyetik alanı başlangıçta bir poloidal alandır. (b) Diferansiyel dönme, manyetik alan çizgilerini Güneş'in etrafında sürükleyerek, poloidal alanı toroidal alana dönüştürür. (c) Konveksiyon hareketi, manyetik alan çizgilerini manyetik tüplere çevirerek, güneş lekeleri olarak yüzeye çıkmalarına neden olur. (d) Çevrim ilerledikçe, ardışık güneş lekesi grupları, manyetik alanın poloidal alanı yeniden oluşturduğu, ancak gerçek polaritenin tersine döndüğü eşleğe doğru göç eder (Carroll ve Ostlie, 2007).

2.2.3 Sonlandırıcılar

McIntosh vd. (2019) leke çevriminin neden aniden sönümlendiği ve birkaç hafta sonra yeni çevrimin nasıl tetiklendiği üzerine yoğunlaşmışlardır. Birçok manyetik yapılanmanın aksine Güneş'in orta enlemlerinde parlak noktaların sayısının artması ile eşlek bölgesindeki parlak noktaların yoğunluğunda azalma olmasının aynı zamana denk geldiğini fark etmişlerdir. Orta enlemlerde parlak noktaların artışı ile leke sayısının artışı aynı zamanda meydana gelmektedir. Oluşan lekeler yeni çevrime aittir. Orta enlemlerde yeni çevrimin başlaması için eşlek bölgesindeki zıt polariteye sahip manyetik bantların birbirini nötürlemesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yeni bir tür Güneş olayı olan 'sonlandırıcılar'ın arayüz katmanında ya da yakınında gerçekleştiği düşünülmektedir (Leamon vd., 2020). Sonlandırıcılar, bir

Güneş dönmesi gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Sonlandırıcı olaylar leke çevriminin yükselen fazında gerçekleşir. İlk olarak Leamon vd. (2021) tarafından açıklanan sonlandırıcıların 140 yıllık gözlemlerdeki varlığı Şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Her panelde bulunan noktalı dikey çizgiler, Leamon vd. tarafından ölçülen 140 yıllık (1860-2020) sonlandırıcılardır (Leamon vd., 2019).

2.2.4 Uzay Havası

Güneş, ortalama 11 yılda bir zayıf ya da kuvvetli manyetik aktivite periyotları geçiren aktif bir yıldızdır. Uzay havası, Güneş'in etkilerinin Yer'de ve yakın uzayda yarattığı sonuçlar olarak tanımlanabilir. Uzay havası; uzay çalışmaları, uydu sistemleri, küresel konumlandırma sistemleri (GPS), insan sağlığı, hava taşımacılık sektörü, enerji nakil hatları, petrol boru hatları, jeofizik çalışmaları ve iklim üzerinde etkilidir. Gün geçtikçe gelişen teknoloji uzay havasına karşı daha hassas bir noktaya gelmektedir. Güneş rüzgarındaki yüklü parçacıklar, uzay araçlarında yüklenmelere neden olduğu gibi aracın içine girerek cihazları ve insan sağlığını tehdit etmektedir. Küresel ölçekte öneme sahip uydu sistemlerinde şarj ve deşarjlara neden olarak hayalet komutlara sebep olmaktadır. Bu durum uydunun kısmen ya da tamamen devre dışı kalmasına kadar büyük zararlara yol

açmaktadır. X- ışın parlamaları GPS sinyallerinde bozulmalara neden olabilir. Bu durumdan taşımacılık, haberleşme ve güvenlik alanları etkilenir.

Güneş'in morötedeki ışımaları canlı DNA'sının hasar görmesine neden olmaktadır. Havayolu taşımacılığı yapan personelin yüksek irtifada çalışması nedeniyle aldığı radyasyon miktarı artmaktadır. Güneş kaynaklı jeomanyetik fırtınalar 'aurora' denen kutup ışımalarına neden olmaktadır. Elektrik şebekelerinde, tren ve boru hatlarında elektrik akımı birikmesine yol açar. Petrol boru hatlarında indüklenmeden dolayı korozyona yol açmaktadır. Petrol ve deprem araştırmalarında Yer'in manyetik alanından yararlanılmaktadır fakat Güneş aktivitesi sonucu değişen manyetik alan araştırmalarını zorlaştırmaktadır.

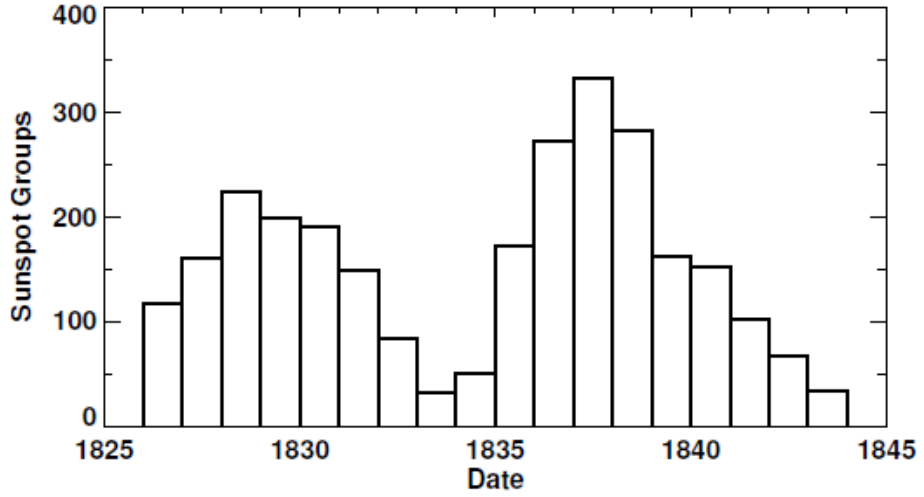
Güneş aktivitesinin azaldığı 1645- 1715 yılları arasında Maunder minimum denilen mini buzul dönemi yaşanmıştır. Aynı zamanda leke aktivitesinin minimum döneminde Yer kozmik ışınlara maruz kalır. Kozmik ışınlar bulutluluğun artması üzerinde etkilidir. Bu sebeplerden dolayı Güneş aktivitesinin daha iyi anlaşılabilmesi ve doğru tahmin edilebilmesi neden olduğu zararlardan korunmak adına büyük önem arz etmektedir.

2.3 GÜNEŞ LEKELERİ VE LEKE ÇEVRİMİ

2.3.1 Leke Gözlemlerinin Tarihçesi

Güneş lekeleri tarih öncesi dönemde insanlar tarafından gözlemlendi. 2000 yıl öncesine dayanan en eski leke gözlemi kayıtları ise Çin'e aittir. Bir felsefeye göre Batılılar Güneş'in kusursuz olduğuna inanmaktaydı. 17. Yüzyılda teleskobun keşfiyle Güneş'te lekelerin gözlenmesi Batılılara sürpriz oldu. Güneş lekelerindeki periyodik davranışın varlığından ilk olarak Christian Horrebow söz etmiştir. Christian Horrebow tarafından 1776 yılında periyodik davranıştan söz edilmesine rağmen leke çevrimi tam olarak 1844 yılında Heinrich Schwabe tarafından keşfedildi. (Hathaway, 2010) Şekil 2.15'te 1825- 1845 yılları arasındaki leke çevrimleri görülmektedir. Schwabe'nin bu keşfi, Johann Rudolf Wolf'un Güneş'in

günlük gözlemlerini elde etmeye ve kayıtları önceki yıllara genişletmeye yöneltmiştir.



Şekil 2.15. 1826 – 1843 yılları arasında Heinrich Schwabe tarafından gözlemlenen güneş lekesi grupları (Hathaway, 2015).

1850'de İsviçreli astronom Johann Rudolf Wolf tarafından icat edilen güneş lekesi bağıl sayısı veya Wolf sayısı, güneş aktivitesinin uzun vadeli değişimlerini ölçmek için kullanılan bir indekstir (Friedli, 2020). Wolf, güneş lekesi gruplarını tanımlamanın, her bir güneş lekesini tek tek tanımlamaktan daha kolay olduğunu fark etti (Hathaway, 2015). Wolf tarafından tanımlandığı gibi, göreceli güneş lekesi sayısı

$$R_W = k\,(10g + f) \tag{2.1}$$

- g, güneş lekesi gruplarının sayısı,
- f, güneş diskinde görünen tüm noktaların sayısı,
- k ise alet parametreleri, gözlemevi konumu ve sayma yönteminin ayrıntılarını içeren düzeltme katsayısıdır (Petrovay, 2010).

Wolf, birincil gözlemcinin kullanımına dayalı bir sistem kurmuştur. Birincil gözlemci bir sayım yapamıyorsa, bunun yerine belirlenmiş ikinci ya da üçüncü gözlemciden gelen sayımlar kullanıldı. Wolf 1849'dan 1893'e kadar birincil gözlemciydi ve kişisel bir düzeltme faktörü $k = 1.0$'di. Wolf ve Wolfer, 16 yıl

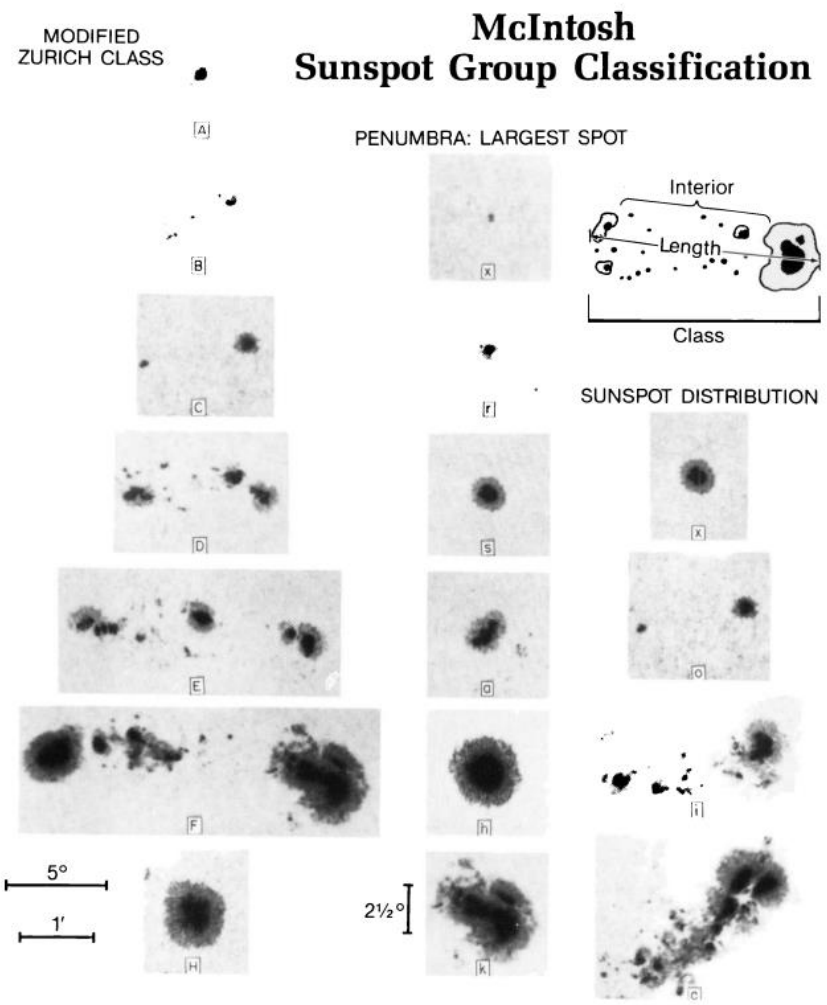
boyunca Güneş'i paralel olarak gözlemledi. Bu süreçte Wolfer daha fazla nokta saydı. Böylece, Wolfer (ve sonraki birincil gözlemciler) için k faktörü 0.60 olarak kullanıldı (Hathaway, 2015). İlk olarak Waldmeier tarafından yayınlanan Wolf sayısının günlük değerlerine, Belçika Kraliyet Gözlemevi'ndeki WDC-SILSO veri merkezinden 1818'den itibaren, aylık ortalamalara 1749'dan ve yıllık ortalamalara ise 1700 yılından itibaren ulaşılabilir (Friedli, 2020).

2.3.2 Lekelerin Genel Özellikleri

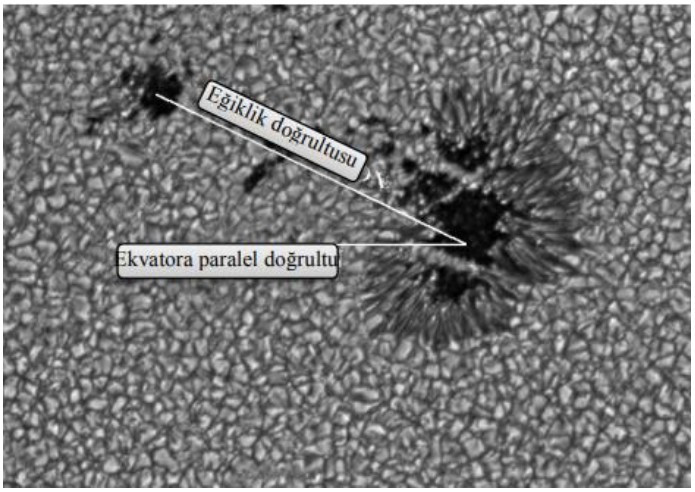
Literatürde en uzun süreli gözlem verisi bulunan manyetik yapılanmalar güneş lekeleridir. Güneş lekeleri Zurich, Waldmeier ve McIntosh tarafından sınıflandırılmıştır. 1966'da tanıtılan McIntosh sınıflandırması, 1969 yılında yayınlanması için kabul almıştır. Son yıllarda McIntosh sınıflandırması daha çok tercih edilmektedir. Şekil 2.16'da verilen McIntosh sınıflandırması üç bileşenden oluşmaktadır. 7 sınıftan oluşan ilk bileşen Zurich sınıflarından ikisinin atlandığı ve daha nicel tanımların kullanıldığı, değiştirilmiş bir Zurich sınıflandırmasıdır. İkinci bileşen 6 sınıftan oluşur, en büyük lekelerin penumbralarının karşılaştırılmasına dayanır. Üçüncü bileşen öncü ve takipçi lekeler arasındaki lekelerin dağılımına dayanan 4 sınıftan oluşur.

Öncü ve takipçi lekeleri birleştiren çizginin, sabit bir enlemde doğu- batı doğrultusuna göre yaptığı açıya eğim açısı denir. Eğim açısı yüksek enlemlere gidildikçe artar. Bu durum literatürde 'Joy yasası' olarak bilinir. Eğim açısı çevrimden çevrime değişim gösterir. Joy yasasına göre, öncü leke eşlek bölgesine takipçi lekeden daha yakındır. Şekil 2.17'de takipçi ve öncü leke arasındaki açı görülmektedir (Işık, 2013).

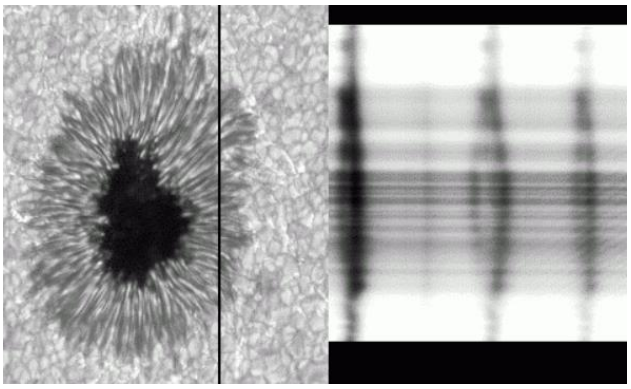
Güneş lekelerini anlamanın yolu manyetik alanı anlamaktan geçer. Pieter Zeeman 19. yüzyılda Zeeman etkisini keşfetti. Akkor haldeki gazla dolu cam tüpü manyetik alana daldırdığında gazın yaydığı tayfsal çizgilerin iki farklı renge yarıldığını gördü. 1908 yılında George E. Hale güneş lekesi tayflarında Zeeman etkisini belirledi. Manyetik alanın büyüklüğü ile çizgilerdeki yarılma miktarı doğru orantılıdır. Şekil 2.18'de Güneş lekelerindeki Zeeman yarılması görülmektedir.



Şekil 2.16. Her sınıfın örneği ile birlikte üç bileşenli McIntosh sınıflandırması (McIntosh,1990).



Şekil 2.17. Eğim açısı gösterimi (Işık, 2013).



Şekil 2.18. Güneş lekesindeki Zeeman yarılması (Phillips, 2009).

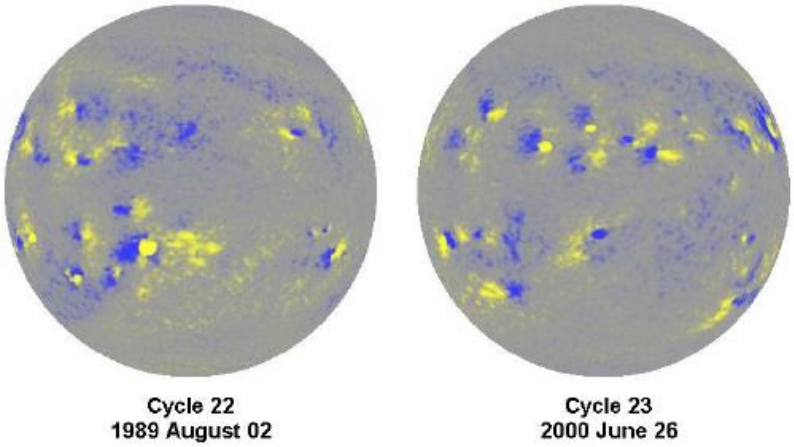
Penn ve Livingston'un lekelerde yaptığı manyetik alan ölçümlere göre hiçbir lekenin manyetik alan şiddeti 1500 Gauss'tan küçük değildir. 1500 Gauss'luk manyetik şiddetin fotosferde leke oluşumu gerçek bir sınır değeri olduğunu varsayılmıştır. Bu bağlamda 1500 Gauss'un altındaki bölgelerde leke oluşumu gözlenmez (Penn, 2010).

2.3.3 Leke Çevriminin Genel Özellikleri

Farklı büyüklük ve yaşam süresine sahip güneşin manyetik alanındaki değişikliklere güneş aktivitesi denir. Güneş aktivitesinin en çok izlenen üyesi güneş lekeleridir. Güneş lekeleri 400 yıldan fazla süredir izlenmesine rağmen sistematik gözlemler yaklaşık iki yüzyıla dayanmaktadır.

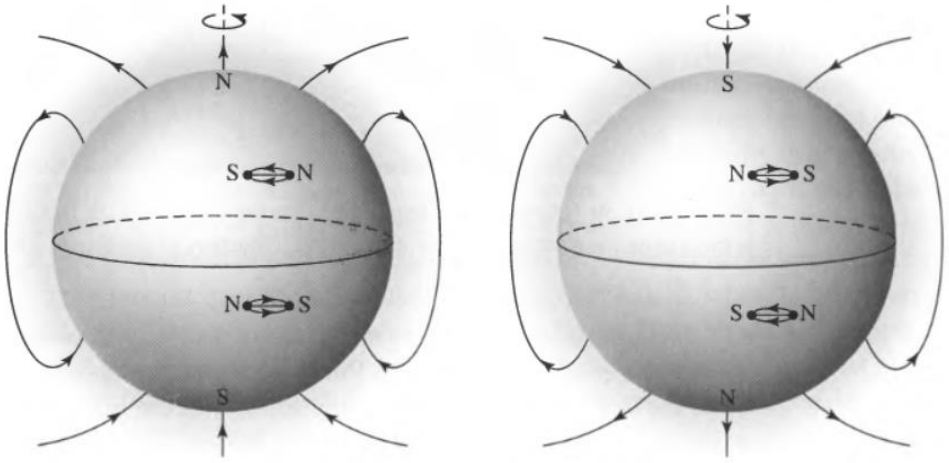
Alman eczacı ve amatör astronom Heinrich Schwabe 1843 yılında yayınladığı makalesinde güneş lekelerinin sayısının yaklaşık 10 yıllık bir dönemle artıp azaldığını söylemiştir. Ancak astronomlarda çok ilgi uyandırmamıştır. Günümüzde bu sürenin (çevrimden çevrime 2-3 yıllık bir değişim olabilir) ortalama 11 yıl olduğu anlaşılmıştır. Leke sayılarındaki 11 yıllık çevrimsel değişime 'Schwabe çevrimi' denilmektedir.

Güneş lekeleri genel olarak grup halinde bulunurlar. Güneş'in dönüş yönünde ilerleyen lekeye öncü, öncü lekeyi takip eden lekeler takipçi leke olarak adlandırılır. Bir yarıküredeki bütün öncü lekeler aynı polariteye sahiptir. Şekil 2.19'de olduğu gibi farklı yarıkürelerdeki öncü lekelerin polariteleri zıttır. Takipçi leke öncü leke ile zıt polaritededir.



Şekil 2.19. Hale'nin polarite yasasının yüzeydeki görünümü (Hathaway, 2010).

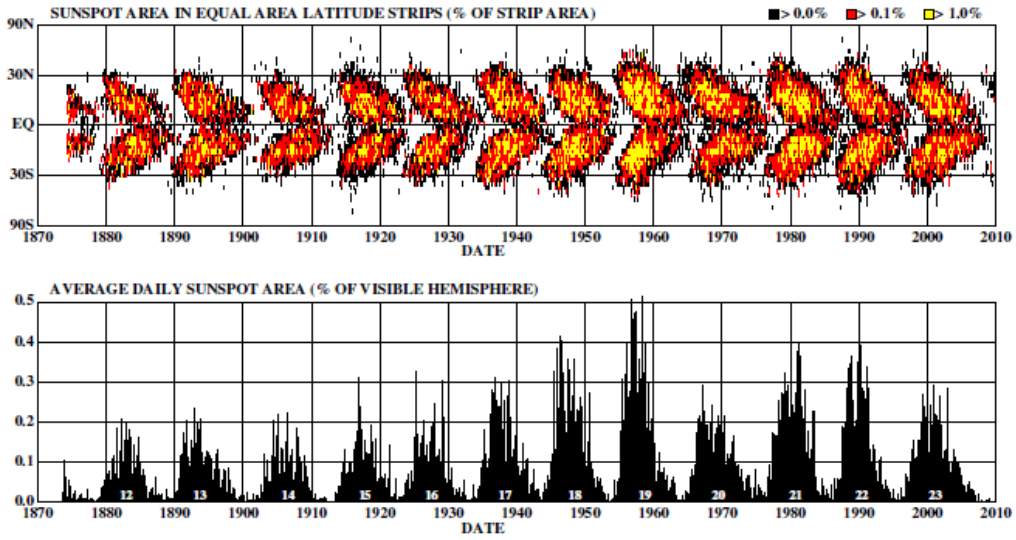
Sonraki leke çevriminde manyetik kutuplar yer değiştirir. Coğrafi kuzey kutup manyetik güney kutup polaritesine sahip olur. Manyetik kutupların yer değiştirmesi yeni çevrime ait lekelerin yüksek enlemlerde oluşmaya başlaması sırasında gerçekleşir. Manyetik kutuplarda meydana gelen 22 yıllık çevrim 'Hale çevrimi' (manyetik çevrim) olarak isimlendirilir. Şekil 2.20'de 22 yıllık Hale çevrimi görülmektedir.



Şekil 2.20. Ardışık iki çevrimde güneş lekelerinin ve Güneş'in manyetik polaritesi değişimi (Carroll ve Ostlie, 2007).

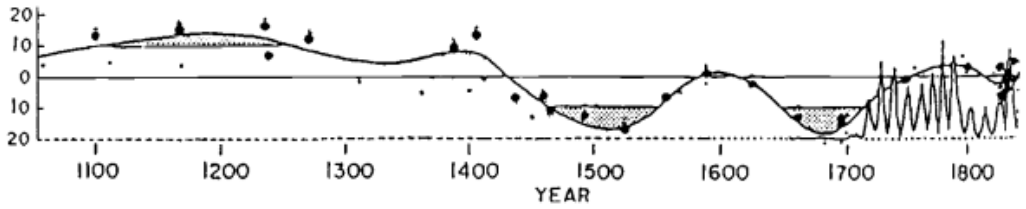
Yeni bir çevriminin ilk lekeleri eşleğin iki yanında yaklaşık 40^0 enlemlerde oluşurlar. Her leke ömrü boyunca aynı enlemde kalır. Daha sonra oluşan lekeler daha düşük enlemlerde gözlenir. Çevrimin son lekeleri eşleğe daha yakındır. Bu

olay ‘Spörer yasası’ olarak bilinir. Maunder, zamana bağlı olarak lekelerin bulunduğu enlemleri işaretlediğinde kanat benzeri görünümüyle bilinen ‘Kelebek Diyagramını’ elde etmiştir. Şekil 2.21’de karşılaştırmalı olarak Kelebek Diyagramı ile birlikte leke alanları verilmiştir.



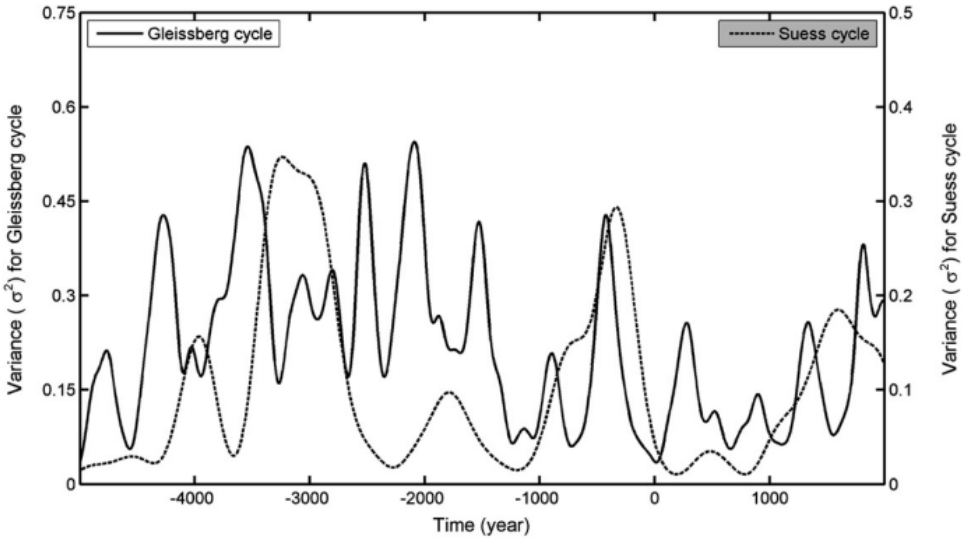
Şekil 2.21. Üstteki şekil enleme ve zamana bağlı güneş lekelerini gösteren kelebek diyagramıdır. Alttaki şekil zamana bağlı lekelerin güneş yüzeyinde kapladığı alanı göstermektedir (Hathaway, 2010).

1700 yılından önceki leke gözlemlerinin güvenilirliği düşük olsa da bütün kayıtlar 1642- 1705 yılları arasında leke sayısında önemli ölçüde azalma olduğunu göstermektedir. Şimdiye kadar bilinen en az lekenin olduğu bu dönem ‘Maunder Minimumu’ olarak anılmaktadır. Bu dönem insanoğlunun lekelerin varlığından haberdar olduktan kısa bir süre sonraya rastladığı için gözlemlerin doğruluğu sorgulanmıştır. Ağaç halkalarındaki Carbon-14 (^{14}C) miktarı, aurora ve iklim verileri ile leke sayısı verileri John Eddy tarafından karşılaştırılmış ve minimumun doğruluğunu destekler sonuçlar elde edilmiştir (Wilson, 1994). Ağaç halkalarındaki ^{14}C izotopunda yararlanılarak leke sayısı verileri 1050 yılına kadar ilerletilmiştir. Şekil 2.22’de Maunder minimumun yanında bir maksimum ve bir minimumun daha tespit edildiği görülmektedir.



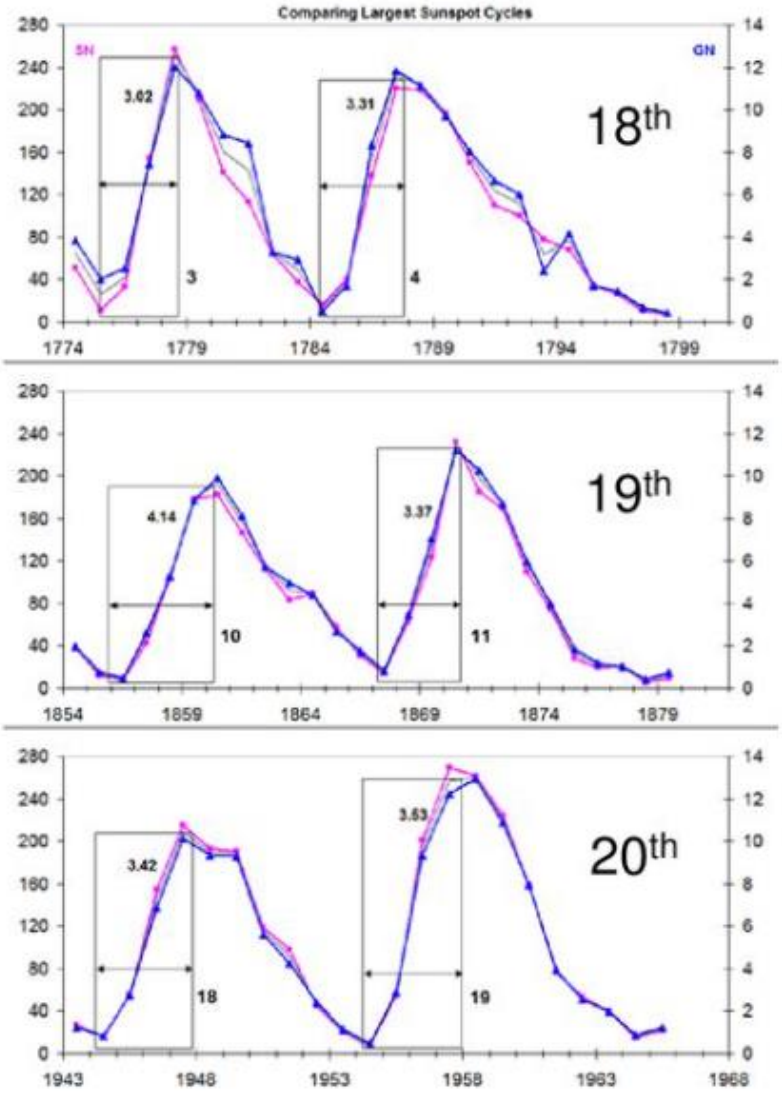
Şekil 2.22. 1. taralı alan Ortaçağ Maksimumunu, 2. Spörer minimumunu, 3. Maunder minimumu temsil eder (Wilson, 1994).

Schwabe ve Hale çevrimlerinden farklı çevrimler de literatürde yerini almıştır. Bunlardan ikisi Gleissberg ve Suess çevrimidir (bkz. Şekil 2.23). Son bin yıla ait Güneş aktivitesi parametrelerinde Gleissberg ve Suesss çevrimlerinin varlığı kendini göstermektedir. Gleissberg çevrimi şimdiye kadar düşünülenin aksine 80-90 yıllık periyot yerine 50- 80 ve 90- 140 yıllık iki salınım moduna sahiptir. Suess çevrimi ise 160 – 260 yıllık periyodu ile daha az karmaşıktır (Ogurtsov vd., 2002).



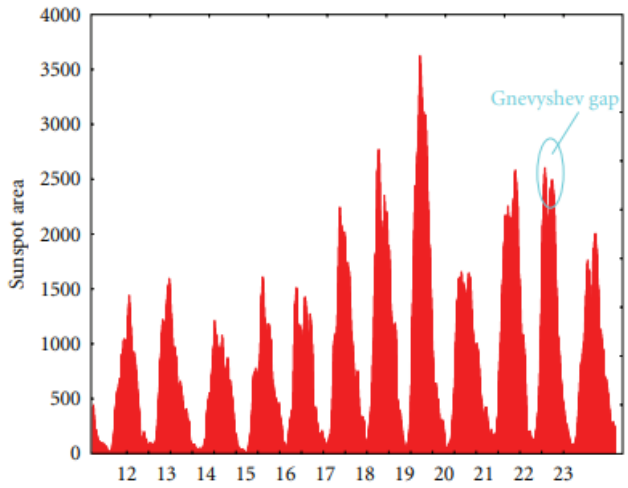
Şekil 2.23. Gleissberg ve Suess çevrimi (Ma, 2009).

Güneş lekesi çevrimleri maksimuma göre asimetriktir. Minimumdan maksimuma kadar geçen süre ile maksimumdan minimuma iniş süresi eşit değildir. Çevrimlerin büyük çoğunluğunda maksimuma çıkış süresi minimuma iniş süresinden daha kısadır. Waldmeier, çevrimin maksimuma ulaşma zamanı ile genliği arasında ters orantı olduğunu farketmiştir. Bu ilişki 'Waldmeier Etkisi' olarak bilinir. Şekil 2.24'te altı çevrim için Waldmeir Etkisi verilmiştir.



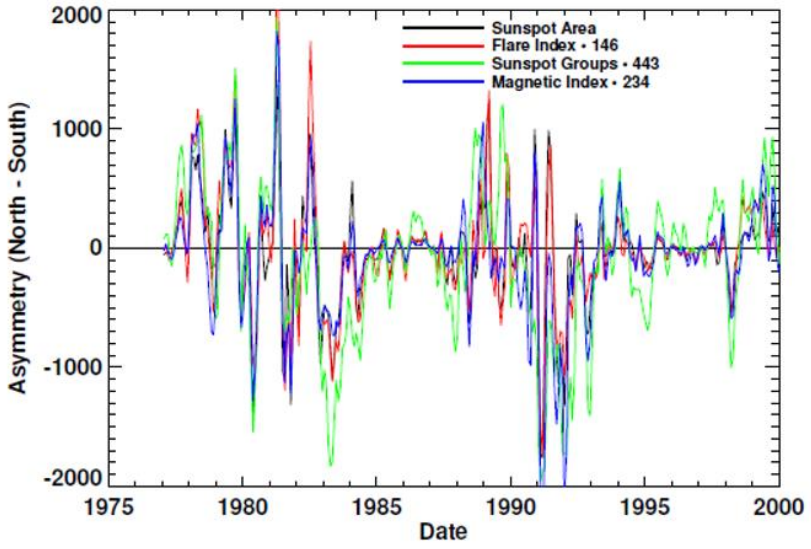
Şekil 2.24. Waldmeier etkisi. Her kutu farklı bir çevrimi göstermektedir. Güçlü çevrimlerin yükselme süreleri kısa, zayıf çevrimlerin ise yükselme süreleri daha uzundur. Kutulardaki sayılar yükselme sürelerini vermektedir (https://slideplayer.com/slide/14924585/ adresinden alınmıştır).

Bazı leke çevrimleri incelendiğinde maksimumlarının testere dişi gibi olduğu görülür. Bu durum Gnevyshev tarafından fark edilmiştir. İki maksimuma sahip çevrimler incelendiğinde ilk maksimumun küçük lekelere ikinci maksimumun ise büyük lekelerin maksimuma ulaştığı zaman olduğu Kılçık ve Özgüç (2014) tarafından tespit edilmiştir. İki maksimum arasında kalan boşluk Gnevyshev boşluğu olarak bilinir. Şekil 2.25'te 22. Çevrimdeki Gnevyshev boşluğu görülmektedir.



Şekil 2.25. Leke çevriminde görülen Gnevyshev boşluğu (Georgieva, 2011).

Leke sayıları her iki yarıküreye eşit olarak dağılmaz. Bu duruma kuzey-güney asimetrisi denir. Asimetri sadece lekeler için değil faküla, prominens ve filament gibi diğer manyetik yapılanmalar için de geçerlidir. Şekil 2.26'da kuzey-güney asimetrisi dört farklı değer için verilmiştir.

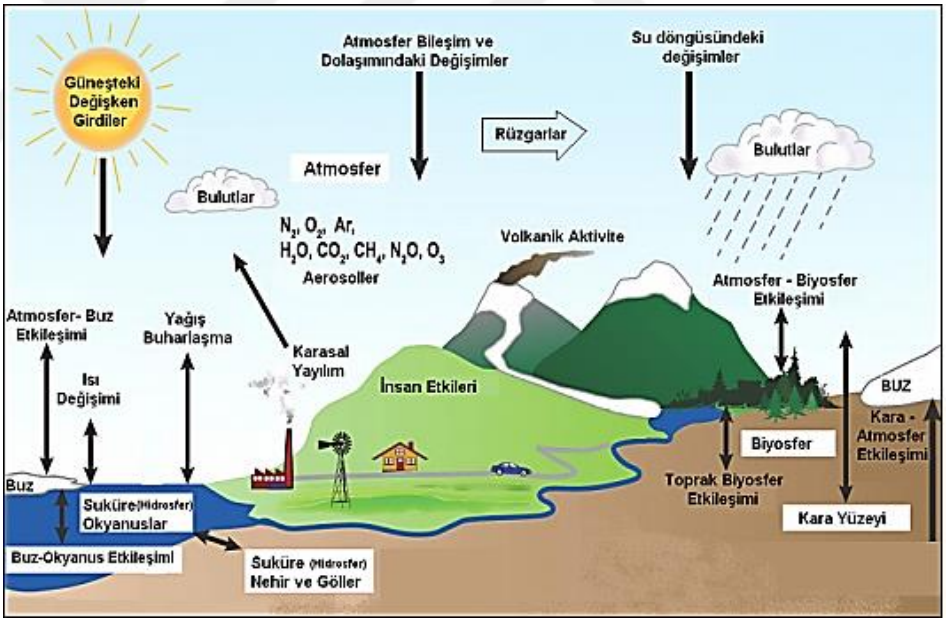


Şekil 2.26. Dört faklı aktivite için kuzey- güney asimetrisi (Hathaway, 2010).

2.3.4 Leke Çevriminin İklim Üzerine Etkisi

Yer'in herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca gözlenen hava olaylarının ortalama özelliklerinin, bu olayların yaşanma sıklıklarının zamansal dağılımlarının, gözlenen uç değerlerin, şiddetli olayların sentezi, iklim olarak tanımlanır. İklimleri sınıflandırmanın en popüler sistemi 1900 yılında Rus-Alman bilim insanı Wladimir Köppen tarafından önerildi. Köppen, bir bölgedeki bitki örtüsünün büyük ölçüde iklime bağlı olduğunu ortaya attı.

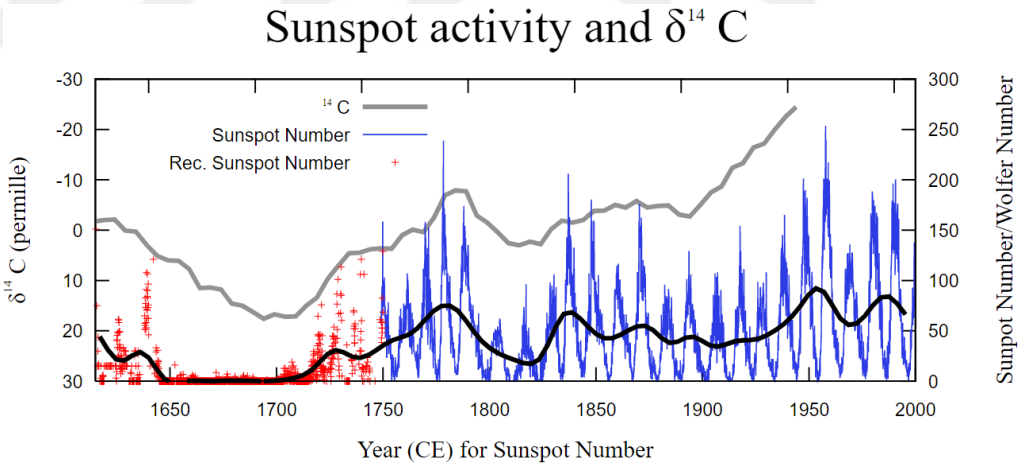
Bir bölgenin iklimini güneş aktivitesi, kozmik ışınlar, bulutlar, göl ve nehirler, buzul hava etkileşimleri, rüzgâr, osilasyonlar (salınımlar), karalar ve yüzeysel farklılıklar, sera gazları, atmosferik olaylar, okyanuslar, ormanlar, volkanik partiküller, endüstriyel aktiviteler, fosil yakıt salınımları gibi değişkenler etkiler. Şekil 2.27'de iklimi etkileyen değişkenler görülmektedir.



Şekil 2.27. İklimi etkileyen değişkenler (Erdinç, 2012).

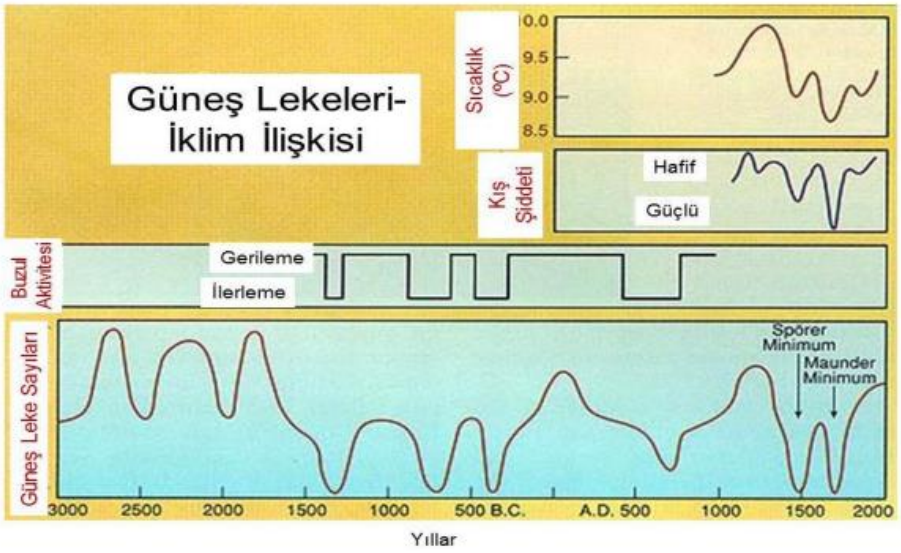
İklim değişikliği, iklimin ortalama durumunda onlarca ya da daha uzun yıllar boyunca süren istatistiksel olarak anlamlı değişimlerdir. İklim değişikliği, doğal süreçler ve dış zorlama etmenleri ile atmosferin bileşimindeki ya da arazi kullanımındaki sürekli antropojen (insan kaynaklı) değişiklikler sebebiyle oluşabilir (Türkeş, 2008).

Güneş aktivitesinin yüksek olduğu dönemlerde güneş ışınımı ile güçlenen Van Allen Kuşakları, koruyucu bir kalkan gibi uzaydan gelen kozmik ışın miktarını azaltır. Güneş aktivitesinin az olması Yer'e daha yüksek miktarda kozmik ışın ulaştığı anlamına gelir. Karasal arşivlerde depolanan ^{14}C ve ^{10}Be gibi kozmojenik izotoplardır. Her iki izotop da radyoaktif olduğu için, doğal arşivlerdeki miktarları, üretim oranının bir ölçüsüdür. Bu izotopların miktarı Yer'in manyetik alanının gücüne ve güneş aktivitesi ile belirlenen Yer atmosferine ulaşan kozmik ışınların akışına bağlıdır (Baltacı, 2014). ^{14}C ve ^{10}Be gibi izotopların Yer'deki bolluğunu ölçerek uzun vadeli güneş davranışını yeniden yapılandırmak mümkündür. Bu izotoplar, galaktik kozmik ışınların atmosferdeki moleküllerle etkileşimi sonucu oluşturulur. Son bin yıl boyunca, güneş aktivitesine, MS 1645 ile 1715 arasında meydana gelen Maunder Minimum gibi, aktif ve sessiz dönemler arasında dönüşümlü olarak hakim olmuştur (Bard vd., 2015). Şekil 28'de doğal arşivlerdeki ^{14}C miktarı ile güneş aktivitesindeki değişimin karşılaştırılması görülmektedir. Değişkenlerin birbirini desteklediği görülmektedir.



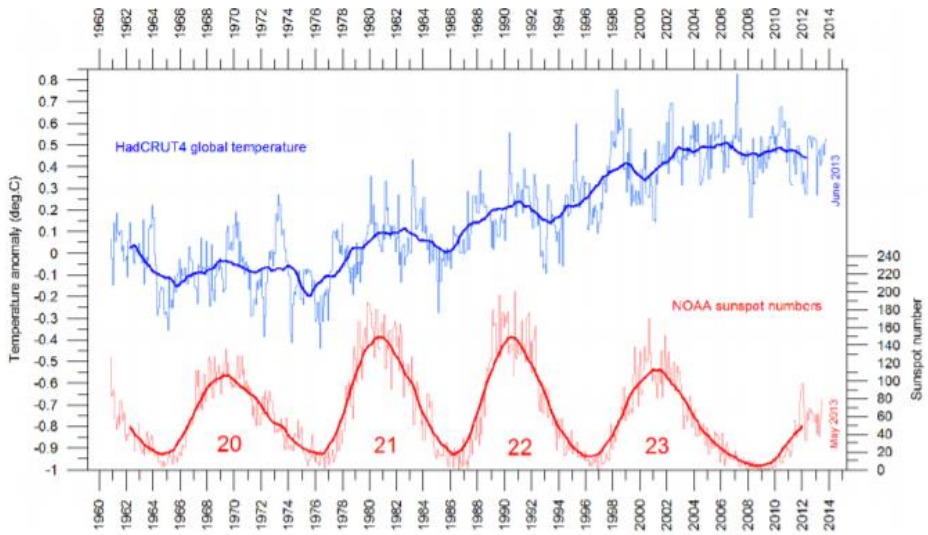
Şekil 2.28. C-14 yöntemine göre tespit edilmiş minimum-maksimum dönemler (Baltacı, 2014).

Şekil 2.29'da da görüldüğü gibi güneş lekelerinin arttığı dönemlerde sıcaklıklar artmış, buzullar ise gerilemiş ve incelmiştir. Lekeler azaldığında ise sıcaklık düşmüş, buzullar ise ilerlemiş ve kalınlaşmıştır.



Şekil 2.29. Güneş lekesi-iklim ilişkisi (Baltacı, 2014).

Şekil 2.30'a göre, sıcaklık güneş lekesi değişimlerini kabaca takip ederek ısıtma ve soğutma sırasını göstermektedir. Etki, bir güneş çevriminde genel olarak 0,1- 0,2 ^{0}C düzeyinde iken 21'de daha bir büyük artış görülmektedir. 21 ve 23'te, küresel sıcaklık önceki minimumdakiyle aynı seviyeye dönmüyor. Bu durumun nedeni tam bir soğutma için çevrimin kısa olduğu düşünülürken diğer olasılık da, bir ısınma eğiliminin başlamış olmasıdır. (Solheim, 2013)



Şekil 2.30. Güneş leke sayısı değişiminin küresel sıcaklık ile karşılaştırılması gösterilmektedir (Solheim, 2013).

Sıcaklıktaki artış ve azalış genel şekli ile güneş çevrimine benzer bir resim ortaya koymaktadır. Fakat sıcaklıktaki genel artış güneş aktivitesinin yanı sıra iklimi etkileyen farklı etkenlerin varlığını da göstermektedir.

2.3.5 Leke Çevrim Tahmininin Önemi

Yer, Güneş atmosferinin etkisindedir. Bu bağlamda Güneş'in uzaya saçtığı manyetik alandan ve yüklü parçacıklardan çeşitli yönlerden etkilenmektedir. Güneş çevriminin insan ömrüne göre kısa vadede gerçekleşmesi etkileri ile oldukça sık karşılaştığımız anlamını taşır. Değişen uzay havasının olumsuz etkilerinden korunmak için yüzeyde oluşan manyetik yapılanmalardan erken dönemde haberdar olmamız hayati önem taşımaktadır.

Güneş'in küreselliğinden dolayı arka yüzeyinde meydana gelen değişimlere doğrudan ulaşamayız. Helyosismoloji, Güneş salınımlarını inceleyen, Güneş'in yapısı hakkında bilgi edinmemizi sağlayan ve son zamanlarda başarısını kanıtlayan bir tekniktir. Güneş aktivitesi, salınımların frekansının değişimine neden olmaktadır. Böylece yüzeyde meydana gelebilecek yapılanmalar daha erken dönemde öngörülmektedir.

3. LEKE ÇEVRİMİ TAHMİN YÖNTEMLERİ

Güneş değişkenliği kısa ve uzun dönemli olmak üzere ikiye ayrılabilir. Kısa dönemli değişimler 10 yıldan kısa olan zamanları kapsar. Bunların etkileri güneş sistemindeki uzay havası ve iklim koşullarını tanımlar. Uzun dönemli değişimler ise 10 yıldan uzun süreli zaman ölçeklerinde etkilidir ve Yer iklimi üzerinde etkileri oldukça önemlidir (Brajša vd., 2015). Güneş aktivitesi tahminleri uzay uçuşlarının geleceği için de önemlidir. Ayrıca kısa ve uzun dönemli değişimler Yer manyetosferinin fiziksel durumunu da etkiler (Verbenac vd., 2015). Fakat güneş çevrimini tahmin etmek zor bir iştir. Çünkü bu çevrimin kendisi düzenli değildir. Genliği zamana göre değişir (Hathaway, 2015). Tahmin yöntemlerinin güvenilirliği güneş aktivite çevriminin karakteristiğini anlamamıza da yardımcı olur. Böylece iyi bilinen çevrimsel özelliklerinin yanında rastgele ve kaotik değişimler arasında da ayrım yapmayı kolaylaştırabilir (Wilson, 1994; Letellier vd., 2006; Gilmore ve Letellier, 2007; Aguirre vd., 2008).

Güneş çevrimi tahmini güneş fiziğinin yeni bir çalışma konusudur. Güneş çevrimi tahmini için teorik yaklaşımlar dinamo süreçlerine dayanır. Bu çalışmalar iki alt grupta toplanabilir. İlk grupta gözlenen çevrimlerdeki belirlenen özellikler sonraki çevrimlerin tahmini için ekstrapolasyon yapmaya olanak tanır. Bu tahminlerin başarısı dinamo mekanizmasının yanısıra işleme sokulan ek parametreler ile belirlenir. İkinci grup çalışmalar ise öncü yöntemleri içerir. Bu yöntemde gözlenen değişimler bazı fiziksel süreçlere bağlıdır ve dinamo modelinin öngörüleri tahmin yönteminin öncü bileşenleri olabilir. Bu alanda yapılmış bir çok tahmin modeli çalışması bulunur. Bu çalışmalardan en sık kullanılanı Dikpati ve Gilman (2006) ve Choudhuri vd. (2007)'ye aittir. Her iki çalışma da dinamo modeline dayanmaktadır fakat ulaşılan sonuçlar farklı olmuştur. Choudhuri vd. (2007) tarafından yapılan model kullanılarak tahmin edilen güneş çevrimi gözlemler ile oldukça uyumlu çıkmıştır. Bu nedenle dinamo modeline dayanan ilk başarılı tahmin çalışması olarak literatürde yer almıştır.

Güneş dinamo kuramları gözlemsel güneş çevrimlerini açıklayan model olarak kabul edilir. Fakat güneş çevriminde Dalton minimumu gibi olağandışı değişimler de görülür. Böylesi değişimlerin işin içine girmesi iyi bir tahmin

yapmayı zorlaştırır. Normal ve olağandışı çevrimlerin altında yatan mekanizmanın farklı olması da olası bir durumdur (Karak, 2012). Büyük minimum (Grand Minima) olarak bilinen değişimin tekrar görülmesine kadar böylesi çevrimlerin tahminini yapmak güçtür. Güneş çevrimi altında sadece dönmenin olmadığı fiziksel süreçlerin de yattığı yarı-dönemli bir değişimdir. Çevrim uzunlukları bir çevrimden diğerine değişse de kaba bir yaklaşımla da olsa gelecek çevrim için bir tahmin yapılabilir. Gelecek çevrimin zamanını tahmin etmek daha mümkün iken çevrimin genliğini ve diğer özelliklerini belirlemek daha zordur. Tahminler için üç amaç önerilir (Sokoloff, 2017). Bunlardan ilk ikisi Maunder minimum gibi olayları tahmin edebilmek ve genel güneş çevrimi ile ilişkisini belirlemektir. Diğeri ise mevcut çevrimler üzerinden gelecek çevrimi tahmin ederek iklim değişikliği ve hava tahmini yapabilmektir.

Tahmin yöntemleri üç ana gruptan oluşur. Öncü yöntemler, gelecek güneş çevriminin genliğini tahmin etmek için belirli bir zamanda güneş aktivitesinin veya manyetizmanın bazı ölçümlerine dayanır. Bu yöntemde iyi seçilmiş bir öncü fiziksel bir anlama karşılık gelir. Model tabanlı yöntemlerden üretilen öncüler iyi sonuçlar vermektedir. Model tabanlı yaklaşımlarda yüzey akı taşınımı modelleri ve tutarlı dinamo modelleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Öncü yöntemlerin varsayımları her bir döngünün kendi içersinde tutarlı iken diğer döngüler ile daha az uyumlu olabilmektedir. Ekstrapolasyon yöntemler aslında fiziksel sürecin verdiği önermeye dayanır. Yani matematiksel değişimlerin altında yatan düzensizlikler herhangi bir zamanda aynıdır. Bu nedenle zaman serisi yöntemleriyle analiz ve tahmin yapmaya elverişlidir. Son birkaç güneş çevriminde öncü yöntemlerin ektrapolasyon yöntemlerine göre daha üstün olduğu görülmüştür. Son birkaç güneş döngüsü sırasında doğru aralıkta tahminler veren bir öncü polar alan ölçümleridir. Bununle birlikte ektrapolasyon yöntemleri de hala çalışılmaya devam etmektedir. Model tabanlı tahminler ise kanıtlanmış uzun zamanlı kayıtları olmasa da güven oluşturmaktadır.

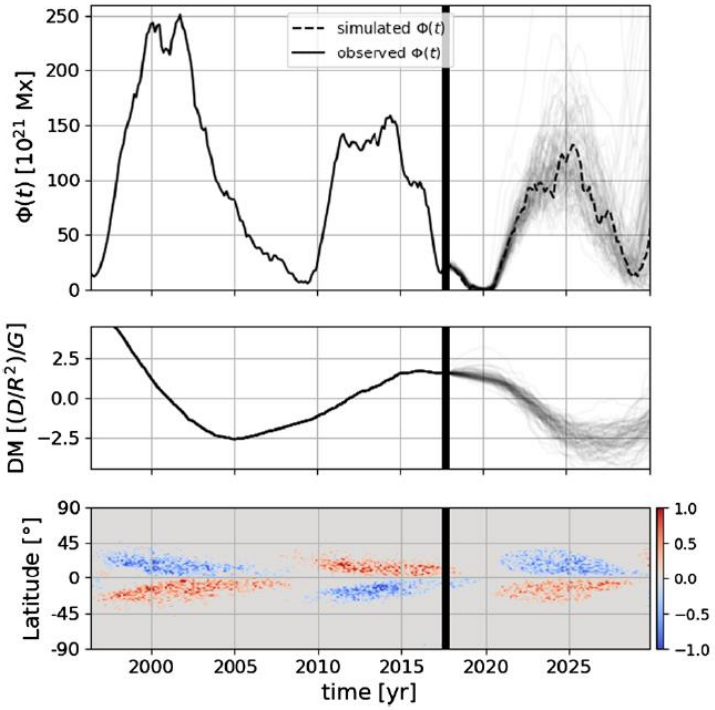
Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde güneş çevrimi tahmin yöntemleri farklı araştırmacılar tarafından farklı şekilde gruplandırılmıştır. Schüssler (2007) çalışmasında çevrim yöntemlerini ektrapolasyon ve öncü olmak üzere ikiye ayırır. Tahmin yöntemlerinde gelecek çevrim öngörülerinin sınırlı olduğunu fakat güneşe

ilişkin jeomanyetik ölçümlerin öncü olarak kullanılması ile daha iyi tahminler yapılabileceğini ifade eder. Dabas vd. (2008)'de ise çevrim yöntemleri beş grupta toplanmıştır. Bu yöntemler sırasıyla eğri fit etme, öncü, tayfsal, neural ağlar ve klimatoloji şeklindedir. Pesnell (2008) ise tahmin yöntemlerini klimatoloji (leke sayılarına dayanır), son klimatoloji (çevrim genliğine dayanır), öncü, dinamo modeli, tayfsal ve neural ağlar olarak ayırmaktadır. Petroway (2010) çalışmasında tahmin yöntemlerini model temelli yöntemler, öncü yöntemler ve ektrapolasyon yöntemleri olarak üç gruba ayırır. Her bir yöntemin güçlü ve zayıf yönleri vardır. İlk iki yöntem güneş dinamosu fiziği ile doğrudan ilişkilidir. Konveksiyon bölgesinin doğası ve beklenenin dışındaki koşullar güneş dinamosu modeli yapmayı etkileyecektir (Yeates vd., 2008). Kakad (2011)'de ise çevrim tahmin yöntemleri istatistik temelli ve dinamo temelli yöntemler olarak iki gruba ayrılmıştır. İstatistik yöntemler de kendi içerisinde ektrapolasyon ve öncü yöntemler olarak ikiye ayrılır denilmiştir. Ektrapolasyon yönteminde güneş leke sayıları ve çevrimin şekli mevcut güneş çevrimi verisi üzerinde regresyon yaparak ya da kuramsal bir eğri ile fit edilerek yapılır (McNish ve Lincoln, 1949; Hathaway vd. 1994; Kane, 1999). Farklı istatisiksel teknikleri kullanarak çevrim tahmini yapan birçok çalışma da literatürde yer almaktadır (Hathaway vd. 1999). Bunların dışındaki modeller güneş dinamosuna dayandırılmıştır (Dikpati ve Charbonneau, 1999; Dikpati vd. 2006; Dikpati ve Gilman, 2008). Bu çalışmaların dışında herhangi bir sınıfa dahil edilmemiş çevrim tahmin yöntemleri de literatürde yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında incelenen çalışmalara dayanarak çevrim tahmin yöntemleri altı gruba ayrılarak verilmiştir. Bu gruplar, dinamo modeline dayanan yöntemler, öncü yöntemler, istatistiksel yöntemler, lineer olmayan modele dayanan yöntemler, tayfsal yöntemler ve neural ağlar yöntemidir.

3.1 Dinamo Modeline Dayanan Yöntemler

Güneş çevrimlerinin tahminleri için çok çeşitli matematiksel ve fiziksel yaklaşımlar yapılmıştır (Petrovay, 2010; Pesnell, 2012). Dinamo modeli bugüne kadar en başarılı yöntem olarak kabul edilir. Literatürde bu yönteme dayanan çalışmalar incelendiğinde gelecek çevrimlerde leke sayısının tahmin edilebileceği fakat çevrim zamanlarının belirlenmesinin zor olduğu görülmektedir (Schatten, 1990). Güneş çevrimini açıklamaya çalışan birçok dinamo modeli bulunur (Parker,

1993; Choudhuri vd., 1995; Dikpati ve Charbonneau, 1999; Dikpati vd., 2006; Dikpati ve Gilman, 2006). Gelecek güneş çevrimi üzerine çalışan araştırmacıların farklı dinamo modellerini tercih ettikleri görülmüştür. Böylesi bir çalışmaya örnek Şekil 3.1'de verilmiştir. Bu çalışmada yazarlar Lemerle ve Charbonneau (2017)'de verilen dinamo modelini kullanarak 24. çevrimin özelliklerini tahmin etmeye çalışmışlardır. Şekil 3.1'de üst panelde yüzey manyetik akısının değişimi, orta panelde yüzey dipol momentinin değişimi ve alt panelde ise kelebek diyagramının verileri kullanılarak 23. çevrim özelliklerinden 24. çevrim tahminleri yapılmıştır.

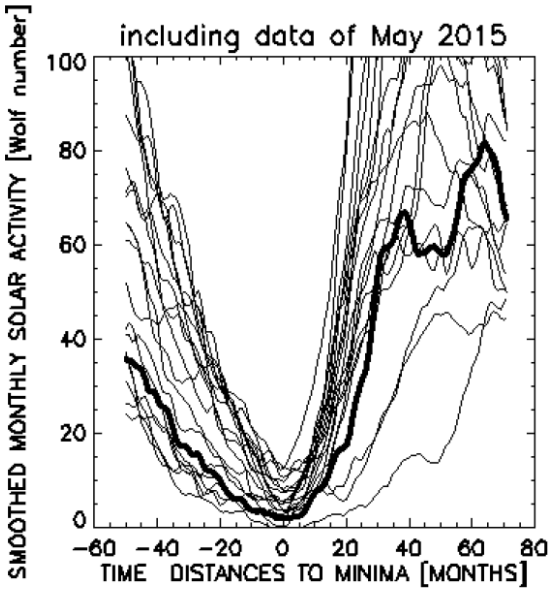


Şekil 3.1. Dinamo modeli kullanılarak 24. çevrim tahmini (Labonville vd., 2019).

3.2 Öncü Yöntemler

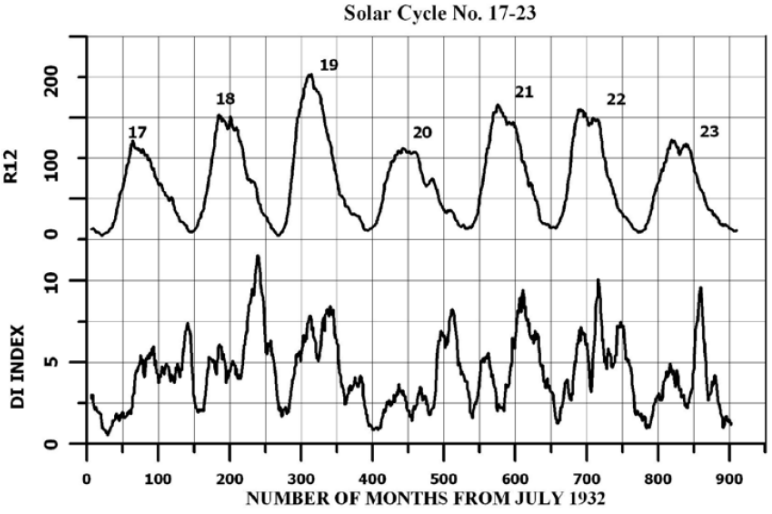
Gelecek güneş çevriminin özelliklerini belirlemek için jeomanyetik ölçümlerin, güneş radyo akısının, güneş flarelerinin, güneş lekelerinin ve koronal kütle atımlarının kullanılmasına dayanan bir yöntemdir. Mevcut leke çevrimi gözlemleri ve diğer ölçümler birlikte değerlendirilerek gelecek çevrimin genliği ve zamanları üzerine tahminler yapılabilir. Örneğin, literatürdeki çalışmalarda minimum-maksimum yöntemi olarak bilinen yöntem ile 24. güneş çevriminin genliği tahmin edilmiştir. Bu yöntem aylık leke sayılarındaki minimum ile çevrimin

maksimum zamanı arasındaki lineer ilişkiye dayanır. Yöntemin içerisinde incelenen çevrimler Şekil 3.2'deki gibi karşılaştırılarak her bir çevrim için lineer ilişki ve korelasyon katsayıları belirlenir ve sonraki çevrimler için bu ilişkiler kullanılarak tahminler yapılır.



Şekil 3.2. 20 güneş çevrimi için minimum noktalarının ve maksimum genlikteki zamanların karşılaştırılması (Brajša vd., 2015).

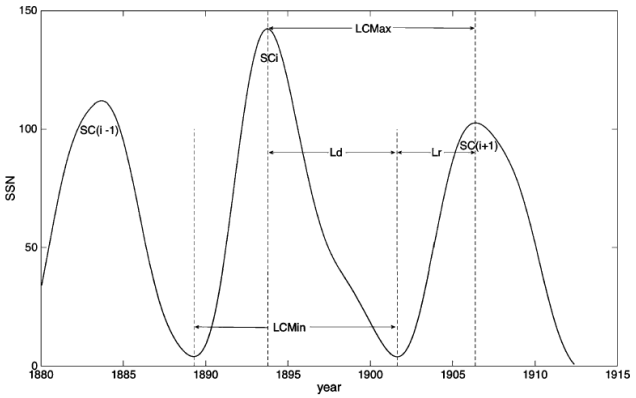
Benzer bir çalışma Dabas vd. (2008) tarafından yapılmıştır. Şekil 3.3'de görüldüğü üzere bu çalışmada güneş çevrimleri DI indeksi olarak bilinen ve yüzey manyetik alan ölçümüne karşılık gelen değişimler ile karşılaştırılarak gelecek çevrimin genliği tahmin edilmeye çalışılmıştır.



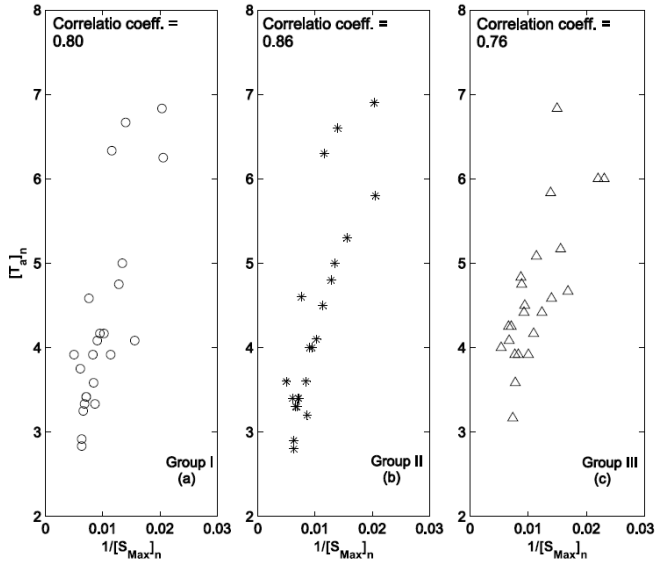
Şekil 3.3. Öncü yöntem kullanılarak güneş çevrimi tahminine bir örnek çalışma (Dabas vd., 2008).

3.3 İstatistiksel Yöntemler

İstatistiksel yöntemler mevcut güneş leke verileri üzerinden belirlenebilen çevrim genliği, çevrim uzunluğu ve maksimum genliğe iniş/çıkış sürelerini karşılaştırarak gelecek çevrimin özelliklerini tahmin etmeye dayanır. Gözlenen çevrimler çeşitli yöntemler ile temsil edilerek karşılaştırılır. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi çevrim genliği, uzunluğu ve iniş/çıkış süreleri parametreleri belirlenerek bu parametreler arasında ilişkiler aranır. Parametreler arasında bulunan korelasyonlar kullanılarak gelecek çevrimin parametreleri tahmin edilir (bkz. Şekil 3.5).



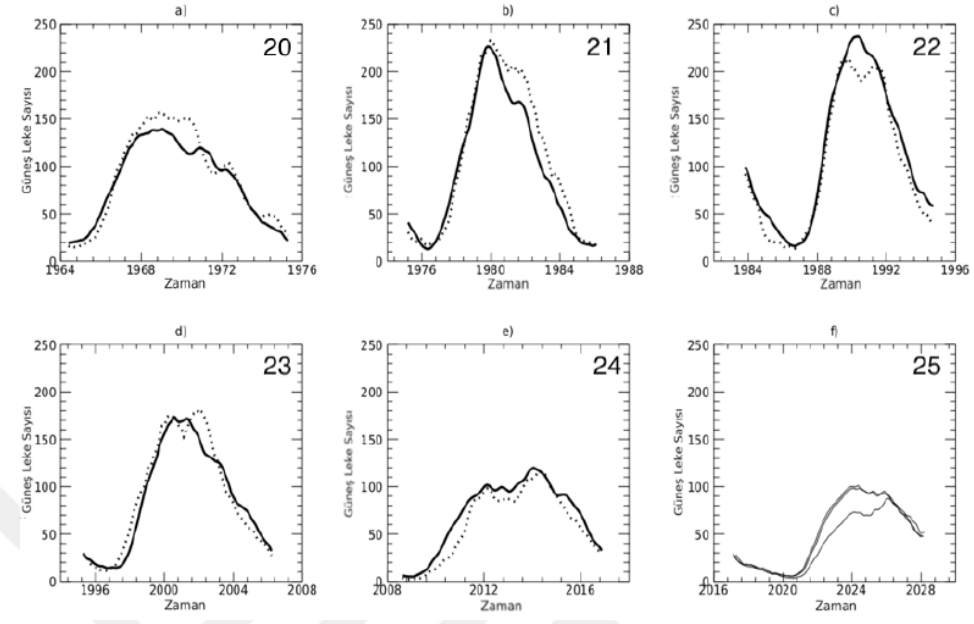
Şekil 3.4. Güneş çevrimi parametrelerini gösteren şematik bir diyagram (Kakad, 2011).



Şekil 3.5. Her bir çevrim için leke sayıları (S_{max}) ile çevrimin iniş süresi (T_a) arasındaki korelasyon (Kakad, 2011).

3.4 Lineer Olmayan Modele Dayanan Yöntemler

Bu yöntem doğrusal olarak temsil edilemeyen çevrim verilerinin lineer olmayan modeller ile temsil edilerek incelenmesini sağlar. Literatürde lineer olmayan çok sayıda tahmin algoritmaları yer almaktadır. Bu çalışmalardan birisi de Sarp (2018)'dir. Bu çalışmada deneysel dinamik modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda çevrimi modellemek için denklemler kullanmak yerine ölçümlerin zaman serisindeki değişimleri kullanılır. Bir sistemi modellemek için kullanılan denklemler yerine, bu yöntemde sistemden alınan bir ölçümün zaman serisindeki düzenler açığa çıkartılarak kullanılır. Sarp (2018)'den alınan Şekil 3.6'da son beş leke çevriminin (20, 21, 22, 23 ve 24) gözlenen değerleri ile yapılan tahminlerin uyumu görülmektedir.

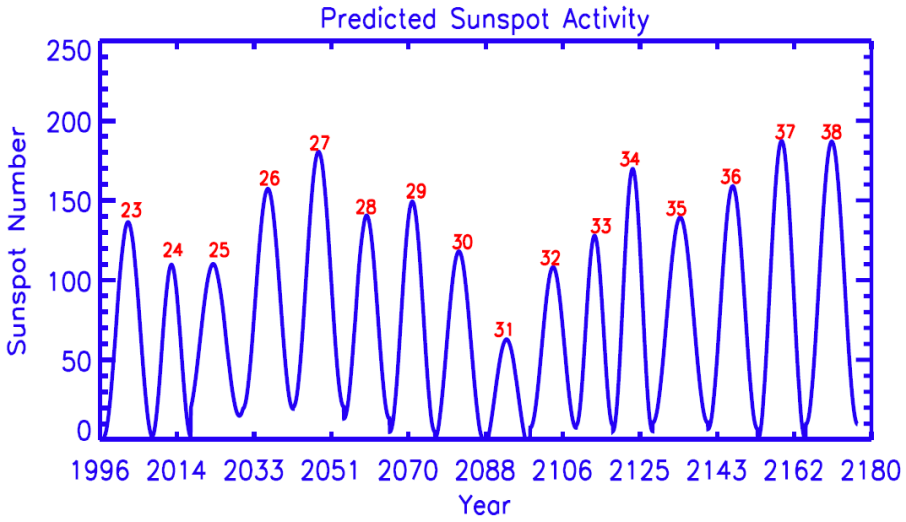


Şekil 3.6. Lineer olmayan bir model ile tahmin edilen güneş çevrimleri (Sarp, 2018).

3.5 Tayfsal Yöntemler

Tayfsal yöntemler zaman serisi (time-series) analizlerine dayanır. Zaman serisi analizi önceden bilinen olayları temel alarak gelecek olayları tahmin etme modelidir. Literatürde farklı zaman analizi modelleri olmasına rağmen astronomi çalışmalarında daha çok Fourier analizi tercih edilir.

Tüm güneş çevrimlerinin eşit olduğu kabulü ile gelecek çevrim uzunluğunu ve çevrim zamanını belirleyebiliriz (Obridko ve Sheltinf, 2008). Fakat tüm çevrimlerin süresi ve genliği birbirinden farklıdır. Bu nedenle tayfsal analiz yöntemlerini kullanırız. Güneş çevrimi için yaklaşık 150 yıllık veri üzerinden büyük hatalar ile de olsa tahminler yapılabilmektedir. Bu yönteme örnek bir çalışma olarak Hiremath (2008)'nın yaptığı çalışma verilebilir. Bu çalışmada sadece çevrimin dönemini ve genliğini belirlemek üzere analiz yapılmış ve 23-38. güneş çevrimleri için tahminler verilmiştir (bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3.7. 23-38. güneş çevrimleri tahminleri (Hiremath, 2008).

3.6 Neural Ağlar Yöntemi

Son yıllarda neural ağlar ya da makine öğrenmesi olarak literatürde yer alan çalışmalarda kullanılan veriler için başarılı tahminler yapılmaktadır. Astrofizik çalışmalarında da veriye dayalı problemlerde tahmin yapmaya yönelik çalışmalar bulunmaktadır (Bobra ve Couvidat 2015; Bobra ve Ilonidis 2016; Dhuri vd., 2019). Güneş çevrim tahmini de bu çalışmalardan biridir (Espua-Fontcuberta vd., 2020). Yöntemin tahminler konusunda çok başarılı olmadığı üzerine görüşlerin yer aldığı çalışmalar da görülmektedir.

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, güneş leke verileri kullanılarak günümüzde devam etmekte olan 25. Güneş çevriminin genel özellikleri için tahminler yapılmıştır. Tahminler için tayfsal yöntemlerden biri olan zaman serisi analizi seçilmiştir. Güneş leke verileri SILSO veri tabanından alınmıştır. WDC-SILSO (World Data Center – Sunspot Index and Long-term Solar Observations), Uluslararası Güneş Etkileri Veri Analiz Merkezi (SIDC)'nin bir faaliyetidir (https://www.sidc.be/silso/about). Belçika Kraliyet Gözlemevi'nin bir bölümü olan SIDC'nin misyonu, güneş aktivitesinin uzun dönemli değişimleri hakkındaki bilgileri korumak, geliştirmek ve yaymaktır. SILSO, Dünya'da 65 gözlemevine ait verileri değerlendirir. Gözlemevlerinden gelen verileri standart bir biçime dönüştürerek araştırmacıların kullanımına sunar. Standarta dönüştürürken gözlemevlerine ait k düzeltme katsayısı dikkate alınır. Tez kapsamında yapılan analizler ve kullanılan yöntemler alt başlıklar halinde verilmiştir.

Zaman serisi analizinde tercih edilen en verimli yöntem Fourier analizidir. Bu yöntemde analiz için kullanılacak tüm verinin sıfır noktasının çok dikkatli belirlenmesi ve veri setinin büyük boşluklar içermemesi gerekir. Güneş leke verileri için sıfır noktası problemi çok yaşanmamıştır. Fourier analizi için *PERIOD04* (Lenz ve Breger, 2005) programı kullanılmıştır. Programın avantajı birden fazla frekans içeren ışık değişimleri için gözlem verileri üzerine kuramsal temsil yapabilmesidir. Kuramsal temsil (4.1) ifadesi ile belirlenmektedir.

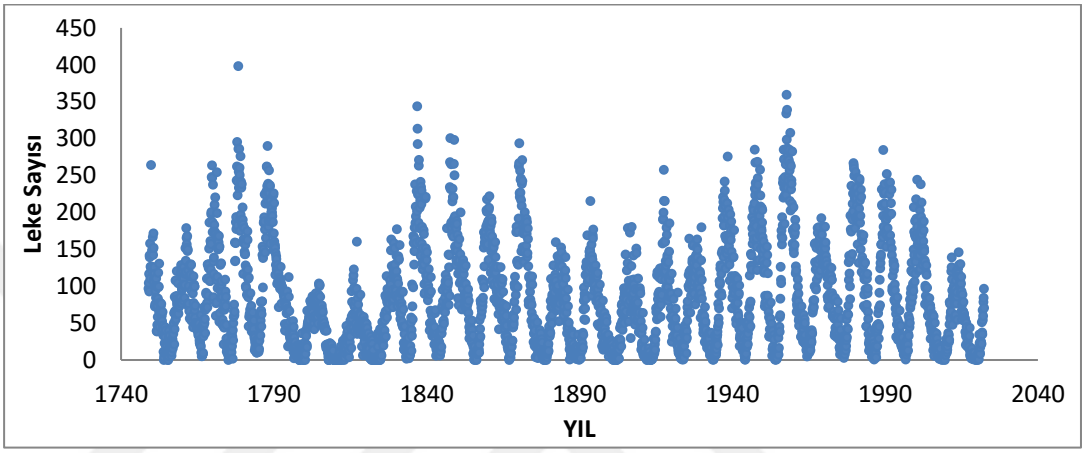
$$f(t) = Z + \sum A_i \sin(2\pi(\omega t + \emptyset_i)) \tag{4.1}$$

Bu ifadede f(t) hesaplanan parlaklık değerini, Z ışık değişiminin sıfır noktasını, A_i ışık değişiminin genliğini, ω_i frekansı ve $\emptyset_i$ evreyi temsil eder. Breger vd. (1993) tarafından duyarlılık sınırı için S/N oranı 4 ve üstünde olan frekansların kabul edilmesinin daha güvenilir olduğu ifade edilmiştir. Bu tez çalışmasında da bu kabul ile analizlere devam edilmiştir.

5. BULGULAR

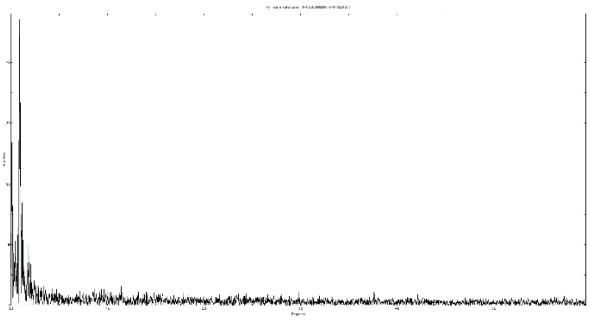
5.1 Aylık Ortalama Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi

SILSO veri arşivinden alınan aylık ortalama güneş leke verileri Şekil 5.1'de görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde her bir çevrimin şeklinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. Aylık ortalama güneş leke verileri.

Aylık ortalama güneş verileri üzerinden yapılan dönem analizi sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Analiz sonucunda 10 adet frekans belirlenmiştir. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler incelendiğinde baskın dönemin 11 yıllık leke çevrim dönemi olduğu görülmektedir. Diğer frekanslar bu dönemin harmonikleri olarak görülür. Ayrıca analizde yaklaşık 100 günlük bir dönemin varlığı da görülmüştür. Şekil 5.2'de dönem analizi sonucunda elde edilen güç tayfı görülmektedir.



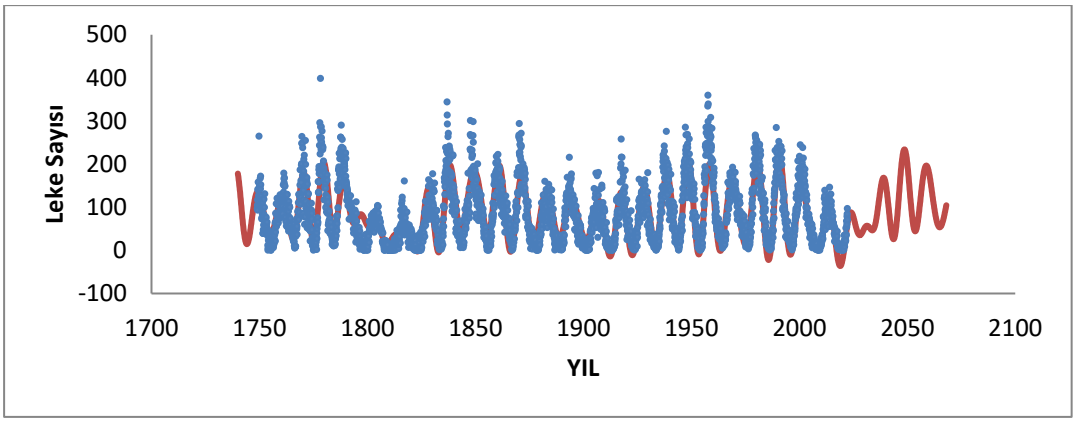
5.2. Aylık ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı.

Çizelge 5.1. Aylık ortalama güneş lekesi verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler.

Frekans	**Genlik**	**Evre**	**S/N**	**P**
0.09089 (±0.00004)	49.6 (±0.9)	0.151 (±0.003)	18.13	11.00 (±0.01)
0.09985 (±0.00005)	33.9 (±0.9)	0.612 (±0.004)	12.41	10.02 (±0.01)
0.08485 (±0.00006)	27.3 (±0.9)	0.356 (±0.005)	9.99	11.78 (±0.02)
0.01006 (±0.00007)	25.8 (±0.9)	0.538 (±0.005)	9.40	99.4 (±1.4)
0.09491 (±0.00007)	25.5 (±0.9)	0.338 (±0.005)	9.34	10.54 (±0.02)
0.0190 (±0.0001)	16.2 (±0.9)	0.273 (±0.009)	5.90	52.6 (±0.6)
0.1233 (±0.0001)	14.9 (±0.9)	0.883 (±0.009)	5.44956	8.11 (±0.01)
0.0150 (±0.0001)	14.5 (±0.9)	0.48 (±0.01)	5.27036	66.7 (±0.9)
0.1187 (±0.0001)	13.7 (±0.9)	0.07 (±0.01)	5.00156	11.00 (±0.01)
0.1073 (±0.0001)	11.6 (±0.9)	0.22 (±0.01)	4.24507	9.32 (±0.02)

Şekil 5.3’ de ise aylık ortalama güneş leke verileri üzerine çizilmiş dönem analizinden belirlenen parametreler ile oluşturulan kuramsal temsil görülmektedir. Gelecekteki çevrim tahminlerini de görmek amacı ile kuramsal temsil 2068 yılına kadar uzatılmıştır. Bu verinin dönem analizinde tüm çevrimlerin iyi bir şekilde temsil edilemediği görülmüştür.

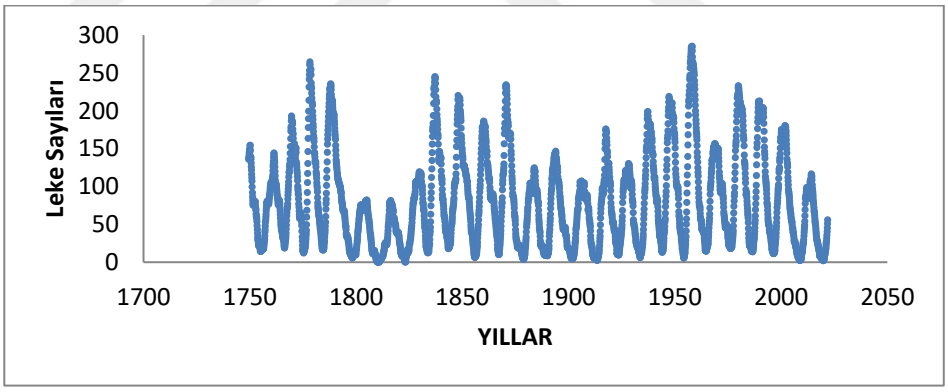
SILSO güneş verilerinde aynı zamanda 13 aylık ortalamalar ile düzeltilmiş veriler de yer almaktadır. Dönem analizi sonucunda elde edilen temsillerin daha iyi olabileceği düşüncesi ile bu veriler arşivden alınarak analiz edilmiştir.



Şekil 5.3. Aylık ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil.

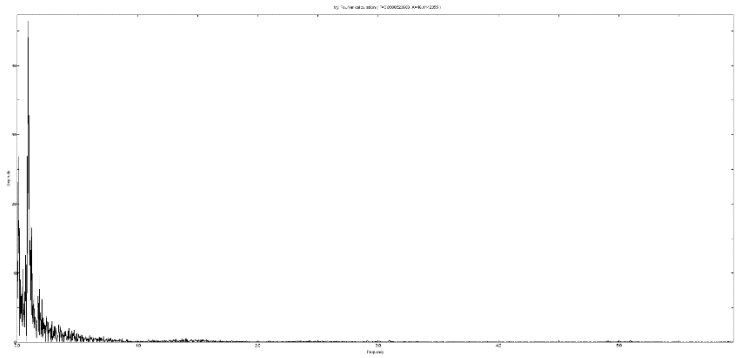
5.2 13 Aylık Ortalamalar İle Düzeltilmiş Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi

SILSO veri arşivinden alınan 13 aylık ortalamalar ile düzeltilmiş güneş leke verileri Şekil 5.4'de görülmektedir. Bu veriler incelendiğinde çevrimlerin bazılarında görülen çift maksimumların daha iyi göründüğü açıktır.



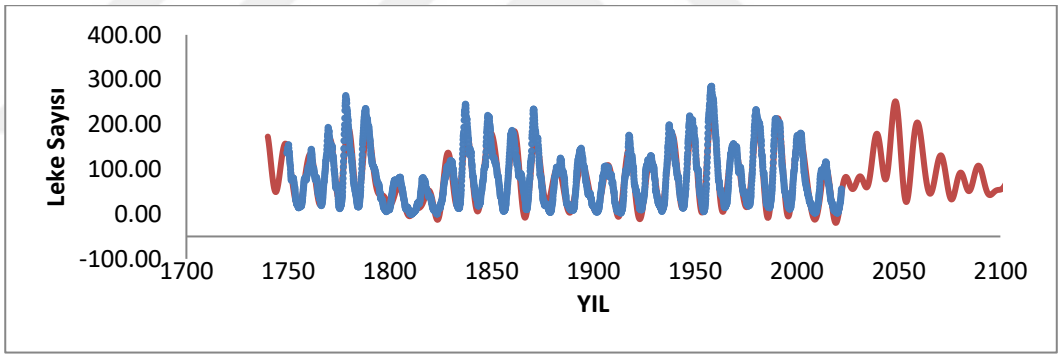
Şekil 5.4. 13 aylık ortalamalar ile düzeltilmiş güneş leke verileri.

13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş verileri üzerinden yapılan dönem analizi sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Analiz sonucunda 16 adet frekans belirlenmiştir. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler incelendiğinde baskın dönemin 11 yıllık leke çevrim dönemi olduğu görülmektedir. Diğer frekanslar bu dönemin harmonikleri olarak görülür. Ayrıca analizde yaklaşık 100 ve 340 günlük dönemlerin varlığı da görülmüştür. Şekil 5.5'de dönem analizi sonucunda elde edilen güç tayfı görülmektedir.



Şekil 5.5. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı.

Şekil 5.6'da ise 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş leke verileri üzerine çizilmiş dönem analizinden belirlenen parametreler ile oluşturulan kuramsal temsil görülmektedir. Gelecekteki çevrim tahminlerini de görmek amacı ile kuramsal temsil 2068 yılına kadar uzatılmıştır. Bu verinin dönem analizinde tüm çevrimlerin iyi bir şekilde temsil edilemediği görülmüştür.



Şekil 5.6. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil.

Çizelge 5.2. 13 aylık düzeltilmiş ortalama güneş lekesi verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler.

Frekans	**Genlik**	**Evre**	**S/N**	**P**
0.09085 (±0.00002)	48.1 (±0.5)	0.221 (±0.002)	21.11	11.007 (±0.005)
0.09985 (±0.00003)	32.9 (±0.5)	0.620 (±0.002)	14.49	10.015 (±0.006)
0.08480 (±0.00004)	26.9 (±0.5)	0.462 (±0.003)	11.83	11.79 (±0.01)
0.01009 (±0.00008)	13.6 (±0.5)	0.485 (±0.006)	5.95	99.1 (±1.5)
0.01009 (±0.00008)	13.6 (±0.5)	0.485 (±0.006)	5.95	99.1 (±1.5)
0.09489 (±0.00004)	25.5 (±0.5)	0.385 (±0.003)	11.21	10.538 (±0.009)
0.01909 (±0.00007)	15.4 (±0.5)	0.147 (±0.005)	6.78	52.4 (±0.4)
0.12334 (±0.00007)	14.5 (±0.5)	0.733 (±0.006)	6.35	8.108 (±0.009)
0.01505 (±0.00008)	14.1 (±0.5)	0.388 (±0.006)	6.20	66.4 (±0.7)
0.11857 (±0.00008)	13.5 (±0.5)	0.288 (±0.006)	5.92	8.43 (±0.01)
0.1074 (±0.0001)	11.2 (±0.5)	0.172 (±0.008)	4.93	9.31 (±0.02)
0.00294 (±0.00009)	12.0 (±0.5)	0.323 (±0.007)	5.29	340.5 (±20.8)
0.0469 (±0.0001)	10.8 (±0.5)	0.214 (±0.008)	4.75	21.28 (±0.09)
0.0666 (±0.0001)	9.9 (±0.5)	0.998 (±0.009)	4.33	15.01 (±0.05)
0.0233 (±0.0001)	10.4 (±0.5)	0.669 (±0.008)	4.56	42.9 (±0.4)
0.0705 (±0.0001)	9.2 (±0.5)	0.065 (±0.009)	4.04	14.19 (±0.04)

Şekil 5.5'den görüldüğü üzere kuramsal temsil gözlenen çevrimler ile çok daha uyumludur. Fakat gelecek çevrim tahminlerine bakıldığında önceki analizden daha iyi bir görüntü olduğunu söylemek mümkün değildir. Analizin 13 aylık düzeltilmiş ortalama veri üzerinden yapılması sadece çevrim zamanlarının belirlenmesinde bir iyileştirme sağlamıştır.

5.3 12-24. Çevrimler Arası Leke Verileri Üzerinden Zaman Serisi Analizi

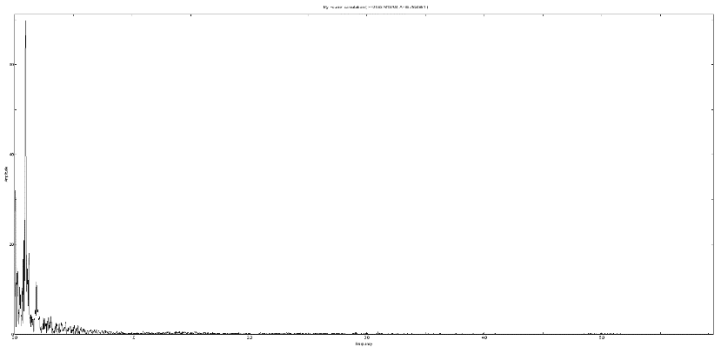
Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle bazı yöntemlerde sadece son çevrimlerin analize dahil edildiği görülmüştür. Bunun nedeni güneş çevriminde Dalton minimumu gibi çevrimlerin görülmesidir. Bu düşünce ile analizlerimizde 12-24. çevrim verilerini kullanma kararı aldık. Bu çevrim verileri üzerinden yapılan dönem analizi sonuçları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. 12-24. güneş çevrimi leke verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler.

Frekans	**Genlik**	**Evre**	**S/N**	**P**
0.09376 (±0.00004)	73.6 (±0.7)	0.545 (±0.002)	24.90	10.665 (±0.009)
0.00769 (±0.00009)	30.8 (±0.7)	0.121 (±0.004)	10.42	129.9 (±3.0)
0.1029 (±0.0001)	26.6 (±0.7)	0.767 (±0.004)	9.02	9.72 (±0.02)
0.1217 (±0.0002)	13.3 (±0.7)	0.927 (±0.009)	4.50	8.21 (±0.03)
0.0476 (±0.0002)	12.4 (±0.7)	0.03 (±0.01)	4.18	21.0 (±0.2)
0.0839 (±0.0002)	13.0 (±0.7)	0.003 (±0.009)	4.40	11.91 (±0.06)
0.1109 (±0.0002)	12.6 (±0.7)	0.357 (±0.009)	4.28	9.02 (±0.03)

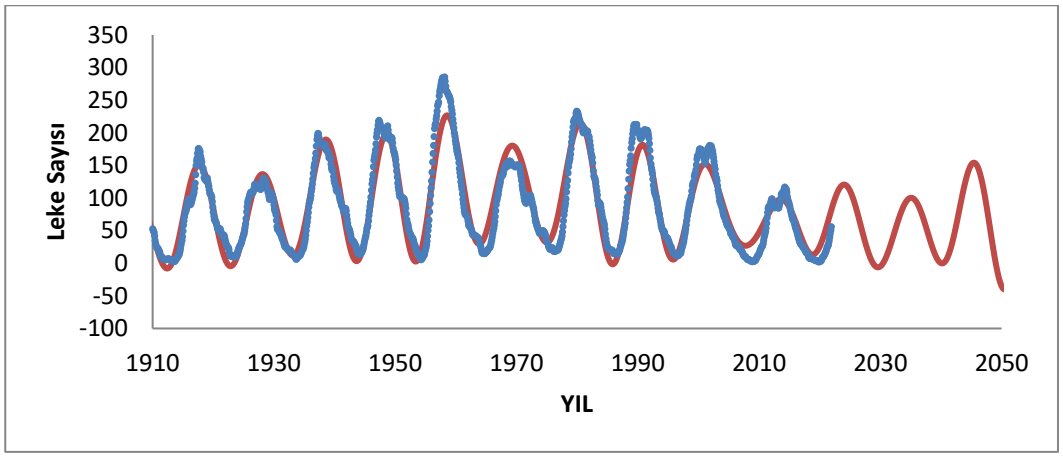
Analiz sonucunda 7 adet frekans belirlenmiştir. Bu frekanslara karşılık gelen dönemler incelendiğinde baskın dönemin 11 yıllık leke çevrim dönemi olduğu görülmektedir. Diğer frekanslar bu dönemin harmonikleridir. Ayrıca

analizde yaklaşık 130 günlük dönemin varlığı da görülmüştür. Şekil 5.7'de dönem analizi sonucunda elde edilen güç tayfı görülmektedir.



Şekil 5.7. 12-24. çevrim güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen güç tayfı.

Şekil 5.8'de ise 12-24. çevrimlere ait leke verileri üzerine çizilmiş dönem analizinden belirlenen parametreler ile oluşturulan kuramsal temsil görülmektedir. Gelecekteki çevrim tahminlerini de görmek amacı ile kuramsal temsil 2050 yılına kadar uzatılmıştır. Bu verinin dönem analizinde tüm çevrimleri çok iyi bir şekilde temsil ettiği ve gelecek çevrimler için de daha duyarlı tahminler yapılabileceği görülmüştür.



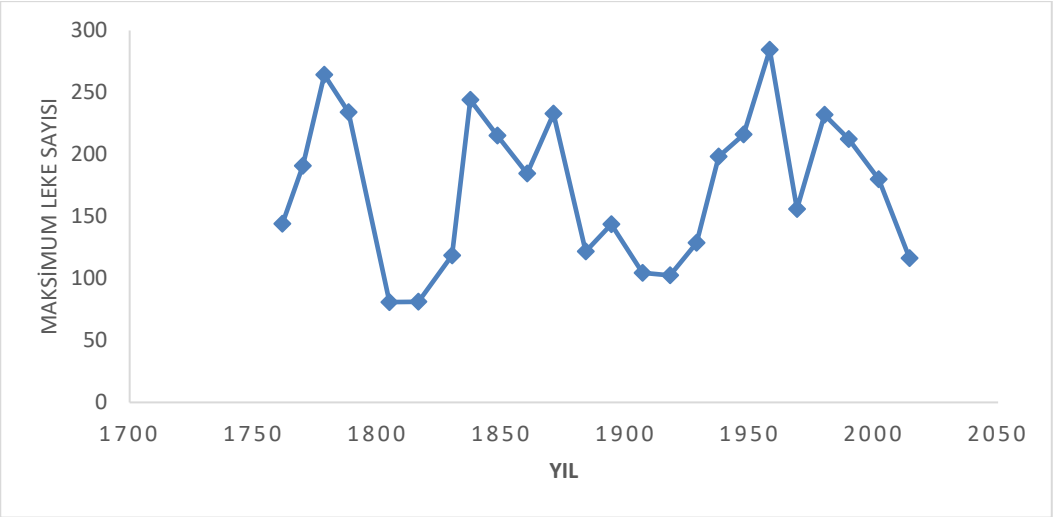
Şekil 5.8. 12-24. çevrim güneş leke verilerinin dönem analizinden belirlenen kuramsal temsil.

5.4 Grafik Okuma Yöntemi İle Çevrimlerin Genel Özellikleri

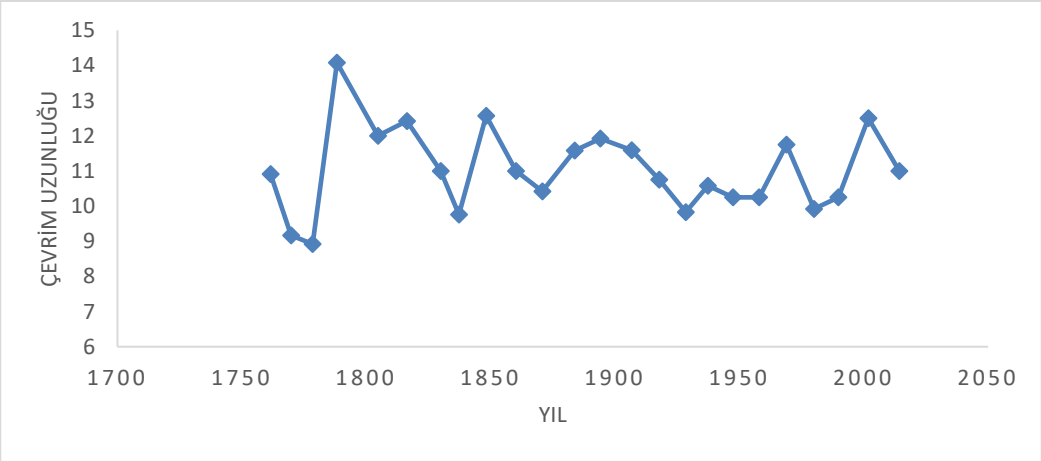
13 aylık düzeltilmiş ortalama leke verileri üzerinden grafik okuma yöntemi ile Çizelge 5.4'te verilen parametreler elde edilmiştir. Elde edilen bu parametreler çevrimlere göre Şekil 5.9, Şekil 5.10, Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de çizilmiştir. Elde edilen bulgular literatürde verilenler ile uyumludur.

Çizelge 5.4. 12-24. güneş çevrimi leke verilerinin dönem analizinden belirlenen parametreler.

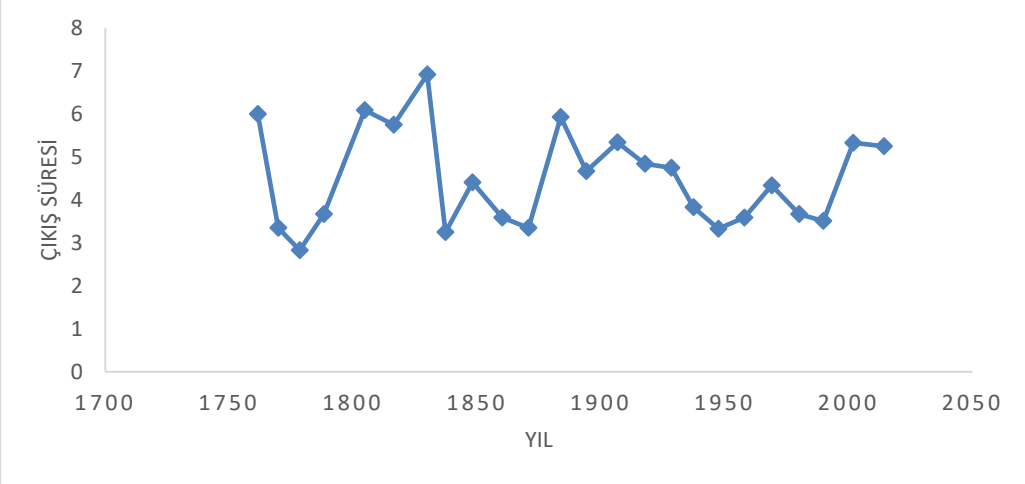
Çevrim Numarası	Max Yılı	Çevrim Uzunluğu	Çıkış Süresi	İniş Süresi	Max Leke
1	1761.54	10.91	6	4.91	144.1
2	1769.8	9.17	3.35	5.82	190.9
3	1778.45	8.92	2.83	6.09	264.3
4	1788.21	14.08	3.67	10.41	234.1
5	1804.71	12	6.09	5.91	80.9
6	1816.37	12.42	5.75	6.67	81.2
7	1829.96	11	6.92	4.08	118.6
8	1837.29	9.76	3.25	6.51	244
9	1848.21	12.57	4.41	8.16	215.2
10	1860.21	11	3.59	7.41	184.6
11	1870.8	10.42	3.35	7.07	232.9
12	1883.8	11.58	5.93	5.65	121.7
13	1894.12	11.92	4.67	7.25	143.7
14	1906.71	11.59	5.34	6.25	104.5
15	1917.8	10.75	4.84	5.91	102.5
16	1928.46	9.83	4.75	5.08	128.7
17	1937.37	10.58	3.83	6.75	198.3
18	1947.45	10.25	3.33	6.92	216.1
19	1957.96	10.25	3.59	6.66	284.4
20	1968.96	11.75	4.34	7.41	156
21	1980.04	9.92	3.67	6.25	232
22	1989.8	10.25	3.51	6.74	212.4
23	2001.87	12.5	5.33	7.17	180
24	2014.29	11	5.25	5.75	116.4



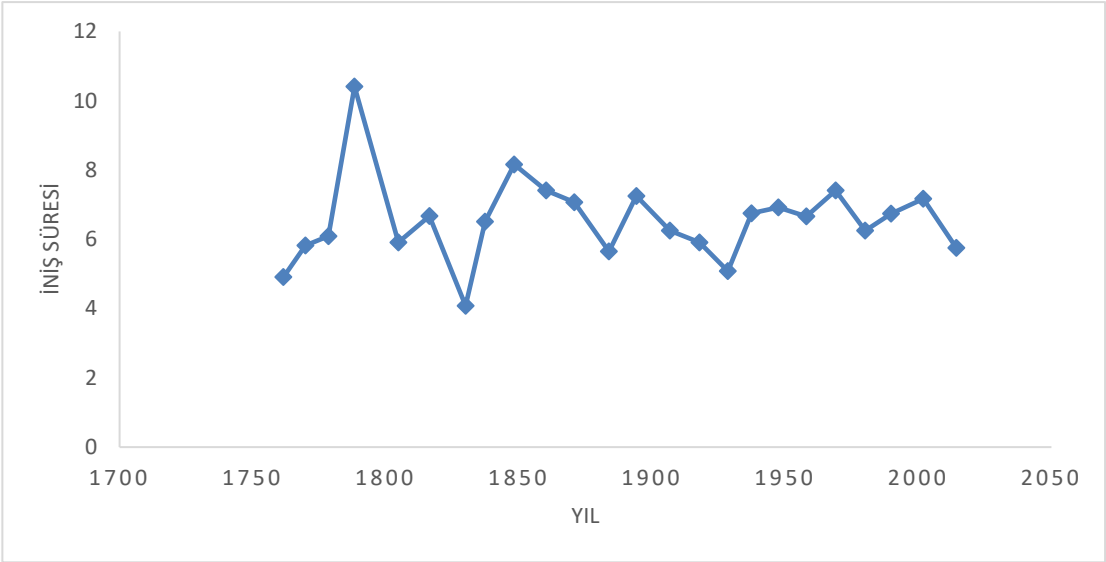
Şekil 5.9. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı.



Şekil 5.10. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin çevrim uzunluğu.



Şekil 5.11. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı.



Şekil 5.12. Güneş leke verilerinden belirlenen her bir çevrime ilişkin maksimum leke sayısı.

Şekil 5.9'da her bir çevrim için belirlenen maksimum leke sayılarının değişimine bakıldığında zaman serisi analizlerinde bulduğumuz yaklaşık 100 yıllık dönem kendisini çok net bir şekilde göstermektedir. Ayrıca bu şekildeki maksimum leke sayılarının değişimi Şekil 5.11'de verilen çevrimlerin çıkış süresi değişimleri ile karşılaştırıldığında Waldmeier etkisi açıkça görülmektedir. Çevrimin çıkış süresi ne kadar kısa ise çevrimin etkinliği yani maksimum leke sayısı o kadar fazla olmaktadır. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilen çevrime iniş/çıkış süreleri arasında bir ilişki görülmemiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında güneş leke verileri üzerinden tayfsal tahmin yöntemi olan zaman serisi analizi ile çevrimlerin genel özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen parametreler literatürdeki çalışmalarda verilenler ile karşılaştırılmıştır. Çevrim tahmin yöntemi olarak kullanılan oldukça fazla analiz yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler arasından en çok tercih edilerek kullanılmış ve gelecek çevrimler için tahminler yapılmış yöntemler dinamo yöntemi, tayfsal yöntem ve öncü yöntemdir. Literatürde bu konuda yapılan çalışmalardan 25. çevrime ilişkin topladığımız tahminler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. 25. güneş çevrimi için literatürde yer alan tahminler.

Tahmin Edilen Max Leke Sayısı	Maximum Yılı	Çevrim Uzunluğu	24. Çevrimle Karşılaştırma	Kaynak
1. Max 70- 100 2. Max 87-93	Şubat- Mayıs 2024 Kasım 2025- Şubat 2025			Sarp (2018)
	Mart 2025		Daha zayıf	Chowdhury (2022)
138±26	2024'ün ikinci yarısı			Kumar (2022)
135.5±33.2				Du (2022)
133.47	Mayıs 2025		Daha güçlü	Dang (2022)
181.46	2024.2±1.0		Daha güçlü	Ivanov (2022)
130±12			Daha güçlü	Javaraiah (2022)
121±33			Benzer güçte	Brajša (2022)
124±30	Ekim (±7 ay) 2024			Du (2022)
145.3	Ekim 2024			Lu (2022)
126.13	2023-2024		%9.4 daha güçlü	Guo (2021)
205±29	2023'ün ilk yarısı			Diego (2021)
SLD 99.13±14.97 aa 104.23±17.35			Daha zayıf	Burud (2021)
120±27	Temmuz (±7 ay) 2025			Yan (2021)
140.2	Mart 2024			Xiong (2021)
135.5 ± 33.8 , 179.4 ± 18.2			Daha güçlü	Vasiljeva (2021)
aa 119.42 ±28.41 A p 113.70 ±23.51				Singh (2021)

≈ 100.21±15.06	Nisan (±6.5 ay) 2025			Chowdhury (2021)
115.1	Ekim 2024	11.06 yıl		Wu (2021)
124.11				Singh (2021)
97.6 (±7.8)	2026.2 (±1 yıl)			Courtillot (2021)
86±18				Javaraiah (2021)
			Daha güçlü	McIntosh (2020)
128±10				Svalgaard (2020)
130.0 ±31.9	Ekim (±13ay) 2024			Du (2020a)
137,8 ±31.3	Ekim 2024	Eylül 2030		Du (2020b)
V1.0 83±8 V2.0 134±11				Bisoi (2020)
PDF 136.9±24 KDE 150.7±25				Kakad (2020)
≃151.1 ±16.9	Nisan 2023-Kasım 2024		%30 daha güçlü	Du (2020)
121.5 ± 32.9			Biraz güçlü	Miao (2020)
92±10	2024.4 ± 6 ay			Brun (2020)
110	2024	2019-2029		Gonçalves (2020)
188 ± 0.98	2023.918 ± 1.64 yıl			Han (2020)
167.3	2022-2023	10 yıl		Pala (2019)
LR 159.4 ± 22.3 RF 110.2 ± 12.8 RBF 95.5 ± 21.9 SVM 93.7 ± 23.2	Eylül 2023 Aralık 2024 Aralık 2024 Temmuz 2024		Biraz güçlü	Dani (2019)
57 ±17			Çok daha zayıf	Covas (2019)
89 ± 9	Şubat 2024	Ocak 2021-Şubat 2031		Singh (2019)
118	2024			Bhowmik (2018)
154±12	2023.2 ± 1.1 yıl			Sarp (2018)
168,5 ± 16.3	Ekim 2024		Daha güçlü	Li (2018)
			%19.5 daha zayıf	Macario-Rojas (2018)
130	2024'ün sonları		Biraz güçlü	Petrovay (2018)
F10.7cm 102.8±24.6, Lyman α 137.25±8.9	Haziran 2024	Eylül 2031		Singh (2018)
135±25	2025.2 ±1.5 yıl			Pesnell (2018)

117				Hawkes (2018)
125±32				Jiang (2018)
119.6	Mayıs 2024			Sarp (2018)
~90	2023-2024			Kitiashvili (2017)
63±11.3				Kakad (2017)
~90 ±15	2024±1 yıl			Kitiashvili (2016)
166.7	Kasım 2024-Şubat 2025			Pishkalo (2016)
100±15				Hathaway (2016)
85.0 ± 30.5				Ogurtsov (2016)
50±10			%31 daha zayıf	Javaraiah (2015)
105-110	Ekim- Aralık 2024			Pishkalo (2014)
90.7±8	2022			Attia (2013)
132.1	Nisan 2023	9.8 yıl		Rigozo (2011)
110		12.49 yıl		Hiremath (2007)
112 – 127				Kane (2007)
111,6 ± 17,4				Du (2006)

Bu tez çalışmasında 12-24. çevrimler arasındaki leke verilerini kullanarak yapılan analizler gözlemler ile en iyi temsilleri vermiştir. Bu analiz sonuçlarından belirlenen 25. çevrim maksimum leke sayısı 120, maksimum zamanı ise 2024 yılı Mart ayı görünmektedir. Çevrim uzunluğu ise 10.9 yıl olarak belirlenmiştir. Fakat uyguladığımız bu yöntemde gözlemler ile temsilin uyumu çevrim uzunluğu tahmini yaparken dikkatli olunması gerektiğini gösterir. Leke verisinin doğası gereği gözlem verileri üzerine tam olarak uyan bir temsil yapmak mümkün değildir. Güneş leke verileri farklı veri merkezleri arasında bile farklılık göstermektedir.

Sonuç olarak literatürde yer alan tahmin yöntemlerinin çevrimlerin tüm özelliklerini vermediği açıktır. En iyi belirlenen parametre maksimum leke sayısı yani çevrimin genliği ve çevrimin maksimum zamanıdır. Çizelge 6.1'den de görüleceği üzere birçok çalışmada bu parametrelerin verildiği görülmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan yöntem ile tahmin edilen parametreler literatürde 25. çevrim için verilen değerler ile uyumludur.

Çevrim tahmin yöntemlerinin sonuçlarının gözlenenden farklı olmasının nedeni mevcut güneş çevrimi verisinin istatistiksel analizler için yeterince uzun olmaması ve güneş çevriminin fiziksel mekanizmasının tam olarak anlaşılmamış olmasıdır. Gelecek gözlemler tahmin yöntemlerimizin geliştirilmesinde önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ahluwalia, H.S., Ygbuhay, R.C., 2009, Advances in Space Research 44

Attia, A.-F., İsmail, H.A., Basurah, H.M., 2013, Astrophysics and Space Science, 344, 1, 5-11.

Baltacı, U., 2014, YL Tezi, Gazi Üniversitesi, s. 18-20.

Bard, E., Baroni, M., and Team, A., 2015, Geophysical Research Abstracts, Vol. 17, EGU2015-7459.

Bhowmik, P., Nandy, D., 2018, Nature Communications, 9, 5209.

Bisoi, S.K., Janardhan, P., Ananthakrishnan, S., 2020, Journal of Geophysical Research: Space Physics, 125, 7.

Bobra, M.G., Couvidat, S., 2015, The Astrophysical Journal, 798, 135.

Bobra, M.G., Ilonidis, S., 2016, The Astrophysical Journal, 821, 127.

Brajša, R., Verbanac, G., Bandić, M., vd., 2022. Astronomische Nachrichten, 343, 3.

Brajša, R., Verbanac, G., Sudar, D., vd., 2015, Central European Astrophysical Bulletin, Vol. 39, p. 135-144.

Brun, A.S., Pui Hung, C., Fournier, A., vd., 2020, International Astronomical Union,354,138-146.

Burud, D.S., Jain, R., Awasthi, A.K., vd., 2021,Research in Astronomy and Astrophysics, 21, 9,8.

Carroll, B.W., Ostlie, D.A., 2007, An Indroduction to Modern Astrophysics, Addison-Wesley Press

Choudhuri, A.R., Chatterjee, P., Jiang, J., 2007, Predicting Solar Cycle 24 With a Solar Dynamo Model, Phys. Rev. Lett. 98, 131103

Chowdhury, P., Jain, R., Ray, P.C., vd., 2021, Solar Physics ,296.

Chowdhury, P., Sarp, V., Kılçık, A., vd., 2022, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 513, Issue 3, Pages 4152–4158.

Courtillot, V., Lopes, F., Le Mouel, J.L., 2021, Solar Physics, 296, 1, 21.

Covas, E., Peixinho, N., Fernandes, J., 2019, Solar Physics, 294, 3.

Dabas, R.S., Sharma, K., Das, R.M., Pillai, K.G.M., Chopra, P., Sethi, N.K., 2008, Solar Phys., 250, 171

Dani, T. , Sulistani, S., 2019, Journal of Physics: Conference Series, 1231, 1.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Dang, Y., Chen, Z., Li, H., 2022, eprint arXiv:2203.05757.

Dhuri, D.B., Hanasoge, S.M., Cheung, M.C., 2019, Proceedings of the National Academy of Sciences, 116, 11141.

Diego, P., Laurenza, M., 2021, Journal of Space Weather and Space Climate, 11, 52, 6.

Dikpati, M., Charbonneau, P., 1999, Astrophys. J., 518, 508

Dikpati, M., de Toma, G., Gilman, P., 2006, Geophys. Res. Lett. 33, L05102

Dikpati, M., Gilman, P.A., 2008, J. Astrophys. Astron., 29, 29

Dikpati, M., Gilman, P.A., 2006, Simulating and predicting Solar Cycles Using a Flux-Transport Dynamo. Astrophys. J. 649, 498–514.

Du, Z., (2020a), Solar Physics, 295, 10, 147.

Du, Z., (2020b), Solar Physics, 295, 10, 134.

Du, Z., 2022, Solar Physics, 297, 61.

Du, Z., Du, S., 2006, Solar Physics, 238, 431-437.

Du, Z.L., 2020, Astrophysics and Space Science, 365, 6.

Du, Z., L., 2022. Astrophysics and Space Science, 367, 20.

Erdinç, A.K., 2012, YL Tezi, Ege Üniversitesi.

Espuña-Fontcuberta, A., Chatterjee, S., Mitra, D., Nandy, D., 2020, eprint arXiv:2005.12166.

Friedli, T.K., 2020, Solar Physics, Volume 295, Issue 6, article id.72.

Georgieva, K., 2011, International Scholarly Research Notices, vol. 2011, Article ID 437838, 11.

Gilbert, A.D., 2003, Handbook of Mathematical Fluid Dynamics, 2, 2003, p.355-441.

Gilmore, R., Letellier, C., 2007, The symmetry of chaos, Oxford University Press.

Gonçalves, Í.G., Echer, E., Frigo, E., 2020, Advances in Space Research, 65, 1, 677-683.

Guo, W., Jiang, J., Wang, J., 2021, Solar Physics, 296, 9,136.

Han, Y.B., Yin, Z.Q., 2019, Solar Physics, Volume 294, Issue 8, article id. 107, 14.

Hathaway, D.H., 2016, American Astronomical Society, SPD meeting #47, id.10.06.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Hathaway, D. H., 2015, Living Reviews in Solar Physics, 12, 4

Hathaway, D.H., 2010, Living Reviews in Solar Physics, Volume 7, Issue 1, article id. 1, 65 pp.

Hathaway, D.H., 2015, Living Rev. Sol. Phys. 12, 4.

Hathaway, D.H., Wilson, R.M., Reichmann, E.J., 1994, Solar Phys. 151, 177

Hathaway, D.H., Wilson, R.M., Reichmann, E.J., 1999, J. Geophys. Res. 104(A10), 22375.

Hawkes, G., Berger, M.A., 2018, Solar Physics, 293, 109.

Hiremath, K.M., 2006, A&A 452, 591.

Hiremath, K.M., 2008, Astrophys Space Sci., 314, 45.

Hiremath, K.M., 2007, eprint arXiv:0704.1346.

Işık, S., 2013, YL Tezi, İstanbul Üniversitesi, s. 11.

Ivanov, V.G., 2022., eprint arXiv:2203.02028.

Javaraiah, J., 2015, New Astronomy, 34, 54-64.

Javaraiah, J., 2021, Astrophysics and Space Science, 366, 1, 16.

Javaraiah, J., 2022, Solar Physics,297, 33.

Jiang, J., 2018, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 340, 327-328.

Kakad, B., Kumar, R., Kakad, A., 2020, Solar Physics, 295, 6.

Kane, R.P., 1999, Solar Phys., 189, 217

Kane, R.P., 2007, Solar Physics, 246, 487.

Kakad, B., Kakad, A., Ramesh, D.S., 2017,Solar Physics, 292, 7, 95, 12.

Karak, B.B., Choudhuri, A.R., 2011, MNRAS, 410, 1503.

Kılçık, A., Özgüç, A., 2014, Solar Physics, 289, 4, pp.1379-1386.

Kitiashvili, I., 2017, American Astronomical Society, SPD meeting #48, id.306.02.

Kitiashvili, I.N., 2016, The Astrophysical Journal, 831, 1, 15, 8.

Kumar, P., Biswas, A., Karak, B.B., 2022, Royal Astronomical Society'nin Aylık Bildirimleri: Mektuplar, 513, 1, 112-116.

Labonville, F., Charbonneau, P., Lemerle, A., 2019, Solar Physics, Volume 294, Issue 6, article id. 82, 14

Leamon, R.J., McIntosh, S.W., Chapman, S.C ., Watkins, N.W. , 2020, Solar Physics, Volume 295, Issue 2, article id.36

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Leamon, R.J., McIntosh, S.W., Chapman, S.C., vd., 2021, Sol Phys 296, 151.

Letellier, C., Aguirre, L.A., Maquet, J., vd., 2006, Astron. Astro-phys. 449,379.

Li, F.Y., 2018, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 181, 110-115.

Lu, J.Y., Xiong, Y.T., Zhao, K., vd., 2022, The Astrophysical Journal, 924,59.

Macario-Rojas, A., Smith, Katharine L., Roberts, P.C.E., 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479, 3, 3791-3803.

Ma, L.H., 2009, New Astronomy, 14, 1, p. 1-3.

Matilsky, L.I., Toomre, J., 2021, 6 pages, 5 figures; In the 20.5th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, edited by Scott J. Wolk.

McIntosh, P.S., 1990, Solar Physics, Volume 125, Issue 2, pp.251-267.

McIntosh,S.W., Leamon, R.J., Egeland, R., vd., 2019, Solar Physics, 294, 88.

McIntosh, S.W., Chapman, S., Leamon, R.J., vd., 2021, Solar Physics, 295, 12.

McNish, A.G., Lincoln, J.V., 1949, Eos Trans. AGU 30, 673.

Miao, J., Wang, X., Ren, T.-L., vd., 2020, Research in Astronomy and Astrophysics, 20, 1.

Ogurtsov, M.G., 2016, Astronomy Letters, 42, 3, 204-206.

Ogurtsov M.G., Nagovitsyn Y.A., Kocharov G.E., vd., 2002, *Solar Physics*, 211, Issue 1-2, Pages 371 – 394.

Pala, Z., Atıcı, R., 2019, Solar Physics, 294, 5.

Penn, M.J., Livingston W., 2010, Proceedings of the International Astronomical Union, Volomicalume 6, Symposium S273: The Physics of Sun and Star Spots, pp.126-133.

Pesnell, W.D., 2008, Solar Phys., 252, 209

Pesnell, W.D., 2012, Solar cycle predictions (invited review). Solar Phys. 281, 507.

Pesnell, W.D., Schatten, K.H., 2018, Solar Physics, 293, 7, 112, p. 10.

Petrovay, K., 2010, Living Rev. Solar Phys., 7, 6.

Petrovay, K., 2010, Solar cycle prediction. Living Rev. Solar Phys. 7, 6.

Petrovay, K., Nagy, M., Gerják, T., 2018,Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 176, 15-20.

Pishkalo, M., 2014, Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Astronomy, 51, 36-39.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

Pishkalo, M., 2016, Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, no. 53, 49-52.

Rigozo, N.R., Souza Echer, M.P., Evangelista, H., vd., 2011, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 73, 11-12, 1294- 1299.

Sarp, V., 2018, YL Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

Sarp, V., Kılçık, A., 2018, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium, 340, 321-322.

Sarp, V., Kılçık, A., Yurchyshyn, V., vd., 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 481, 3, 2981-2985 .

Schatten, K.H., 1990, SoPh, 125, 185.

Singh, A., Bhargawa, A., 2018, 42nd COSPAR Scientific Assembly. Abstract id. D2.3-51-18.

Singh, A.K., Bhargawa, A., 2019, Astrophysics and Space Science, 364, 1, 12, 7.

Singh, A.K., Bhargawa, A., 2021, 43rd COSPAR Scientific Assembly. Held 28, id.1044.

Singh, P.R., Saad Farid, A.I., Singh, A.K., vd., 2021, Astrophysics and Space Science, 366, 48.

Sokoloff, D., 2018, Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, Volume 176, p.10

Solheim, J. E., 2013, Pattern Recogn, 1, 177-184.

Svalgaard, L., 2020, eprint arXiv:2010.02370.

Türkeş, M., (2008), Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler, İklim Değişikliği ve Çevre, 1, 26-37.

Vasiljeva, I.E., Pishkalo, M.I., 2021, Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 37, 4, pp. 200-211.

Verbanac, G., Mandea, M., Bandić, M., vd., 2015, Solid Earth 6, 775

Wilson, P.R., 1994, Solar and Stellar activity cycles, Cambridge Astrophysics Series, Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Wu, S.S., Qin, G., 2021, eprint arXiv:2102.06001.

Xiong, Y., Lu, J., Zhao, K., vd., 2021, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 505, 1046–1052.

Yan, Y., Stenning, D.C., Kashyap, V.L., 2021, Research Notes of the AAS, 5, 8.

Yeates, A.R., Nandy, D., Mackay, D.H., 2008, The Astrophysical Journal, 673, 544

Zeilik, M., Gregory, S.A., Smith, E.P., 2018, Astronomi ve Astrofizik (Çev. S. Özdemir, B. Gürol, O. Demircan), Ayrıntı Basımevi, Ankara

TEŞEKKÜR

Çalışma alanının dışında konu seçtiğimde hiç tereddüt etmeden beni onaylayan, bu zorlu süreçte özverili bir şekilde hep yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanım, Sayın Doç. Dr. Esin SİPAHİ hocama tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Büyük bir aşkla Güneş'i anlatarak, bu konuya olan ilgimin oluşmasını sağlayan hocam, Sayın Doç. Dr. Hasan Ali DAL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Bu serüvende bana, benden çok inanan ve beni her an destekleyen eşim Adem AY'a teşekkür ederim.

Küçük yaşlarına rağmen bu süreci olgun bir şekilde karşılayıp beni motive eden oğullarım İsmail Kerem AY ve Hasan Eymen AY'a teşekkür ederim.

Bana hep moral veren güler yüzlü akademik yoldaşım Mihrap YALIN'a ve başarılarını her daim örnek aldığım Ezgi Yoldaş'a teşekkür ederim.

Büyük fedakarlıklarla beni okutup bugünlere gelmemi sağlayan anne ve babama saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

31/ 08 / 2022

İmzası

Berna AY

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER	
Adı Soyadı	Berna AY
Doğum Tarihi	
Doğum Yeri	
Uyruğu	T.C.
E-mail Adresi	
ÖĞRENİM BİLGİLERİ	
YÜKSEK LİSANS	
Üniversite	Ege Üniversitesi
Enstitü	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
LİSANS	
Üniversite	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi
Fakülte	Eğitim Fakültesi
Bölüm	Fen Bilgisi Öğretmenliği
Mezuniyet Yılı	2006