



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ EĞİKLİK AÇILARI İLE
ÇEVİRİM ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER**

Seda IŞIK

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman

Doç. Dr. Nuro! AL

Aralık, 2013

İSTANBUL



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



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ EĞİKLİK AÇILARI İLE
ÇEVİRİM ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER**

Seda IŞIK

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman

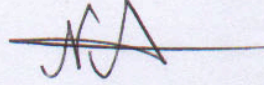
Doç. Dr. Nuro! AL

Aralık, 2013

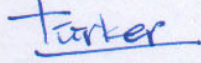
İSTANBUL

Bu çalışma 18/12/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

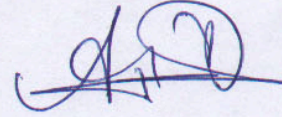
Tez Jürisi:



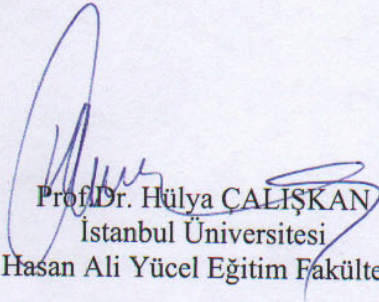
Doç.Dr. Nurol AL(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



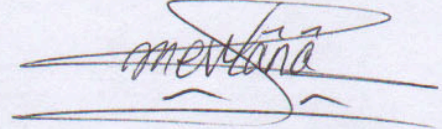
Prof.Dr. M. Türker ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof. Dr. Adnan ÖKTEN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi



Prof.Dr. Hülya ÇALIŞKAN
İstanbul Üniversitesi
Hasan Ali Yücel Eğitim Fakültesi



Yrd.Doç.Dr. Mevlana BAŞAL
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

ÖNSÖZ

Güneş'in manyetik aktivitesinin en önemli belirteçlerinden olan güneş lekeleri yüzyıllardır gözlenerek Güneş'in ve diğer yıldızların anlaşılmasında büyük rol oynamışlardır. Teorik modeller ve nümerik simülasyonlar ile birleştirilen gözlemler, Güneş'teki ince yapılardan büyük ölçekli yapılanmalara kadar birçok olayı açıklığa kavuşturur. Güneş yüzeyinde gerçekleşen bu olayların uzun dönemli kayıtları; Güneş'in aktivite çevrimini anlamakta, döngüsünün sürekli devam etmesini sağlayan manyetik dinamosuna ışık tutmakta, aktivitesinin yer manyetosferine ve iklimine olan etkisini öngörmekte başat bir yardımcıdır.

20. yüzyılın sonlarına doğru uzay teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yüksek çözünürlüğe sahip gözlemler oldukça önem kazanmıştır. Fakat çok daha eski yıllara ait güneş lekesi verilerini sunarak geniş bir zaman aralığında analiz yapılmasını sağlayan yer tabanlı teleskopların kayıtları da hala kullanılmaktadır. Günümüzde de güneş lekelerinin çizimlerinden ya da görüntülenmesinden yararlanılarak aktivite çevrimi hakkındaki birçok soruya cevap aranmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışma, tarihsel öneme sahip güneş lekeleri çizim verilerinden yararlanılarak, güneş leke gruplarının bazı özellikleri arasındaki parametrik ilişkilerin incelenmesi açısından önemli bir yere sahiptir.

Tez süresince zamanını ve tecrübelerini esirgemeyen, tezi dikkatle inceleyerek yol gösteren danışmanım Doç. Dr. Nurol Al'a, bu çalışmaya özel olarak geliştirdikleri bilgisayar programı sayesinde tezin ilerlemesine büyük katkı ve kolaylık sağlayan Dr. Emre Işık ve Dr. Robert Cameron'a, duyarlı analizler yapabilmemiz için kendi verilerini ve yöntemlerini paylaşan Dr. Maria Dasi-Espuig'e, tezde kullanılan verilerin toplanmasındaki yıllarca süren emeklerinden dolayı Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Güneş Fiziği Laboratuvarı'nın geçmiş ve şimdiki tüm çalışanlarına, hayatım boyunca koşulsuz yanımda olan babama, anneme ve iki güzel kardeşime, fakat en çok bilgi ve görüşlerini paylaşarak yanımdan hiç ayrılmayan sabırlı ve anlayışlı eşime, tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Ve bu tez çalışmasını iyileşmesini dört gözle beklediğimiz babama atfederim.

Aralık, 2013

Seda IŞIK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ	vi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	vii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	4
2.1 GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	4
2.1.1 İç Yapı	4
2.1.2 Atmosfer	5
2.1.3 Güneş Manyetizması	6
2.2 GÜNEŞ'TE BÜYÜK ÖLÇEKLİ YAPILANMALAR VE GÜNEŞ LEKELERİ	7
2.2.1 Güneş Dinamosu.....	7
2.2.2 Güneş Lekelerinin Yapısı ve Genel Özellikleri.....	10
2.2.3 Güneş Lekelerinin Oluşum Mekanizması	12
2.3 GÜNEŞ'İN LEKE ÇEVİRİMİ	12
2.3.1 Leke Çevriminin Özellikleri	12
2.3.2 Leke Çevriminin Gözlenebilir Parametreleri.....	14
3. MALZEME VE YÖNTEM	15
3.1 GÖZLEMLER.....	15
3.1.1 Lekelerin Konumlarının ve Alanlarının Ölçümü.....	15
3.1.2 Lekelerin Enlemlerinin ve Boylamlarının Hesaplanması.....	19

3.1.3 Leke Gruplarının Eğiklik Açılarının Hesaplanması	24
4. BULGULAR	27
4.1 LEKE GRUPLARI ENLEMLERİNİN ZAMANLA DEĞİŞİMİ.....	27
4.2 TOPLAM LEKE GRUBU ALANLARININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ.....	28
4.3 LEKE GRUPLARININ ALANLARI İLE EĞİKLİK AÇISI ARASINDAKİ İLİŞKİ.....	31
4.4 JOY KANUNU'NUN GÖSTERİMİ VE ÇEVİRİME BAĞLILIĞI.....	33
4.5 ORTALAMA EĞİKLİK AÇISI VE ORTALAMA ENLEMİN ÇEVİRİM ŞİDDETİNE BAĞLILIĞI	35
4.6 ORTALAMA EĞİKLİK AÇISININ VE JOY EĞİMİNİN YARIKÜRESEL DEĞİŞİMİ	39
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	43
KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	56

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Güneş'teki akı taşınımının şematik bir gösterimi.	9
Şekil 2.2: Güneş leke grubu eğiklik açısının gösterimi.	11
Şekil 3.1: L_0 , B_0 ve P açılarının güneş diski üzerinde şematik gösterimi.	16
Şekil 3.2: Analizi yapılan gözlem kağıtlarının görüntüsü.	17
Şekil 3.3: L ve B açılarının küresel koordinat sisteminde şematik gösterimi.	19
Şekil 3.4: Gözlemsel olarak hesaplanan p_1 açısının disk üzerinde gösterimi.	20
Şekil 3.5: Lekenin koordinat değerlerinin ve merkeze olan uzaklığının şematik gösterimi.	22
Şekil 3.6: Lekenin konum açısının disk üzerinde şematik gösterimi.	23
Şekil 3.7: Leke grubunun ağırlık merkezinin ve eğiklik açısının şematik gösterimi.	25
Şekil 3.8: Pozitif ve negatif eğiklik açılarının yarıkürelere göre değişiminin gösterimi.	26
Şekil 4.1: [1986-2012] yılları arası ortaya çıkan güneş leke gruplarının kelebek diyagramı.	27
Şekil 4.2: Leke grubu umbral alanlarının günlük toplamalarının (noktalar) ve günlük toplam alanlar üzerinden aylık ortalamalarının (sürekli çizgi) zamana bağlı değişimi.	28
Şekil 4.3: Debrecen Gözlemevi'nden alınan leke gruplarının günlük toplam umbral alanlarının zamanla değişimi.	29
Şekil 4.4: Yıllık toplam leke grubu sayısının zamanla değişimi.	31
Şekil 4.5: Eğiklik açısının alanın fonksiyonu olarak dağılımı. Noktalar tek tek grupları temsil etmektedir. Büyük daireler $30 \mu\text{SH}$ 'lik alan aralıkları üzerinden eğiklik açısının ortalama değerlerini, hata çubukları ise ortalamaların standart sapmalarını göstermektedir.	32
Şekil 4.6: Leke gruplarının ortalama eğiklik açılarının enlemin mutlak değeri ile değişimi. Yuvarlak kırmızı noktalar 5 derecelik enlem aralıkları üzerinden alınan ortalamaları ve standart sapmaları, sürekli çizgi ise bu dağılımdan geçen doğrusal regresyon sonucunu göstermektedir.	33
Şekil 4.7: 5'er derecelik enlem kuşakları için hesaplanan ortalama eğiklik açısı ile 22. ve 23. çevrimler için Joy Kanunu'nun gösterilmesi. Noktalı çizgi ve siyah yıldız sembelleri 22. çevrimi, kesikli çizgi ve kırmızı dörtgen sembelleri 23. çevrimi temsil etmektedir.	34
Şekil 4.8: $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ oranı ile çevrim şiddeti arasındaki ilişki. Siyah noktalar ile gösterilen 15-21 çevrimlerine ait Mount Wilson Gözlemevi'nin, kırmızı yıldızlar ile gösterilen 22-23 çevrimlerine ait Kandilli Rasathanesi'nin verileridir. 'r' değeri korelasyon katsayısını ifade eder. 15 ve 21. çevrimler eksik veriden dolayı regresyona katılmamıştır. Çevrim şiddeti değerleri	

RGO/USAF/NOAA veri tabanından alınan umbral ve penumbral alanların toplam değeridir.....	37
Şekil 4.9: $\langle\alpha_w\rangle/\langle\lambda_w\rangle$ oranı ile çevrim şiddeti arasındaki ilişki. Siyah noktalar ile gösterilen 15-21 çevrimlerine ait Kodaikanal Gözlemevi'nin, kırmızı yıldızlar ile gösterilen 22-23 çevrimlerine ait Kandilli Rasathanesi'nin verileridir. 'r' değeri korelasyon katsayısını ifade eder. Çevrim şiddeti değerleri RGO/USAF/NOAA veri tabanından alınan umbral ve penumbral alanların toplam değeridir.....	38
Şekil 4.10: 22. çevrim için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi. Kırmızı dörtgenler ve noktalı doğru kuzey yarıküreyi, yeşil üçgenler ve kesik çizgili doğru güney yarıküreyi temsil etmektedir. Regresyonlar 5'er derecelik enlem kuşakları üzerinden ortalama eğiklik açıları hesaplanarak çizilmiştir.....	41
Şekil 4.11: 23. çevrim için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi. Kırmızı dörtgenler ve noktalı doğru kuzey yarıküreyi, yeşil üçgenler ve kesik çizgili doğru güney yarıküreyi temsil etmektedir. Regresyonlar 5'er derecelik enlem kuşakları üzerinden ortalama eğiklik açıları hesaplanarak çizilmiştir.....	42
Şekil 5.1: Manyetik kelebek diyagramı.....	49

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 3.1: Leke parametrelerinin kaydedildiği metin dosyasından örnek.....	19
Tablo 3.2: Grup parametrelerinin kaydedildiği metin dosyasından örnek.....	26
Tablo 4.1: 22. ve 23. çevrimler için ortalama eğiklik açıları ve enlem değerleri. $\langle \alpha_w \rangle$ ve $\langle \lambda_w \rangle$ umbral alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı ve enlem değerleridir.....	35
Tablo 4.2: Alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısının yarıküresel değişimi.....	39
Tablo 4.3: Mount Wilson Gözlemevi verileriyle 16-21 çevrimleri için elde edilen ortalama eğiklik açısının yarıküresel değişimi (McClintock ve diğ., 2013).....	40
Tablo 4.4: 22. ve 23. çevrimler için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi.....	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Å	: Angström
a, b	: Güneş leke umbrasının koordinat değerleri
K	: Kelvin
m	: $y=mx+n$ doğrusunun eğimi
n	: $y=mx+n$ doğrusunun y eksenini kestiği nokta
(r,θ,φ)	: Küresel koordinatlar
G	: Gauss
L ₀	: Carrington boylamı
ρ	: Disk merkezi ve leke arasındaki açısal uzaklık
R	: Wolf sayısı
k	: Ölçek faktörü
p ₀	: Kuramsal p açısı
p ₁	: Gözlemsel p açısı
L, B	: Güneş merkezli boylam ve enlem
θ	: Güneş leke grubunun konum açısı
α	: Güneş leke grubunun ortalama eğiklik açısı
λ	: Güneş leke grubunun ortalama enlemi
α _w	: Alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı
λ _w	: Alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlem
α(λ)	: Joy eğimi
A _{pix}	: Güneş leke umbrasının piksel cinsinden alanı
R	: Güneş diskinin yarıçapı
R _☉	: Güneş yarıçapı
n _{pix}	: Düzeltilmiş piksel sayısı
g	: Toplam güneş leke grubu sayısı
f	: Güneş leke gruplarındaki toplam leke sayısı
P, P'	: Güneş'in gerçek kutup noktaları
P _x , P _y , P _x ', P _y '	: Güneş'in gerçek kutup noktalarının x ve y koordinat değerleri
x ₀ , y ₀	: Güneş diski merkezinin koordinatları
s	: Güneş leke umbrasının disk merkezine olan uzaklığı
ö	: Leke grubundaki öncü polarite
i	: Leke grubundaki izleyen polarite
L _ö , L _i	: öncü ve izleyen polaritelerin alanla ağırlıklandırılmış boylamı
B _ö , B _i	: öncü ve izleyen polaritelerin alanla ağırlıklandırılmış enlemi
A _j	: j. leke grubunun umbral alanı
α _j	: j. leke grubunun eğiklik açısı
λ _j	: j. leke grubunun enlemi

Kısaltmalar	Açıklama
Mx	: Maxwell
μSH	: Micro Solar Hemisphere (mikro güneş yarıküresi)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ LEKE GRUPLARININ EĞİKLİK AÇILARI İLE ÇEVİRİM ÖZELLİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Seda IŞIK

İstanbul Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Nurol Al

Bu tez çalışmasının amacı güneş leke gruplarının düzenlilik gösteren bazı parametrelerini ölçerek bunların Güneş'in aktivite çevriminin bazı özellikleri ile olan ilişkilerini incelemektir. Bu hedefle [1986-2012] yılları için Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Güneş Fiziği Laboratuvarı'nın beyaz ışıpta çizilen güneş fotosferi gözlemleri incelenmiştir. Gözlemler, güneş lekelerinin ölçekli beyaz kağıtlara izdüşüm görüntüleri üzerinden el ile çizilmesi tekniğine dayanmaktadır. Leke grubu içerisindeki umbral bölgelerin güneş diski üzerindeki konumları, alanları ve bunlara bağlı olarak grup enlemi ve eğiklik açısı gibi nicelikler, bu çalışma için geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla oldukça duyarlı bir şekilde ölçülmüştür. Elde edilen niceliklerin birbirleriyle ve zamanla olan değişimlerini araştırmak amacıyla, istatistiksel analizler yapılmıştır. Böylelikle güneş aktivitesinin 22. ve 23. çevrimlerinin şiddeti, ortalama eğiklik açısı, ortalama enlemi, kelebek diyagramı ve yarıküresel asimetri gibi özellikleri Kandilli Rasathanesi ve Royal Greenwich Observatory / NOAA veritabanı kullanılarak incelenmiştir. Bulunan ilişkiler kendi aralarında ve daha önceki çevrimlerle karşılaştırılarak farklar ve benzerlikler ortaya çıkarılmış, böylece literatürdeki konuyla ilgili çalışmalara katkı sağlanmıştır.

Aralık 2013, 69 Sayfa.

Anahtar kelimeler: Güneş, Güneş'in manyetik aktivitesi, leke çevrimi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

RELATIONS BETWEEN TILT ANGLES OF SUNSPOT GROUPS AND CYCLE PROPERTIES

Seda IŞIK

İstanbul University

Graduate School of Science and Engineering

Department of Astronomy and Space Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Nuro! AL

The purpose of this thesis is to measure selected parameters of sunspot groups that show regularity and to examine their relations with the general properties of the solar cycle. With this goal, solar photospheric white-light drawings of Kandilli Observatory of Boğaziçi University were analysed for the period [1986-2012]. The observations are based on a technique which involves drawings of sunspots over solar images projected onto scaled white papers. The positions and areas of umbral regions in sunspot groups, and therefore quantities such as group latitude and tilt angle were sensitively measured, using a computer code developed for this study. Statistical analyses were carried out, to explore the interrelationships and time variations of the measured quantities. In this way, properties such as cycle strength, mean tilt angle, mean latitude, butterfly diagram, and hemispheric asymmetry were investigated for the 22nd and 23rd cycles of solar activity, using the sunspot databases of Kandilli Observatory and Royal Greenwich Observatory / NOAA. The similarities and differences between the solar cycles considered and the previous cycles were revealed, such that a contribution to the existing literature has been provided.

December 2013, 69 Pages.

Keywords: Sun, solar magnetic activity, sunspot cycle

1. GİRİŞ

Güneş'teki manyetik alanların büyük ölçeklerde yapılanmasına en iyi örneklerden biri güneş lekeleridir. Güçlü manyetik akı yoğunlaşmaları olarak tarif edilen güneş lekeleri, Güneş'in en alt atmosfer tabakası olan fotosferde gözlenir. Çevrelerine göre daha koyu ve daha soğuk olan bölgelerdir. Koyu görünmelerinin sebebi şiddeti yaklaşık 2-3 bin Gauss olan manyetik alanların konvektif ısı akışını baskılaması (Solanki, 2003) ve böylece lekelerin çevrelerinden biraz daha soğuk kalmalarını sağlamasıdır.

Güneş aktivitesinin en belirgin özelliklerinden biri ortalama 11 yıllık dönemler halinde tekrarlanan güneş leke çevrimidir. Çevrim başlangıcında az sayıda leke grubu gözlenirken ilerleyen evrelerde bu sayı giderek artar ve bir maksimuma ulaşır. Bu evreden sonra leke grubu sayısı tekrar azalarak bir minimum değere düşer. Çevrimin uzunluğunu veren iki minimum arasındaki süre ortalama 11 yıl olmakla birlikte, bu süre 8 ile 14 yıl arasında değişebilmektedir (Hathaway, 2010).

Tek veya çift kutuplu gruplar halinde görünen güneş leke gruplarının bazı düzenli özellikler gösterdiği bilinmektedir. Bunlarla ilgili olarak ortaya konan Joy Kanunu ve Hale Polarite Kanunu (Hale ve diğ. 1919), eğiklik açılarının çevrim şiddeti ile ilişkisi (Dasi ve diğ., 2010) gibi çevrimsel özellikler tezin genel kısımlar bölümünde ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Leke gruplarının gösterdiği bu düzenlilikler Güneş'in konveksiyon bölgesinde enlemsel doğrultuda manyetik alanların olduğuna işaret eder. Bu alanların çeşitli süreçlerle güçlendirildiği ve manyetik akı tüpleri şeklinde yüzeye çıktıkları düşünülmektedir. Sahip oldukları sistematik eğiklik açıları nedeniyle de Güneş'in kutuplarında bir önceki çevrimden kalan manyetik alanları önce nötrleyip ardından onlara baskın çıkarak önceki çevrime ait polaritenin işaretini çevirir (Solanki ve diğ., 2006).

Bir çevrimi tanımlayan güneş leke gruplarının ortalama enlemleri, sayıları, alanları ve eğiklik açıları gibi nicelikler her ne kadar aynı çevrim içerisinde düzenli bir gidişat sergiliyor olsa da, bu nicelikler çevrimden çevrime farklılıklar gösterir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bir çevrimde gözlenen ortalama eğiklik açısı ile o çevrimin şiddeti arasında negatif bir korelasyonun olduğunu yani şiddetli çevrimlerde gözlenen leke gruplarının ortalamada daha küçük eğiklik açısı ile ortaya çıktıklarını göstermiştir. (Dasi-Espuig ve diğ., 2010). Bir çevrimin ortalama eğiklik açısı, o çevrimi takip eden minimum evredeki kutup alanları ile birlikte göz önüne alındığında bir sonraki çevrimin genliği hakkında da tahminler yürütülmesini sağlayabilir (Cameron ve diğ. 2010). Bu çalışma kapsamında kullanılan gözlem verileri ile bu ilişki sınanmıştır.

Tezin amacı, 1986 yılının başından 2012 yılının sonuna kadar gözlenen leke gruplarının eğiklik açılarını, alanlarını, konumlarını ölçüp bu niceliklerin birbirleriyle olan ilişkilerini inceleyerek önceki çevrimlerle karşılaştırmaktır. Bu ilişkiler söz konusu olan 22. ve 23. çevrimler için daha önce birarada incelenmemiş olup literatürdeki benzer çalışmaları bir adım daha ileriye götürecektir. Güneş çevrimlerinin bu özelliklerinin birbirleriyle olan benzerlik ve farklarını daha nesnel olarak ortaya çıkarmak için 22.'den önceki çevrimlerin de verilerinden yararlanılmıştır. Bunun için Mount Wilson, Kodaikanal, Debrecen Gözlemevleri'nin eğiklik açısı ve leke alanları gibi nicelikleri kullanılmıştır.

Bu tezde ilk olarak 22. ve 23. çevrim ile 24. çevrimin çıkış kolu için [1986-2012] güneş lekelerinin konum, alan ve eğiklik açısı gibi büyüklükleri hesaplanmıştır. Bu niceliklerin ölçümleri, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne bağlı Güneş Fiziği Laboratuvarı'nın arşivindeki fotosfer rasat kağıtları üzerinden bir bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu programın teknik ayrıntıları ve bu programın parametreleri nasıl ölçtüğü ile ilgili bilgiler malzeme ve yöntem kısmında anlatılmıştır.

Bulgular kısmında, yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçların birbirleriyle olan ilişkileri grafiklendirilmiş ve sayısal değerleri verilmiştir. Böylece 22. ve 23. çevrimlerin kendilerine özgü özellikleri ortaya çıkartılarak, başka gözlemevlerinin sonuçlarıyla uyumu araştırılmıştır.

Tartışma ve sonuç kısmında ise hesaplanan tüm nicelikler ve sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılarak uyumuna bakılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürdeki güneş leke çevriminin altında yatan fiziksel süreçleri aydınlatmaya yönelik çalışmalar ışığında yorumlanmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ

Güneş Sistemi'nin merkezinde yaklaşık 4.6 milyar yıldır varolan Güneş, yaklaşık $6,960 \times 10^5$ km yarıçapında, $1,98 \times 10^{30}$ kg kütleli, G2 tayf türünden bir anakol yıldızdır. Kütlelerinin %74'ü hidrojen, %24'ü helyumdan, %2'si ise ağır elementlerden oluşur. Etkin sıcaklığı yaklaşık 5778 K olan soğuk bir yıldızdır.

2.1.1 İç Yapı

Güneş'in iç yapısı hakkındaki bilgiye doğrudan gözlemlerle ulaşılması mümkün değildir. Helyosismolojik gözlem tekniklerinden yararlanılarak yapılan teorik hesaplarla iç kısmı doğru şekilde tanımlanmaya çalışılır.

Bu gelişmeler ışığında şu an en çok kabul gören standart güneş modeline göre Güneş'in iç yapısı farklı fiziksel süreçlerin meydana geldiği dört tabakaya ayrılır; çekirdek, radyatif bölge, tachocline, konveksiyon bölgesi.

Çekirdek, hidrojeni helyuma dönüştüren termonükleer reaksiyonların gerçekleştiği merkezi bölgedir. Sıcaklığa oldukça duyarlı olan bu reaksiyonlarla üretilen enerji Güneş'in atmosferinden uzaya yayılır. Sıcaklığı yaklaşık $15,7 \times 10^6$ K, yoğunluğu ise yaklaşık 150 g/cm^3 olan merkez bölgesinden üst kısımlara doğru çıkıldıkça bu değerler azalır. Güneş'in %25'ini kaplayan bu kısmın üzerindeki radyatif bölgeyle birlikte neredeyse katı cisim gibi döndüğü düşünülmektedir (Stix, 2002).

Radyatif bölge, çekirdeğin dış sınırından tachocline denilen bölgeye kadar uzanan kısımdır. Güneş çapının yaklaşık %25'i ile %70'i arasında kalır. Radyatif bölgenin tabanında 7×10^6 K olan sıcaklık yukarıya doğru çıkıldıkça düşer ve konvektif bölgenin tabanında 2×10^6 K'i bulur. Yoğunluk da söz konusu mesafeler için, 20 g/cm^3 'den $0,2 \text{ g/cm}^3$ değerine kadar düşer. Merkezde üretilen enerji burada elektromanyetik ışınım yoluyla (fotonlarla) üst bölgelere iletilir.

Radyatif bölge ile konvektif bölge arasında uzanan katmanın tavanından tabanına doğru inildikçe konvektif bölgenin karakteristik özellikleri yavaşça gözden kaybolurken, radyatif bölgenin özellikleri baskın olmaya başlar. Dönme hızlarındaki değişimlerin manyetik alanları sararak güçlendirdiği varsayılan bu bölge literatürde *tachocline* (hız değişim bölgesi) adı ile anılır. Güneş leke bölgelerinin oluşmasına yol açan manyetik alanın bu katmanda üretildiği düşünülmektedir. Bu bölgede manyetik alanların başka MHD süreçleri ile de güçlendiği tahmin edilmektedir (Fan, 2009).

Konveksiyon bölgesi, güneş iç yapısının en dıştaki katmanıdır. Yaklaşık 200.000 km kalınlığa sahiptir. Burada artık enerji radyatif yolla değil, konvektif hareketlerle etkin bir şekilde yüzeye taşınır. Bölgenin tabanındaki 2×10^6 K civarındaki sıcaklık ağır elementlerin nötral halde kalabilmeleri için yeteri kadar düşüktür. Güneş maddesi bu sıcaklıkta artık önemli ölçüde opak bir hale geldiği için enerjinin salt ışınım ile transferi mümkün olmaz. Maddenin görece yüksek opaklığı nedeniyle ısı akışı baskılandıkça madde yer yer dinamik olarak kararsız hale gelir. Böylece akışkan konveksiyon hareketine başlar. Belli bir hacimdeki sıcak olan gaz yükselirken, soğuk olan gaz konvektif bölgenin tabanına doğru hareket eder. Bu konvektif hareketler yüzeyde “granülasyon” olarak gözlenir. Granüller yaklaşık 500-2000 km arasında büyüklüğe sahiptir. Konvektif hareketlerin yatayda 20000-30000 km ölçeklerinde gözlenen desenine süpergranülasyon, granülasyon ve süpergranülasyon desenlerinin arasındaki ölçeklerde görülen konveksiyon desenine mezogranülasyon denir (Rieutord ve Rincon 2010).

2.1.2 Atmosfer

Güneş atmosferi günümüzde farklı teknik ve yöntemlerle incelenen Güneş’in doğrudan gözlenebilen kısmıdır. İç kısımlarda üretilen manyetik alanlarının varlığı, atmosferde ortaya çıkan çeşitli “manyetik aktivite” süreçleri ile ilişkilendirilir. Güneş atmosferi yoğunluğun yukarıya doğru hızlı bir şekilde azaldığı, birbirine göre farklı fiziksel süreçler ve etkinlikler gösteren dört tabakadan oluşur.

Fotosfer, güneş atmosferinin en içteki katmanıdır. Güneş yarıçapıyla karşılaştırıldığında oldukça ince sayılan bu katmanın kalınlığı yaklaşık 500 km'dir. Yoğunluğu 2×10^{-4} kg/m³ 'dür. Güneşin görünen yüzeyi fotosferin tabanıdır. Sıcaklık üst kısımlara doğru azalarak ~5800 K'den ~4000 K'e kadar düşer. Enerjinin transferi

temelde ışınlama olur; ancak konveksiyon bölgesinden buraya sızan konvektif hücreler fotosfer tabanında *granül* adı verilen yapıları oluştururlar. Sıcaklığın önemli ölçüde değiştiği uzunluk ölçeklerinden çok daha kısa ölçeklerdeki durumlar için kullanılan yerel termodinamik denge yaklaşımı fotosfer için uygun bir varsayım olarak kabul edilir. Bu tabakada gözlenen başlıca yapılar koyu güneş lekeleri, parlak fakülalar ve granül olarak isimlendirilen konvektif hücrelerdir.

Kromosfer, fotosferin üzerindeki tabakadır. Sıcaklık, bölgenin alt sınırında ~3800 K civarı bir minimum sıcaklığa düştükten sonra, geçiş bölgesine kadar sürekli artarak ~20000 K'e ulaşır. Homojen olmayan yapısından dolayı alt-orta-üst kromosfer olarak kendi içinde ayrıca incelenir. Kalınlığı ~2000 km'dir. Hidrojen atomları etkin şekilde 6563 Å dalgaboyunda ışınım salarak kromosferin kırmızımsı renkte görünmesine neden olur. Yoğunluğu ortalama fotosfer yoğunluğunun onbinde biri kadardır. Enerjinin transferi ışınım yoluyla ve mekanik dalgalarla yapılır. Kromosfer, ağ yapı, parlak plaj bölgeleri, filamentler, prominensler, spiküller, güneş parlamaları gibi yaşam süreleri birbirinden farklı birçok manyetik aktivite gösterir.

Geçiş bölgesi, kromosfer ile korona arasında bulunan ince bir katmandır. Sıcaklık bu bölgede yukarıya doğru hızlı bir şekilde artar.

Güneşin en dış atmosfer tabakası olan *korona*, gezegenler arası ortama yayılmış durumdadır. Sıcaklığı ortalama 2×10^6 K civarındadır. Bu çok sıcak ve dinamik koronanın yapısı manyetik aktivite çevriminin evresine göre değişebilmektedir. Bu bölgede farklı sıcaklıklar ve yoğunluklar bir arada bulunabilir. Örneğin; koronal deliklerde sıcaklıklar 1×10^6 K dolaylarında olurken aktif bölgelerde 10×10^6 K'i bulabilir. Koronal delikler, looplar, jetler, X-ışın parlak noktaları, plazma akıntıları bu tabakada gözlenen manyetik yapılanmalardır.

2.1.3 Güneş Manyetizması

Manyetik olarak aktif bir yıldız olan Güneş'i anlamada manyetizma bir anahtar görevi görür. Çünkü manyetik alanlar, Güneş'te gözlenen en küçük uzaysal ölçeklere sahip yapılardan en büyük çaplı yapılanmalara kadar etkin rol oynar (Solanki ve diğ., 2006). Güneş atmosferinde gözlenen manyetik oluşumlar; manyetik alan, konveksiyon ve büyük ölçekli akışların (örneğin diferansiyel dönme) birbirleriyle etkileşimleri sonucu

ortaya çıkar. Bu etkileşimlerin Güneş'in konveksiyon bölgesinde gerçekleştiği düşünülmektedir.

Helyosismolojik bulgulara göre radyatif bölge katı cisim gibi dönerken konveksiyon bölgesinde ve yüzeyde diferansiyel dönme söz konusudur (Howe 2009). Diferansiyel dönme iki boyutlu olup, güneşin konveksiyon bölgesinin ve yüzeyinin (i) enlemlere ve (ii) derinliğe göre farklı hızlarda dönmesidir. Konveksiyon katmanında ve fotosferde ekvator bölgesinin kutup bölgelerinden daha hızlı döndüğü bilinmektedir. Fotosferden tachocline'a doğru inilirken konveksiyon bölgesinin büyük bölümünde yüzeydeki dönme profili korunur. Alt konveksiyon bölgesinden başlayarak derinlere doğru inildikçe yüksek enlemler için dönme hızı artarken, alçak enlemler için dönme hızı azalır. Radyal doğrultudaki bu diferansiyel dönme, tüm enlem kuşaklarının dönme hızlarının birbirine eşit hale geldiği radyatif bölgeye kadar devam eder. Böylece enlemsel diferansiyel dönme gösteren konveksiyon bölgesinden katı cisim gibi dönen radyatif bölgeye geçilir. Tachocline adıyla anılan bu geçiş bölgesinde, özellikle yüksek enlemlerde radyal doğrultudaki diferansiyel dönmenin şiddeti, Güneş içerisindeki en büyük değerleri alır (Howe, 2009).

Meridyenel akış, ekvatorlardan kutuplara doğru 10-15 m/s hızda olan, yavaş bir akıştır. Bu akış, manyetik alanın boylamlar doğrultusunda taşınmasına yardımcı olur. Derinlikle nasıl değiştiği tartışmalı bir konudur.

Konveksiyon ile Güneş'in global dönmesinin etkileşimi, plazma akışlarında diferansiyel dönmeyi ve meridyenel akışı tetikler (Stix, 2002). Bu büyük ölçekli akışlardaki ve konveksiyon hareketlerindeki kinetik enerji, güneş plazmasında manyetik enerji üretimine neden olur. Bu duruma astrofizikte *dinamo etkisi* denmektedir.

2.2 GÜNEŞ'TE BÜYÜK ÖLÇEKLİ YAPILANMALAR VE GÜNEŞ LEKELERİ

2.2.1 Güneş Dinamosu

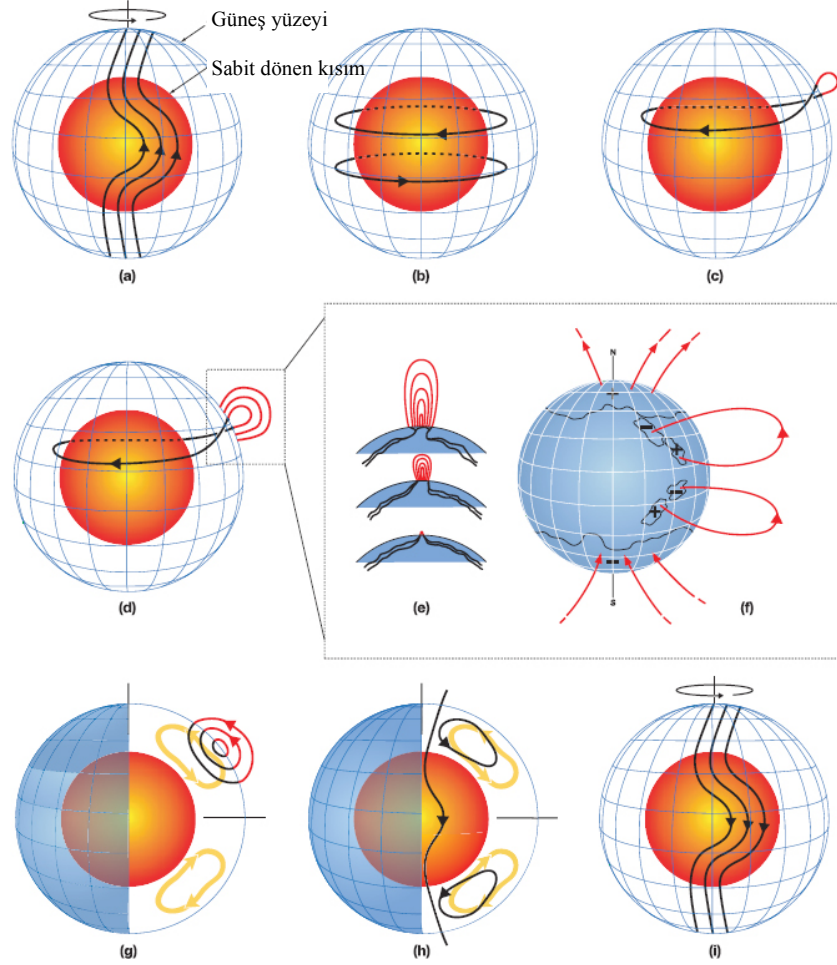
Güneş çevriminin gözlenen özellikleri Güneş içerisinde yaklaşık her 11 yılda bir polaritelerinin işaret değiştirdiği, büyük ölçeklerde organize olmuş manyetik alanların varlığına işaret eder. Güneş'in manyetik alanındaki çevrimsel değişim, yüzeyinde

ortaya çıkan çift kutuplu manyetik bölgelerin gözlenmesiyle ispat edilir (Stenflo ve Kosovichev, 2012). Güneş yüzeyine doğru yükselen manyetik akı tüplerinin fotosferi kestiği yerde ortaya çıkan bu bölgeler, güneş lekeleri, parlak noktalar, pore, fakülalar, filamentler gibi manyetik elemanları barındırır (Thomas ve Weiss, 2008). Boyutları 10000 km ile 100000 km arasında geniş bir aralıkta değişir. Yaşam süreleri de birkaç saatten birkaç aya kadar uzayabilir. Sahip oldukları ortalama manyetik akı 10^{22} Mx civarındadır. Belli kurallara göre ortaya çıkan bu bölgeler yüzeyin altında manyetik bir dinamonun varlığına işaret eder. Güneş'teki manyetik alanların nasıl yeniden üretildiğini ve bu alanların zamanla nasıl evrimleştiğini daha iyi anlayabilmek için matematiksel temellere oturtulmuş bir dinamo teorisine ihtiyaç duyulmuştur.

Manyetik alanın yapılanmasından Güneş içerisindeki sıcak, elektriksel olarak yüklü (elektrik akımlarını ileten) plazmanın akışları sorumludur. Güneş'in çevrimsel global manyetik alanı güneş dinamosunun doğrudan bir sonucudur. Bu mekanizma, günümüzde en çok kabul gören senaryo olan Babcock-Leighton akı taşınım modeline dayanır (Babcock, 1961; Leighton, 1969). Bu modelde global ölçeklerdeki toroidal ve poloidal manyetik alanların çeşitli süreçler eşliğinde birbirlerine dönüşümleri ve akı tüplerinin yükselip yüzeydeki akışlarla taşınması söz konusudur. Güneş'teki poloidal (boylamsal) manyetik alanlar, diferansiyel dönme ile bükülerek toroidal (enlemsel) alanları oluşturur. Bu alanların güçlendirilebileceği yer, konveksiyon bölgesinin tabanıdır. Burada güçlenen toroidal manyetik alanlar bazı kararsızlıklar geçirerek yüzeye doğru yükselen ilmekler (loop) oluştururlar (Fan, 2009). Bu yapılar, eş yükseklikteki yatay düzlemlerde oluşan hızlı genişlemenin ve Güneş'in dönmesinden ileri gelen Coriolis kuvveti ile meridyenel düzleme doğru bir miktar eğilirler (Caligari ve diğ., 1995). Bu bükülmenin miktarı, enlem ile orantılı olarak artar. Diğer yandan, bu durum ancak çok sayıda bölge üzerinden ortalama alındığında söylenebilir. Çünkü yükselen akı tüpleri, konveksiyon akışlarından etkilenerek rastlantısal olarak farklı eğiklik açıları da kazanabilmektedir. Bu nedenle eğiklik açıları, bir ortalama eğilim göstermekle birlikte, bu eğilim etrafında çok büyük bir saçılma da gösterir.

Fotosferde gözlenen güneş çevrimi şöyle özetlenebilir: Kutupları arasında sistematik olarak bir enlem farkı ile ortaya çıkan çift kutuplu manyetik bölgelerdeki akı, çalkantılı difüzyon, meridyenel akış ve diferansiyel dönme aracılığı ile kutup

bölgelerine taşınır. Bir çift kutuplu manyetik bölgede enlemi ortalamada daha yüksek olan kutuplardan yayılan manyetik akı, Güneş'in dönme kutuplarındaki "kutup alanları" nı nötrleyerek bir sonraki çevrimin kutupsal manyetik alanını oluşturmak üzere birikmeyi sürdürür (Mackay ve Yeates, 2012). Bir sonraki çevrimde, izleyen ve öncü kutuplar arasındaki sıra bir öncekinin tersi olacak şekilde yeni manyetik bölgeler ortaya çıkar.



Şekil 2.1: Güneş'teki akı taşınımının şematik bir gösterimi¹.

Şekil 2.1 Babcock-Leighton akı taşınım modelinin (Babcock, 1961) bir temsilidir. İçteki kırmızı bölge Güneş'in radyatif kısmını, dıştaki mavi bölge yüzeyini temsil etmektedir. İki katman arasındaki konvektif bölge dinamo süreçlerinin devam ettiği yerdir. Bu gösterimde;

- (a) poloidal manyetik alan çizgilerinin diferansiyel dönme sebebiyle bükülmesini,
- (b) toroidal alanların üretilmesini,

¹ <http://www.hao.ucar.edu/research/lsv/lsvDynamoBackground.php>

- (c) yeteri kadar güçlenen toroidal alanların bir 'loop' oluşturup yüzeye yükselmesini (Coriolis kuvveti nedeniyle bükülerek yüzeye çıkan 'loop'lar güneş lekesi olarak görülür),
- (d)-(f) manyetik akının ortaya çıkışı ve yayılmasını,
- (g) sarı bantlarla gösterilen meridyonel akışın manyetik akıyı kutuplara doğru taşımamasını,
- (h) kutup manyetik alanlarının işaret değiştirerek, akının ekvatora ve konvaktif bölgenin tabanına doğru taşınmasını,
- (i) işaretini değiştiren poloidal manyetik alanların diferansiyel dönme tarafından tekrar sarılarak yeni toroidal alan üretebilecek duruma gelmesini ifade eder.

Gözlemleri açıklayabilecek bir dinamo mekanizması kurmak için manyetohidrodinamik denklemlerin (relativistik olmayan Maxwell denklemleri, Ohm yasası, ve hidrodinamik denklemlerin bir kombinasyonu) çözümleri araştırılır.

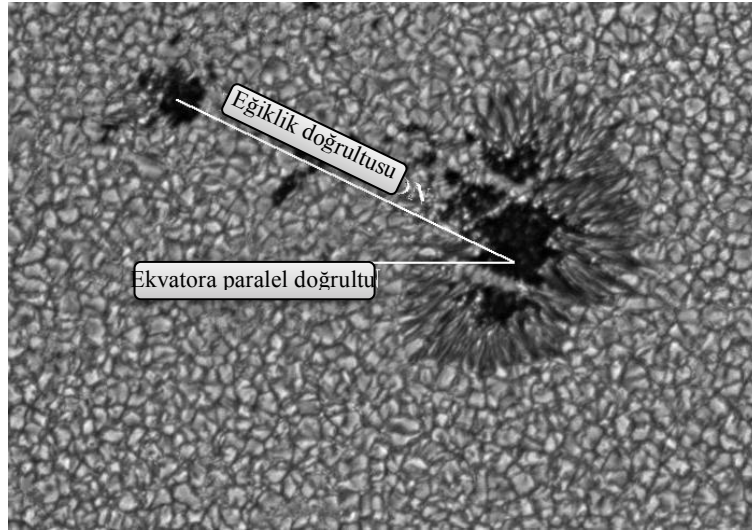
2.2.2 Güneş Lekelerinin Yapısı ve Genel Özellikleri

Güneş'teki manyetik alanların varlığının en belirgin örneklerinden biri güneş lekeleridir. Her bir güneş lekesi umbra (gölge) denilen karanlık merkez bölge ile onun çevresindeki daha az karanlık görünen penumbradan (yarı gölge) oluşur. Çevresine göre koyu gözükmesinin sebebi buldukları fotosfer tabakasından daha soğuk olmasıdır. Çünkü yüksek düzeyde iyonlaşmış ortamda oluşan güçlü manyetik alanlar konvaktif ısı transferini baskılar. Bu nedenle sakin fotosferin sıcaklığı yaklaşık 5800 K iken lekeler ortalama olarak 4000 K civarındadır.

Güçlü manyetik alan yoğunlaşmaları olarak bilinen güneş lekelerinin umbradaki manyetik alan şiddeti ~ 2000 G ile ~ 4000 G arasında, penumbrada ise ~ 1000 G ve ~ 2000 G arasında değişir. Değerlerden de anlaşılacağı gibi lekenin umbra bölgesi en büyük manyetik alan şiddetine sahiptir. Bu bölgede manyetik alan çizgileri yüzeye diktir. Penumbrada ise şiddet umbraya göre daha zayıftır ve manyetik alan çizgileri penumbra boyunca dışa doğru eğileşir. Manyetik alan şiddeti atmosferde yükseklikle birlikte azalır. Lekelerin boyutları 3500 km ile 60000 km arasında değişen oldukça geniş bir dağılım gösterir. Yaşam süreleri birkaç saatten bir aya kadar uzanır. Fakat ortalama bir alana sahip leke grubu 10-14 gün süreyle gözlenebilir. Büyük yüzey alanlarına sahip lekeler daha uzun süre yaşayabilirler. Leke etrafındaki konvaktif

akışlar ise lekelerin parçalanmasına ve küçülmesine neden olur. Lekelerde 'Evershed etkisi' gibi dinamik olaylar da meydana gelir. Bu hareket, fotosfer katmanında iç penumbradan dış penumbraya doğru yatay yöndeki madde akışıdır (Thomas ve Weiss, 2008).

İki kutuplu bir güneş leke grubunda Güneş'in dönme yönüne göre önde olan, genelde ekvatora daha yakın, daha büyük ve daha uzun yaşayan ana leke grubuna 'öncü leke' (preceding spot) denir. Daha yukarı enlemlerde ise öncü lekeyi takip eden, ona göre zıt kutupta olan 'izleyen leke' (following spot) bulunur. Bu iki komşu bölge birbirlerine zıt manyetik kutuplara sahiptir. Öncü lekeler ile izleyen lekelerin birbirlerine olan açılma uzaklığı yaklaşık olarak 3° - 15° arasında değişir. Hemen hemen doğu-batı yönelimli görünüyor olsalar da her iki yarıkürede de bu lekelerin merkezlerini birleştiren doğru doğu-batı yöneliminden sistematik bir sapma gösterir. Bu durum literatürde 'tilt angle' (eğiklik açısı) olarak bilinir (Schrijver ve Zwaan, 2000).



Şekil 2.2: Güneş leke grubu eğiklik açısının gösterimi².

Güneş lekeleri 'McIntosh Güneş Leke Sınıflaması' kullanılarak fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılır. Bu sınıflama; (i) leke grubunun tek ya da çift kutuplu olma durumu ile kutupların birbirlerinden olan uzaklığı, (ii) penumbranın olup olmaması, (iii) ön ve arka lekeler arasındaki leke dağılımı dikkate alınarak yapılır.

² (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/feature1.shtml>)

2.2.3 Güneş Lekelerinin Oluşum Mekanizması

Güneş lekeleri her zaman çift kutuplu manyetik bölgeler içerisinde oluşurlar. Bu bölgeler ve içerisindeki güneş lekeleri büyük bir manyetik akı tüpünün konvektif katmandan yükselerek güneş yüzeyini kestiği yerlerde görülür. Akı tüpü oldukça küçük, birbiriyle uyumlu ve sıkı bir şekilde organize olmuş manyetik iplikçiklerden oluşmuştur. Bu iplikçikler akı tüpü ortaya çıktıktan hemen sonra konveksiyonun da yardımıyla küçük ve yoğun manyetik elemanlar şeklinde birleşirler. Bu elemanlar granüller ve mezogranüllerin sınırları arasında toplanıp, birleşerek penumbrasız, oldukça küçük, koyu lekeler olan porları oluştururlar. Bazı porları ve akı elemanları ise bir araya gelmeye devam ederek güneş lekelerini meydana getirirler. Eğer bu lekelerin boyutları ve sahip oldukları toplam manyetik akı penumbra oluşturabilecek değerlere ulaşırsa tam bir penumbralı güneş lekesi ortaya çıkmış olur (Thomas ve Weiss, 2008). Lekeler fotosferde beyaz ışıpta gözlenirken, çift kutuplu manyetik bölgelerin tamamı ancak manyetogramlarda gözlenir; çünkü her çift kutuplu manyetik bölge, güneş lekesi oluşturabilecek manyetik akıya sahip olarak ortaya çıkmayabilir. 10^{20} - 10^{22} Mx manyetik akıya sahip akı tüplerinin yüzey altındaki ayak noktaları, birbiriyle zıt iki ayrı kutbu betimler. Birbiriyle arasında enlem ve boylam farkı olan bu iki zıt kutup içerisindeki lekeler güneş leke grubunu oluştururlar. Bazen leke oluşturabilecek kadar yeterli manyetik akıya sahip olmayan kutupta leke oluşmayabilir. Bu durumda kutuplardan sadece birinde leke veya lekeler görülür dolayısıyla tek kutuplu leke grubu olarak betimlenir.

2.3 GÜNEŞ'İN LEKE ÇEVİRİMİ

Güneş fotosferindeki manyetik yapılanmaların zamansal ve uzaysal dağılımı Güneş içerisinde organize olmuş, büyük ölçekli manyetik alanların varlığına işaretir. Özellikle güneş leke gruplarının dönemsel olarak bazı sayısal ve konumsal düzenlilikler göstermesi çevrimsel olayların kanıtıdır (Hathaway, 2010).

2.3.1 Leke Çevriminin Özellikleri

Çift kutuplu manyetik bölgelerin yüzeyde belirmesiyle, her manyetik bölge içerisinde farklı sayılarda lekeler oluşur. Birbirlerine yakın görünen bu iki ayrı kutup ve içlerindeki lekeler bir güneş leke grubunu oluştururlar. Leke gruplarının sayısı ortalamada her 11 yılda bir tekrarlanmak üzere sistematik bir değişim sergiler. Bu periyodik sürenin başlangıcında çok az sayıda leke grubu gözlenirken zaman

ilerledikçe grup sayısı artar ve bir maksimum evreye ulaşılır. Burada leke grubu sayısı en fazladır ve leke grubu alanları yüzeyde oldukça geniş yer kaplar. Bu evreden sonra grupların sayısı tekrar azalmaya başlar ve çok az grubun gözlendiği minimum duruma gelir. İki minimum arası geçen süre 'Güneş leke çevrimi' olarak tanımlanır. Bir güneş leke çevriminin ortalama uzunluğu 11,1 yıldır, fakat bazı çevrimlerde bu süre 8 ile 14 yıl arası değişir. Bir çevrim bitip diğer çevrim başlarken her iki çevrime ait leke grupları aynı anda gözlenerek çevrimler arası bir kaç yıllık örtüşmelere de rastlanabilir.

Güneş leke grupları fotosferde genellikle 5° ile 35° arasındaki enlemlerde ortaya çıkarlar. Bu enlem kuşağı 'aktif kuşak' olarak bilinir. Leke çevriminin ilk grupları yüksek enlemlerde belirirken, çevrim ilerledikçe lekeler daha alt enlemlerde ve ekvatora yakın görülmeye başlarlar. Bununla beraber çevrim ne kadar şiddetli ise, ilk lekeler o denli yüksek enlemlerde görülür (Hathaway, 2010). Güneş leke gruplarının ortaya çıktığı enlemlerin zamana göre grafikleri çizildiğinde 'kelebek diyagramı' elde edilir.

Çevrimin en belirgin iki düzenli özelliği Hale Polarite Kanunu ve Joy Kanunu'dur. Hale Polarite Kanunu'na göre, herhangi bir çevrime ait olarak ortaya çıkan leke gruplarının öncü ve izleyen kısımlarının polarite sıraları (+,- ya da -,+), aynı yarıkürede birbirinin aynı ve her iki yarıkürede birbirinin tersidir. Bu konfigürasyon aynı çevrimde hiç değişmeden kalır. Bir sonraki çevrimde polarite sıraları her bir yarıkürede önceki çevrime göre ters dönmüş olarak ortaya çıkar. Sonuç olarak herhangi bir yarıkürede öncü ve izleyen lekelerin polaritelerinin tekrar aynı işareti alması için geçen süre ortalama 22 yıl olup, söz konusu sürece 'manyetik çevrim' denir.

Leke gruplarının öncü ve izleyen lekelerini birleştiren eksenin doğu-batı doğrultusuna göre yaptığı eğiklik açısı, yüksek enlemlere doğru sistematik bir artış göstermektedir. Bu duruma ise 'Joy Kanunu' denir. Leke gruplarının ortalama eğiklik açıları çevrimden çevrime değişebilir. Grupların kuzey ve güney yarıkürede birbirine ters yönde eğik biçimlerde ortaya çıkmalarının nedeni, genişleyen yükselen manyetik akı tüplerinin hissettiği Coriolis kuvvetinin iki yarıkürede birbirine ters yönde gerçekleşmesidir (bkz. Bölüm 2.2.1). Ortaya çıkan leke grubunun zıt polariteli bölgeleri arasındaki enlem

farkı, Güneş'in manyetik çevriminin gerçekleşmesinde çok önemli bir rol oynar. Son yıllarda yapılan çalışmalarda eğiklik açısının belirlediği bu enlem farkının, güneş çevrimlerinin genliği ile ters korelasyon gösterdiği saptanmıştır (Dasi-Espuig ve diğ., 2010). Leke grupları bazen beklenilenin aksine ters eğiklik açısıyla da çıkmaktadır. Bu durumda öncü polarite değil, izleyen polarite ekvatora daha yakındır.

2.3.2 Leke Çevriminin Gözlenebilir Parametreleri

Güneş leke gruplarının disk üzerindeki konumları, alanları, sayıları, eğiklik açıları çeşitli tekniklerle gözlemlenebilir ve ölçülebilir niceliklerdir. Bir leke grubunun Güneş üzerindeki konumu ölçülürken enlemler ve boylamlar göz önünde tutulur. Leke grubunun hangi yarıkürede olduğu kuzey-güney asimetrilerini belirlemek için önemlidir. Çevrim şiddetini (genliğini) belirleyen leke sayısı parametresinin ise $R=k(10g+f)$ formülüne göre günlük olarak kaydı tutulur. Burada 'g' disk üzerindeki leke grubu sayısını, 'f' tüm gruplardaki leke sayısını, 'k' ise gözlem şartlarına ve teleskop türüne göre değişen bir ölçek faktörünü simgeler. Çeşitli teleskoplar ile hesaplanan Wolf Sayısı (R) veri merkezlerinde toplanır. Leke alanları ölçülürken genellikle umbral alanlar göz önüne alınır ve mikro güneş yarıküresi cinsinden hesaplanır. Lekenin disk merkezinden olan açısal uzaklığına göre perspektif düzeltilmesi yapılır. Leke gruplarının eğiklik açıları ise manyetik kutuplar arasındaki enlem farkları ve boylam farkları ölçülerek hesaplanır.

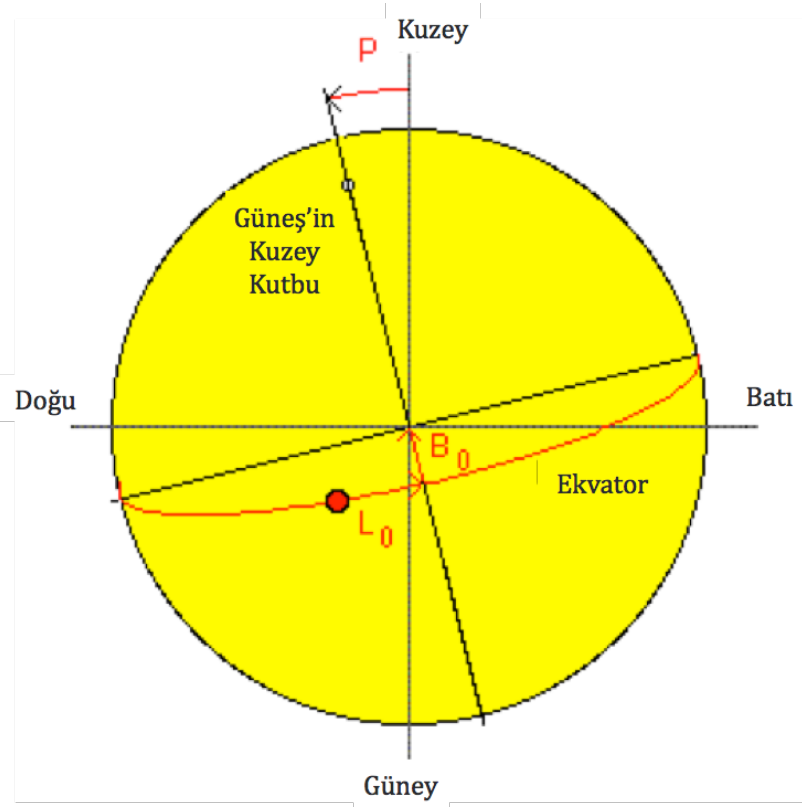
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 GÖZLEMLER

Tez kapsamında kullanılan gözlemler, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Astronomi Laboratuvarı'nın 307 cm odak uzaklıklı, 20 cm objektif çaplı ekvatorial dürbününden elde edilmiş beyaz ışık fotosfer gözlemleridir. 1946 yılından itibaren fotosfer gözlemlerinde kullanılan teleskoptan alınan görüntü, 25 cm çaplı rasat kağıdına yansıtılıp güneş leke gruplarının çizimleri yapılmaktadır. Yapılan gözlemler JPEG formatında dijital ortama aktarılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu çizimler ve bir program kullanılarak güneş leke gruplarının konumları, umbral alanları ve eğiklik açıları ölçülmüştür.

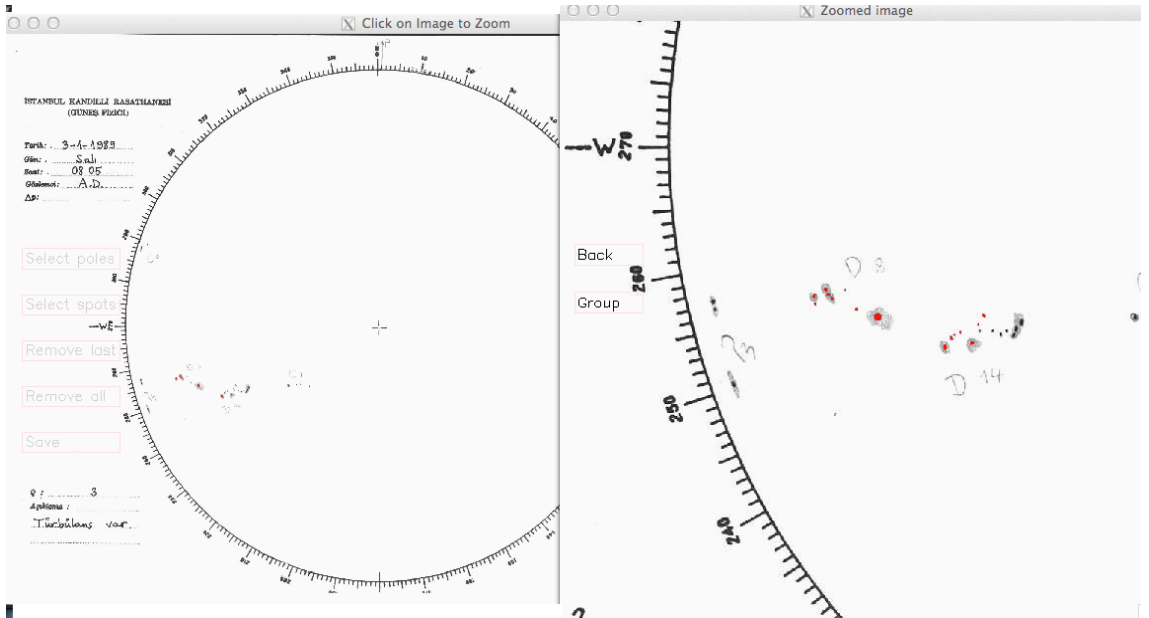
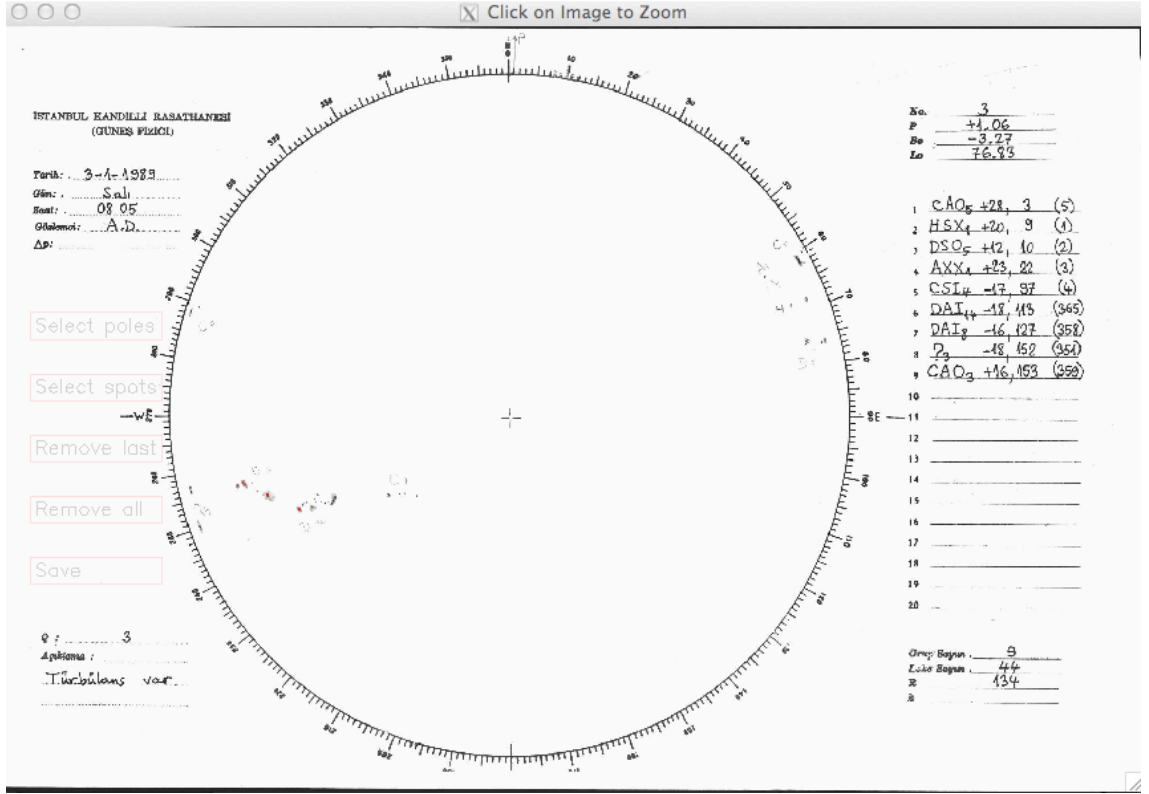
3.1.1 Lekelerin Konumlarının ve Alanlarının Ölçümü

Verilerin analizi, IDL (Interactive Data Language) programlama ortamında gerçekleştirilmiştir. JPEG formatında taranmış rasat kağıtları her bir yıl için ayrı ayrı klasörlere yerleştirilmiştir. Gözlem yapılan günlerin sadece tarihlerinin yazılı olduğu ayrı bir metin dosyası da programın çalıştırıldığı aynı klasör içinde bulunmaktadır. Program başlatıldığında ilk olarak incelenecek yıldaki ilk günün rasat kağıdı ekrana gelir. Rasat kağıdında gözlemcinin işaretlediği P ve P' noktaları, Güneş'in gerçek dönme ekseninin Güneş'in izdüşüm diskini sınırlayan çemberi kestiği noktalardır. Bu noktalardan geçen eksen ile yerel meridyen (kuzey-güney) doğrultusu arasındaki açıya p açısı denir. Bu açı, Yer'in yörüngesi üzerindeki konumuna bağlı olarak yıl boyunca $+26^{\circ}.5$ ile $-26^{\circ}.5$ arasında, periyodik olarak değişir. Bunun yanında, Yer'in yörünge düzlemi ile Güneş'in ekvator düzlemi de birbirine çakışık değildir. Bu nedenle Güneş'in dönme eksenini, gökküre eksenini ile yıl boyunca $+7^{\circ}.25$ ile $(-7^{\circ}.25)$ arasında periyodik olarak değişen açılar yapar. Bu açı B_0 olarak isimlendirilir. Carrington boylamı L_0 ise önceden belirlenmiş ve Güneş ile birlikte dönen bir başlangıç meridyeninden itibaren, doğu-batı yönelimli olarak ölçülür. Carrington, görünen güneş diski üzerinde 9 Kasım 1853, 00^h00^m UT anında kuzey-güney merkez çizgisini keyfi olarak başlangıç meridyeni kabul etmiştir. Carrington boylamı 0° - 360° arasında ölçülür. Burada bahsedilen açılar, Şekil 3.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1: L_0 , B_0 ve P açılarının güneş diski üzerinde şematik gösterimi.

Her bir gün için öncelikle Güneş'in izdüşüm diski üzerinden P ve P' noktaları işaretlenir. Ardından herhangi bir leke grubu belirlenir, söz konusu bölge üzerine tıklanarak büyütülür ve yeni bir pencere açılır. İşaretlenecek her bir grup için öncelikle programa yeni bir grubun analiz edileceği bilgisi verilir. Gruba ait tüm umbral alanlar tek tek işaretlenir. Leke gruplarının McIntosh güneş leke sınıflaması, o günkü gözlemi yapan kişi tarafından belirlenmiştir. Buna dayanarak A ve H sınıfından (tek kutuplu görünen) leke grupları, bu çalışmada dışlanmıştır. İşaretlenen lekeler kırmızı renkte gösterilir. Seçilen bölge içerisindeki tüm lekeler işaretlendikten sonra yeni bir grubu analiz etmek için tüm disk görüntüsüne geri dönülerek burada başka bir güneş leke grubu bölgesi seçilir ve tekrar yeni bir yakınlaştırma penceresi açılır. Buradaki lekelerin de işaretlemeleri yapılır. Disk üzerindeki tüm çift kutuplu grupların işaretlenmesi bitince o gün kaydedilip, bir sonraki rasat kağıdına geçilir. Böylece herhangi bir lekenin yatay ve düşey düzlemdeki konum değerleri (x_i, y_i) piksel cinsinden kaydedilir. Bu aşamaları gösteren bazı örnek görüntüler Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Analizi yapılan gözlem kağıtlarının görüntüsü.

Bu çalışmada sadece umbralar göz önüne alınarak leke alanları hesaplanmıştır. Dolayısıyla program, kullanıcının işaretlediği nokta etrafında belirli bir eşik değerden daha koyu renkteki pikselleri görür, kırmızıya boyar ve o umbraların alanlarını piksel sayısı cinsinden kaydeder. Penumbralar, tanıtılan eşik değerinin altında kaldığı için program tarafından görülmez. Bu durumdan dolayı tez boyunca Kandilli Rasathanesi verileriyle ilgili olarak kullanılan 'leke alanı' ya da 'grup alanı' nitelemelerinden kastedilen tek şey umbral alan değeri olacaktır.

Piksel sayısı cinsinden kaydedilen umbral alanlar geometrik düzeltme ve birim dönüşümüne tabi tutulmuştur. Güneş'in yüzeyi küresel olduğu için, gözlenen güneş diskinin bulunduğu düzlem üzerinde merkezden kenarlara doğru gidildikçe lekelerin izdüşümsel alanları küçülür. Bu izdüşümsel alanı bakış doğrultusuna dik düzlem üzerine indirgemek gerekir. Herhangi bir leke umbrasının piksel sayısı cinsinden alanı n'_{pix} , güneş diski merkezinin görüş doğrultusu ile leke umbrasının görüş doğrultusu arasındaki açı ρ olmak üzere,

$$n_{pix} = \frac{n'_{pix}}{\cos \rho} \quad (3.1)$$

şeklinde izdüşüm düzeltmesi yapılmıştır. Bu şekilde elde edilen düzeltilmiş piksel sayısı n_{pix} , lekenin piksel-kare cinsinden ' A_{pix} ' alanını ifade eder.

Piksel kare cinsinden bulunan alan, güneş diskinin R_{pix} yarıçapına (bkz. denk. 3.12) bağlı olarak hesaplanan yarıküresel yüzey alanının milyonda birine oranlanınca "mikro güneş yarıküresi" biriminde umbral alan

$$A = \frac{A_{pix}}{10^{-6} 2\pi R_{pix}^2} \quad [\mu SH] \quad (3.2)$$

hesaplanmış olur. Grup içerisinde seçilen her bir lekenin koordinatları ve alanı lekenin işaretlenmesiyle beraber bir metin dosyasına kaydedilir. Bu dosyada sırasıyla; analizi yapılan lekelerin gözlendiği tarih ve saat, Güneş'in P ve P' noktalarının kartezyen koordinat düzlemine göre yatay (x) ve dikey (y) konum değerleri (Şekil 3.4), leke grubunu ayırt eden grup numarası, işaretlenmiş her bir lekenin x ve y koordinat

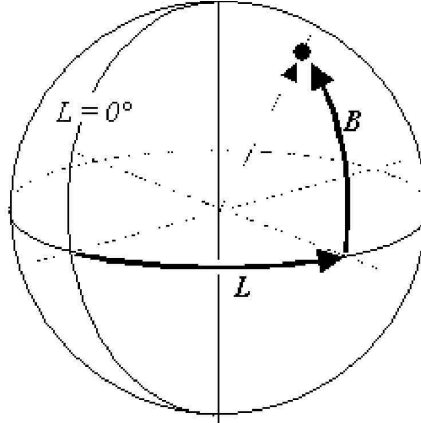
değerleri, piksel cinsinden düzeltilmiş alan bilgileri yer almaktadır. Örnek bir veri grubu, Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Leke parametrelerinin kaydedildiği metin dosyasından örnek.

Zaman (UT)	P_x, P_y (pix)	P'_x, P'_y (pix)	Grup no.	Konum (pix)	Alan (pix ²)
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	68	400.0 325.0	27.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	68	421.0 327.0	3.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	68	421.0 326.0	6.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	69	496.0 330.0	227.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	69	509.0 321.0	9.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	69	501.0 319.0	12.0
1992 1 3 8 15	360.0 561.0	351.0 46.0	70	502.0 332.0	3.0

3.1.2 Lekelerin Enlemlerinin ve Boyamlarının Hesaplanması

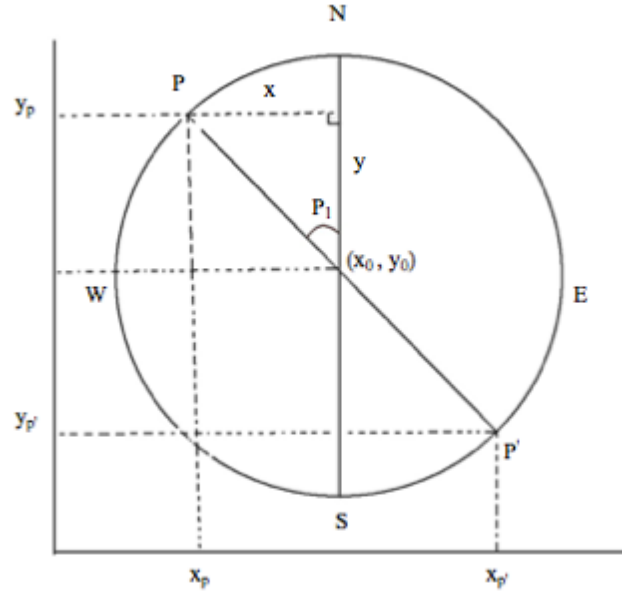
Bu noktaya kadar yapılan analizlerde iki boyutlu bir düzlem olan rasat kağıdı üzerinde kartezyen koordinat sistemine göre lekelerin konumları piksel cinsinden kaydedilmiştir. Güneş lekelerinin güneş merkezli enlemlerini ve boylamlarını bulmak için ilk olarak iki boyutlu kutupsal koordinat sistemine geçiş yapıp ardından Carrington heliografik koordinat sistemine dönüşüm yapılmıştır (bkz. Şekil 3.3).



Şekil 3.3: L ve B açılarının küresel koordinat sisteminde şematik gösterimi.

Koordinat sistemleri arasındaki dönüşümler, aşağıdaki işlemler uygulanarak elde edilmiştir:

- 1) Kartezyen koordinat düzleminde ölçülmüş olan P ve P' noktalarından yararlanılarak, gözlemsel olarak ölçülen p açısının değeri bulunur. Bunun için öncelikle P ve P' noktalarının (x,y) konumlarının aritmetik ortalaması alınarak disk merkezinin koordinatları,



Şekil 3.4: Gözlemsel olarak hesaplanan p_1 açısının disk üzerinde gösterimi.

$$x_0 = \frac{1}{2}(x_p + x_{p'}) \quad (3.3)$$

$$y_0 = \frac{1}{2}(y_p + y_{p'}) \quad (3.4)$$

şeklinde hesaplanır. Şekil 3.4'de P, merkez ve P' noktalarını kesen eksen ile yer merkezli kuzey-güney doğrultusundaki eksen arasındaki p_1 açısı,

$$\tan p_1 = \frac{x}{y} \quad (3.5)$$

$$|p_1| = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right) \quad (3.6)$$

şeklinde hesaplanır.

Güneş diski merkezli kartezyen çerçevede P noktasının koordinatları

$$x = \frac{1}{2}(x_p + x_{p'}) - x_p \quad (3.7)$$

$$y = y_p - \frac{1}{2}(y_p + y_{p'}) \quad (3.8)$$

olarak yazılıp, Denklem (3.6)'da yerine koyulduğunda elde edilen p_1 açısının işareti batıya doğru negatif, doğuya doğru pozitif değerlere sahiptir.

2) Gözlemden bulunan p_1 açısı değeri ile SolarSoft'tan³ alınan kuramsal p_0 açısı değeri karşılaştırılır. İki değer arasındaki fark

$$\Delta p = p_0 - p_1 \quad (3.9)$$

olmak üzere, bu farkın mutlak değerinin 1°'den büyük olduğu durumlar programın çalışması sırasında uyarı mesajları ile tespit edilmiştir. Böylesi gözlem kağıtlarını içeren görüntüler, kutup işaretlemesinde söz konusu olabilen hatalar düşünülerek yeniden dikkatli bir biçimde ölçümlere tabi tutulmuştur. Denklem (3.9)'un verdiği farkların bir nedeni de, rasat kağıdının sayısallaştırılması sırasında tarayıcıya eğik biçimde konulmasıdır. Buradan kaynaklanan hata, Δp değeri kullanılarak 5. maddede verilen konum açısı hesabında kullanılmak suretiyle düzeltilmiştir.

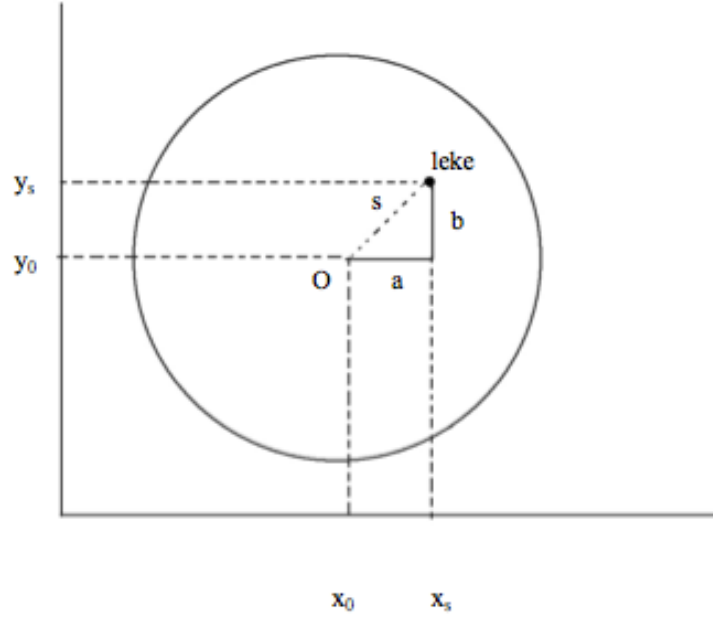
3) Güneş diskinin piksel cinsinden yarıçapı olan ' R_{pix} ', p_1 açısını gösteren şekil 3.4'deki dik üçgende Pisagor bağıntısı uygulanarak

$$R_{pix} = \frac{1}{2} \sqrt{(x_{p'} - x_p)^2 + (y_p - y_{p'})^2} \quad (3.10)$$

şeklinde bulunmuştur.

4) Herhangi bir lekenin merkeze olan uzaklığını bulabilmek için öncelikle lekenin ve merkezin (x,y) konum değerlerinin farkları hesaplanarak güneş diski merkezli kartezyen çerçeveye dönüşüm yapılır ve Şekil 3.5'de gösterilen lekenin (a,b) koordinatları elde edilir:

³ <http://www.lmsal.com/solarsoft/>



Şekil 3.5: Lekenin koordinat değerlerinin ve merkeze olan uzaklığının şematik gösterimi.

$$a = x_s - x_0 \quad (3.11)$$

$$b = y_s - y_0 \quad (3.12)$$

Daha sonra Şekil 3.5'de görülen üçgende Pisagor teoremi uygulanarak

$$s = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (3.13)$$

uzaklığı piksel cinsinden bulunur. Lekenin disk merkezine olan ρ helyosentrik açısal uzaklığı,

$$\sin \rho = \frac{s}{R} \quad (3.14)$$

$$\rho = \sin^{-1} \left(\frac{s}{R} \right) \quad (3.15)$$

şeklinde elde edilir.

5) Lekenin θ konum açısı, kuzey doğrultusundan başlanarak lekeyi merkezle birleştiren doğruya kadar, doğu yönünde ölçülen açıdır. Bu açı, (3.11) ve (3.12) denklemlerindeki a ve b uzunlukları kullanılarak hesaplanır. Örneğin $0 < \theta < 90$ arasındaki herhangi bir konum açısı,

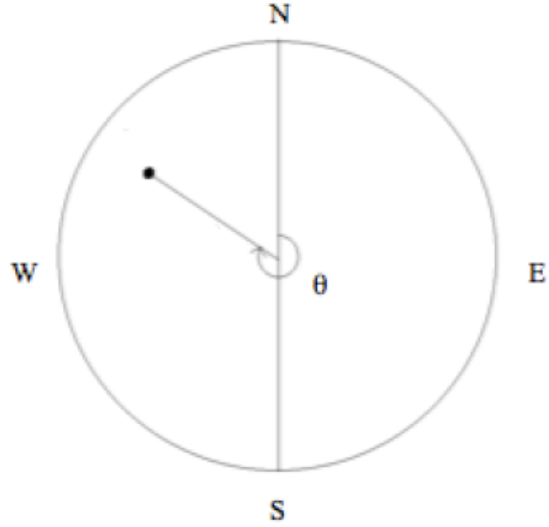
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right) \quad (3.16)$$

şeklinde bulunur.

Konum açısının diğer aralıkları için de benzer trigonometrik bağıntılar kullanılır. Konum açısının düzeltilmiş değeri, Denklem (3.9)'dan bulunan fark göz önüne alınarak

$$\theta = \theta_1 + \Delta p \quad (3.17)$$

şeklinde elde edilir.



Şekil 3.6: Lekenin konum açısının disk üzerinde şematik gösterimi.

6) Carrington helyografik koordinat sistemine dönüşüm yapabilmek için kullanılan denklemler 'Astronomik Almanak'tan, günlük B_0 , L_0 , p_0 değerleri SolarSoft'tan alınmıştır.

Lekenin helyografik enlemini (B) bulmak için,

$$B = \sin^{-1}(\sin B_0 \cos \rho + \cos B_0 \sin \rho \cos (p_0 - \theta)) \quad (3.18)$$

lekenin helyografik boylamını (L) bulmak için,

$$L = \sin^{-1} \frac{\sin \rho \sin(p_0 - \theta)}{\cos B} + L_0 \quad (3.19)$$

denklemleri çözülür.

3.1.3 Leke Gruplarının Eğiklik Açılarının Hesaplanması

Bu aşamaya kadar leke grupları içindeki lekelerin tek tek helyografik enlemleri ve boylamları ölçülmüştür. Her bir lekenin alanı hesaplanmış ve tek bir gruba ait lekeler aynı grup numarası ile numaralandırılmıştır. Kullanılan programın bu kısmında ise yukarıdaki veriler kullanılarak leke gruplarının eğiklik açıları hesaplanmıştır. Eğiklik açılarının hesabında izlenen yöntem aşağıda verilmiştir.

Öncelikle leke grubunun alanla ağırlıklandırılmış ortalama boylamı ve enlemi bulunur (Howard ve diğ., 1984). Grup içerisindeki her bir lekenin l_j boylamı, kapladığı a_j alan değeriyle çarpılıp toplanır ve bulunan sonuç grubun toplam alanına bölünür. Dolayısıyla grubun L_{grup} ortalama boylamı, alanı büyük olan polariteye daha yakındır. Her bir grup için bu işlem

$$L_{\text{grup}} = \frac{\sum_j l_j a_j}{\sum_j a_j} = \frac{l_1 a_1 + l_2 a_2 + \dots + l_n a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (3.20)$$

ifadesi kullanılarak hesaplanır. Burada n , ilgili grup içerisinde ölçülen leke sayısıdır.

Grubun alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlemi de yine aynı yöntemle

$$B_{\text{grup}} = \frac{\sum_j b_j a_j}{\sum_j a_j} = \frac{a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (3.21)$$

şeklinde bulunur.

ii) Ortalama boylam belirlendikten sonra grubun polariteleri saptanır. Grup içerisindeki herhangi bir lekenin boylamı ortalama boylamdan büyük ise o lekenin öncü polariteye, ortalama boylamdan küçük ise izleyen polariteye ait olduğu varsayılır:

$l_j > L_{\text{grup}} \Rightarrow$ öncü (ö) polarite

$l_j < L_{\text{grup}} \Rightarrow$ izleyen (i) polarite

iii) Bu varsayımın ardından \ddot{o} ve i polaritelerinin kendi içerisinde alanla ağırlıklandırılmış ortalama boyları ve enlemleri

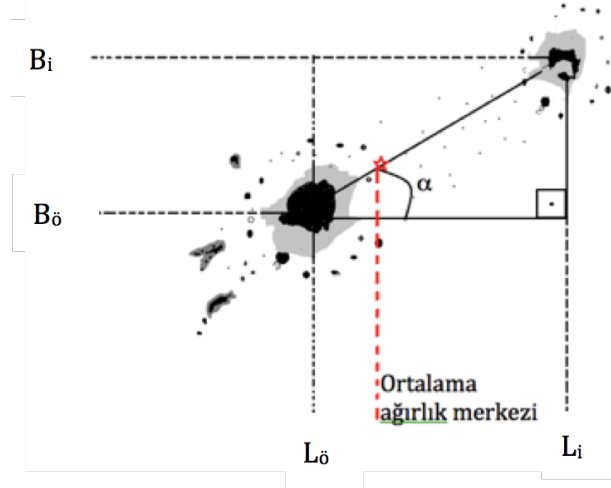
$$L_{\ddot{o}} = \frac{\sum_j l_j a_j}{\sum_j a_j} \quad (3.22)$$

$$B_{\ddot{o}} = \frac{\sum_j b_j a_j}{\sum_j a_j} \quad (3.23)$$

$$L_i = \frac{\sum_j l_j a_j}{\sum_j a_j} \quad (3.24)$$

$$B_i = \frac{\sum_j b_j a_j}{\sum_j a_j} \quad (3.25)$$

ifadeleri kullanılarak hesaplanır. Her bir polaritenin ayrı ayrı ortalama enlemlerini ve boylarını bulmaktaki amaç grubun eğiklik açısına ulaşmaktır (Şekil 3.7).



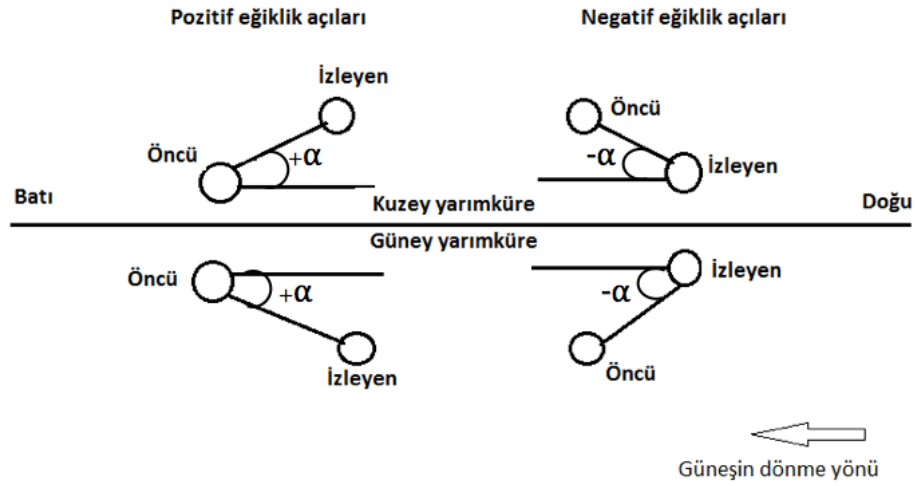
Şekil 3.7: Leke grubunun ağırlık merkezinin ve eğiklik açısının şematik gösterimi.

iv) Grubun eğiklik açısı, \ddot{o} ve i polariteleri arasındaki $B_i - B_{\ddot{o}}$ enlem farklarının $L_i - L_{\ddot{o}}$ boylam farklarına oranından

$$\tan \alpha = \frac{\Delta B}{\Delta L \cos B} \quad (3.26)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\Delta B}{\Delta L \cos B} \quad (3.27)$$

şeklinde bulunur. Şekil 3.8'de de gösterildiği gibi Güneş'in dönme yönüne göre, öncü lekeler ekvatora yakınsa eğiklik açısı pozitif, izleyen lekeler ekvatora yakınsa eğiklik açısı negatif değer alır.



Şekil 3.8: Pozitif ve negatif eğiklik açılarının yarıkürelere göre değişiminin gösterimi.

Bu işlemlerden geçirilerek hesaplanan enlem, boylam, eğiklik açıları ve alanların kaydedildiği dosyadan birkaç satırlık örnek Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Bulgular kısmında yapılan analizler bu dosyadaki sayısal değerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

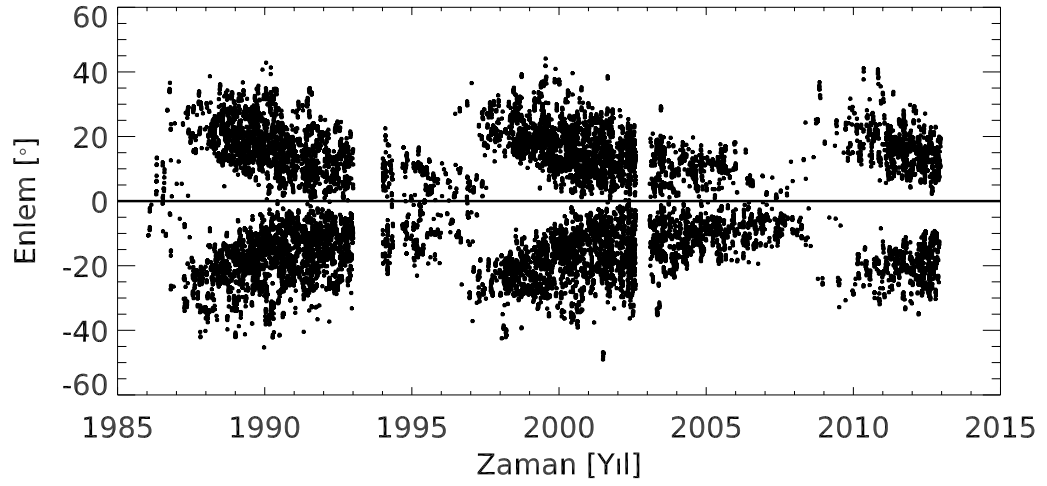
Tablo 3.2: Grup parametrelerinin kaydedildiği metin dosyasından örnek.

Zaman (U.T)	Grup no.	Alan (μ SH)	Enlem($^{\circ}$)	Boylam($^{\circ}$)	Eğiklik açısı($^{\circ}$)
1986 10 12 9 50	1	50.4565	-4.0309	89.7600	-10.2037
1986 10 22 8 20	2	141.0175	22.3605	232.9140	16.3703
1986 10 22 8 20	3	39.5658	-27.2849	197.1240	-8.8513
1986 2 2 8 40	4	6.9654	-16.9429	185.8980	11.3303
1986 4 27 7 30	5	101.6435	7.8210	246.8160	-0.9663
1986 10 23 7 50	6	69.836	12.5906	146.3540	-29.5032
1986 10 23 7 50	7	9.3210	-8.9878	117.3050	10.7457

4. BULGULAR

4.1 LEKE GRUPLARI ENLEMLERİNİN ZAMANLA DEĞİŞİMİ

Leke çevriminin ilk grupları yüksek enlemlerde belirirken, çevrim ilerledikçe leke grupları daha alt enlemlerde ve ekvatora yakın ortaya çıkmaya başladılar. Güneş leke gruplarında gözlenen bu düzenlilik 'kelebek diyagramı' ile tasvir edilir (Maunder, 1903).



Şekil 4.1: [1986-2012] yılları arası ortaya çıkan güneş leke gruplarının kelebek diyagramı.

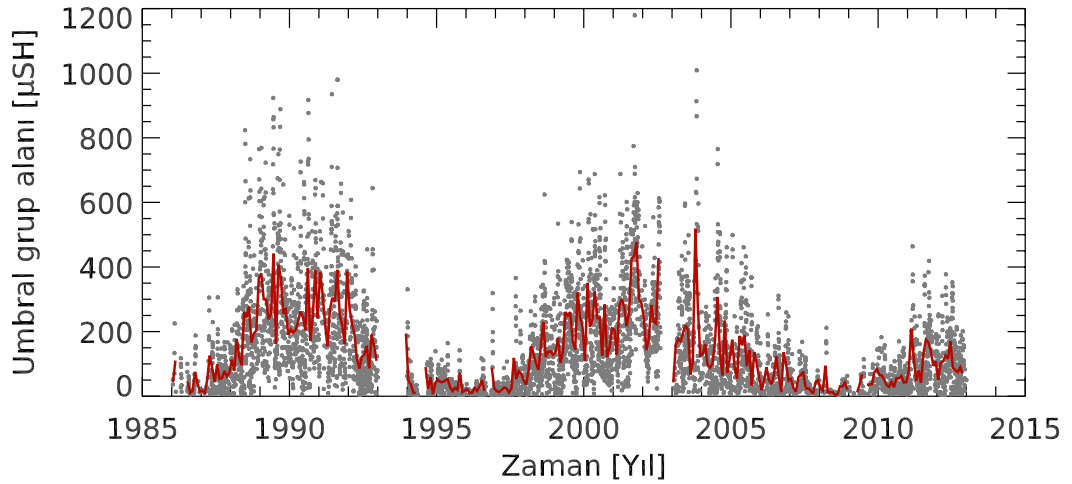
Şekil 4.1’de görüldüğü gibi Kandilli verileri kullanılarak elde edilen kelebek diyagramı, leke gruplarının ortaya çıktıkları bölgelerin enleme bağlılığını desteklemektedir. Lekeler yaklaşık olarak $\pm 40^\circ$ enlemlerinde ortaya çıkmaya başlamakta ve çevrim boyunca giderek ekvatora yaklaşmaktadır. Ardışık çevrimler arası örtüşmeler de diyagramda fark edilmektedir. 1993 yılının tamamında ve 2002 yılının bir kısmında gözlem verisi olmadığı için grafikte bu yıllara ait kısımlar boş görülmektedir.

Bunların yanında, Şekil 4.1’de 24. çevrimin ilk yarısını kapsayan gözlemlerde kuzey yarıkürede güney yarıküreye göre grup sayısı belirgin biçimde daha fazla görülmektedir (Chowdury ve diğ., 2013).

4.2 TOPLAM LEKE GRUBU ALANLARININ ZAMANLA DEĞİŞİMİ

Güneş leke gruplarının sayısı, alan, konum, eğiklik açısı gibi parametrelerinin uzun dönemli ölçümleri, Güneş'in manyetik aktivitesinin doğasını anlayabilmek için anahtar görevi görür. Leke alanlarının ve sayılarının zamanla gösterdiği değişimler de çevrimin başlangıcı, bitişi, evresi, genliği gibi nicelikleri belirlemede oldukça önemlidir. Bu nedenle homojen ve eksiksiz leke alanı verilerine ihtiyaç duyulur.

Bu tezde 22., 23. çevrimler ile 24. çevrimin çıkış kolu boyunca umbral leke alanları ölçülmüş ve zamana göre değişimi incelenmiştir. Şekil 4.2'de gri noktalar günlük toplam leke grubu alanlarını ifade etmektedir. Aynı grafik üzerinde görülen kırmızı sürekli çizgi ise günlük toplam alanlar üzerinden alınan aylık ortalamaları göstermektedir.

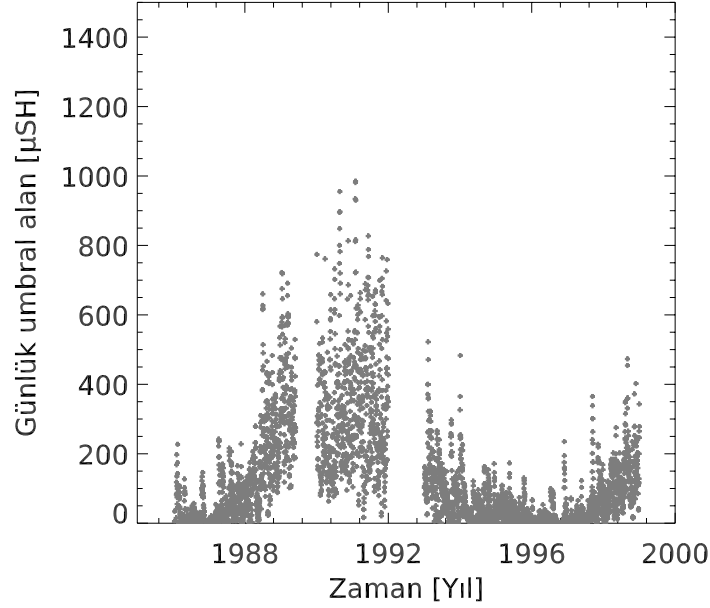


Şekil 4.2: Leke grubu umbral alanlarının günlük toplamalarının (noktalar) ve günlük toplam alanlar üzerinden aylık ortalamalarının (sürekli çizgi) zamana bağlı değişimi.

22. çevrim 1986 yılının Eylül ayında başlamış, 1996 yılının Mayıs ayında bitmiştir. Üzerinde çalışılan veri seti 1986 yılının ilk ayında başladığı için grafikte 21. çevrimin son aylarına ait günlük toplam umbral leke alanları da görülmektedir. 23. çevrim 1996 yılının Mayıs ayında başlamış olup, 2008 yılının Ocak ayında bitmiştir. Şu an içinde bulunulan 24. çevrim ise 2008 yılı Ocak ayında başlamıştır ve 2013 yılı itibariyle maksimum evresine yaklaşmış durumdadır⁴.

⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_cycles

Kandilli Rasathanesi verilerinin kullanıldığı bu çalışmada 22. çevrimde toplam umbral alan 3.37×10^5 μSH , 23. çevrimde ise 4.01×10^5 μSH olarak ölçülmüştür. Şekil 4.3'te Macaristan Debrecen Gözlemevi'nin kaydettiği leke gruplarının umbral alanları⁵ 22. çevrim boyunca noktalanmıştır. Bu verilerin Kandilli Rasathanesi verileri ile karşılaştırılabilir mertebede oldukları görünmektedir.



Şekil 4.3: Debrecen Gözlemevi'nden alınan leke gruplarının günlük toplam umbral alanlarının zamanla değişimi.

Diğer yandan, söz konusu çevrimler için penumbral bölgeleri ve tek kutuplu lekeleri de kapsayan toplam grup alanı ölçümleri RGO/USAF/NOAA'nın büyük ölçüde eksiksiz olan veritabanından⁶ alınmış ve her bir çevrim için toplam grup alanı hesaplanmıştır. Buradan elde edilen toplam alan değerleri 22. ve 23. çevrimler için sırasıyla 4.4×10^6 μSH ve 3.9×10^6 μSH 'dir. Bu değerlerin yukarıda verilen Kandilli Rasathanesi değerlerine göre gösterdiği belirgin fark, aşağıdaki etkilerden ileri gelmektedir.

1. RGO/USAF/NOAA verilerinde her bir grubun umbral ve penumbral alanlarının toplamı verilmiştir. Bu çalışmada ise yüzeye dik ve görece güçlü manyetik alanlı bölgeleri ölçmek esas alındığından sadece umbral alanlar ölçülmüştür.

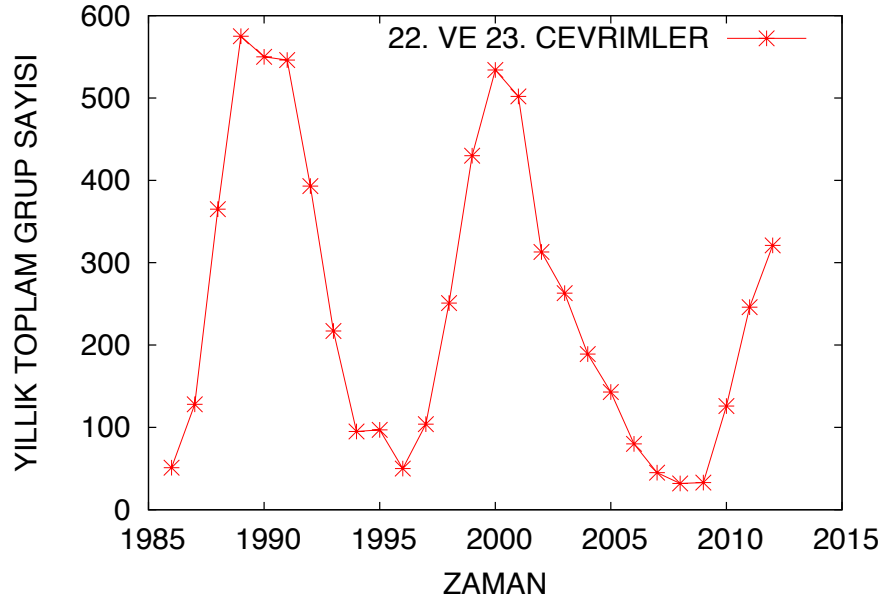
⁵ http://fenyi.solarobs.unideb.hu/deb_obs_en.html

⁶ <http://solarscience.msfc.nasa.gov/greenwch.shtml>

2. Tezin öncelikli amacının eğiklik açılarının ölçümü olmasından dolayı kullanılan veri seti sadece çift kutuplu lekelerin umbral alanlarını kapsamaktadır.
3. RGO/USAF/NOAA veritabanı neredeyse eksiksiz iken Kandilli Rasathanesi çizim arşivlerinde eksik gün sayısı oldukça fazladır.

RGO/USAF/NOAA çevrim şiddetleri göz önüne alındığında 22. güneş leke çevriminin 23. çevrimden daha şiddetli olduğu yukarıda sayılarla verilmiştir. Fakat Kandilli Rasathanesi umbral alan gözlemlerine göre 23. çevrim daha şiddetli görünmektedir. Bu durum, 23. çevrimde daha fazla gün gözlem yapılmış olması nedeniyle olabileceği gibi, tek kutuplu leke bölgelerinin çevrim şiddetine oldukça belirgin katkıları olmasından (Bludova, 2012) kaynaklı da olabilir. Farklı neden olabilecek bu durumların çevrim şiddetleri üzerindeki etkisini görmek amacıyla aşağıdaki istatistiksel testler yapılmıştır.

1. Kandilli Rasathanesi'nde 22. çevrimde 2221 gün gözlem yapılmış olmasına karşın 23. çevrimde 3050 gün gözlem yapılmıştır. İki çevrim arasındaki yaklaşık 830 günlük gözlem sayısı farkı 23. çevrimi daha güçlü gösterebilir. Çünkü 22. çevrimdeki eksik günler, maksimum evresini izleyen, çevrimin görece halen güçlü olduğu bir yıla karşılık gelmektedir.
2. Kandilli verilerine göre 22. çevrimde hem tek, hem de çift kutuplu leke gruplarının gözlenen sayısı 3016 iken 23. çevrimde bu sayı, toplamda daha fazla gün gözlem yapılmış olmasına rağmen 2886 gruba düşmüştür. Bu demektir ki, eğer bu çalışmaya tek kutuplu leke alanları da katılmış olsaydı 22. çevrimin daha güçlü olduğu görülebilirdi. Şekil 4.4'te Kandilli Rasathanesi'nde ölçülen yıllık toplam leke grubu sayısının zamanla değişimini veren grafik bu durumu doğrulamaktadır.



Şekil 4.4: Yıllık toplam leke grubu sayısının zamanla değişimi.

Bu durumların haricinde uzun zaman dilimlerinde leke alanı verileri sistematik ya da rastlantısal hatalar gösterebilir. Bu tezde kullanılan veri setinde de zaman zaman gözlem tekniğinden ve gözlemciden kaynaklanan hatalar da bulunabilir. Hava koşulları, gözlemci değişikliği, kullanılan kalem v.b. değişken faktörler farklı duyarlılıkta gözlem yapılmasına zemin hazırlar.

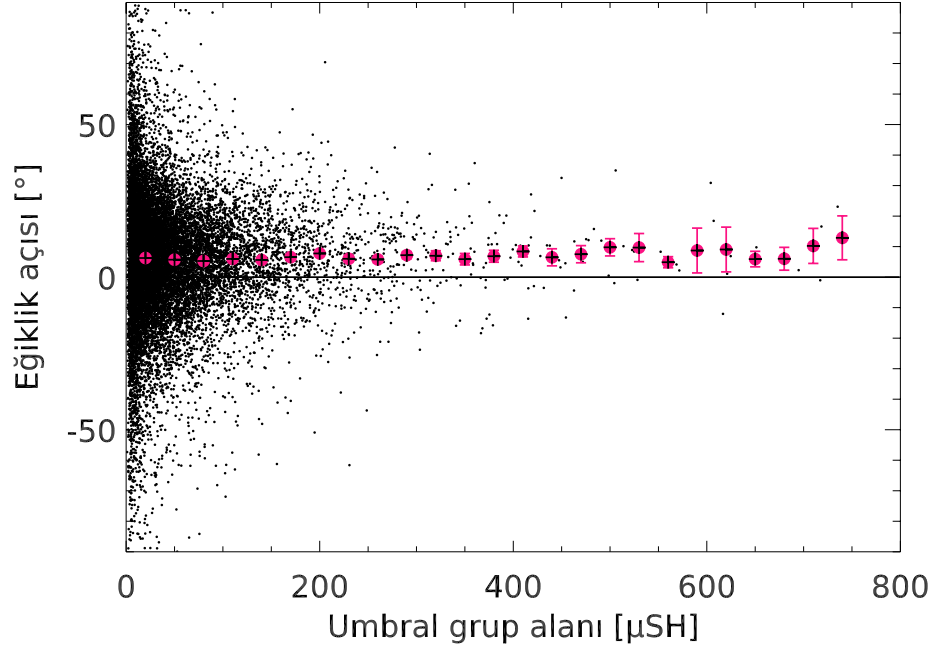
24. güneş çevrimi oldukça ilginç bir şekilde devam etmektedir. Son yüz yılın en uzun ve en derin minimum evresinin ardından en zayıf çevrimi olacağı da tahmin edilmektedir (Petrovay, 2010). Bu uzun minimumun ardından 2011 yılında leke sayısı artmaya başlamıştır. Tahminlere göre bu artış, çift maksimum göstereceği düşünülen 24. çevrimin ilk maksimumudur. İkinci maksimum ise 2013 yılı içerisinde öngörülmektedir.⁷

4.3 LEKE GRUPLARININ ALANLARI İLE EĞİKLİK AÇISI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Bu çalışmada kullanılan veriler kapsamında toplam 17457 çift kutuplu leke grubunun alanı, konumu ve eğiklik açısı ölçülmüştür. Eğiklik açısının leke alanına göre dağılımı Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu dağılım, bir Gauss eğrisini andırmaktadır. Grafiğe göre Güneş'te büyük alanlı leke grupları daha az sıklıkla ortaya çıkmaktadır. Bu durum, de

⁷ <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>

Toma ve diğ. (2013)'nin bulguları ile uyumludur. Çevrimdeki tüm leke grupları göz önüne alındığında büyük alanlı leke grupları %2-%3 civarında bir kısmı temsil ederler (De Toma ve diğ., 2013). Küçük alanlı leke grupları ise sayıca daha fazla gözlenmektedir.



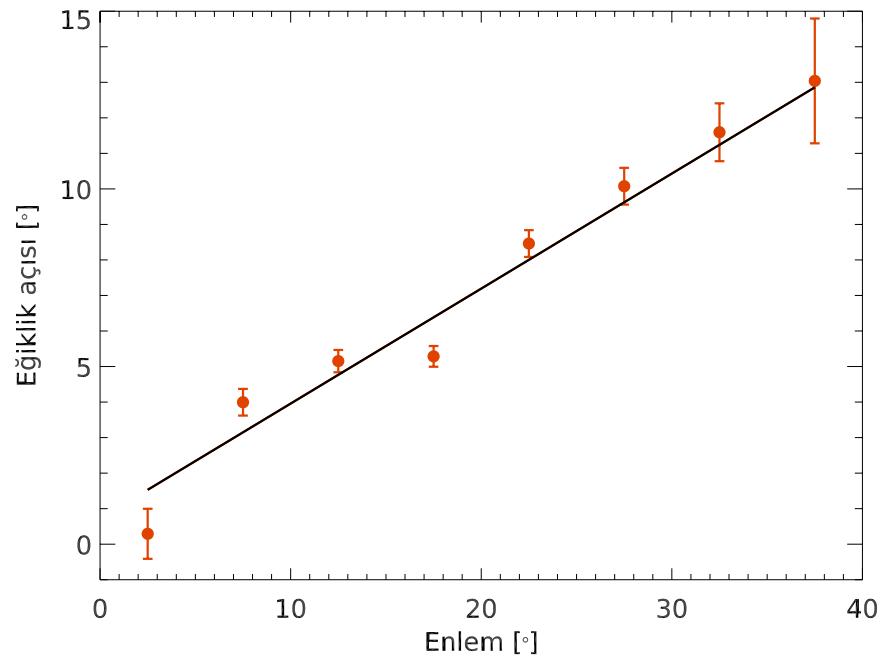
Şekil 4.5: Eğiklik açısının alanın fonksiyonu olarak dağılımı. Noktalar tek tek grupları temsil etmektedir. Büyük daireler 30 μSH 'lik alan aralıkları üzerinden eğiklik açısının ortalama değerlerini, hata çubukları ise ortalamaların standart sapmalarını göstermektedir.

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi leke gruplarının alanları arttıkça eğiklik açısındaki saçılma belirgin ölçüde azalmaktadır. Büyük alanlı lekeler daha küçük bir eğiklik açısı aralığında ortaya çıkma eğiliminde iken, küçük alana sahip leke grupları daha geniş bir aralıkta ortaya çıkmaktadır. Ayrıca küçük alanlı leke gruplarına doğru gidildikçe, leke gruplarının negatif eğiklik açısı ile çıkma eğilimlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir (Tlatov ve diğ., 2013).

30'ar μSH genişliğindeki alan aralıklarında üzerinden ortalamalar alınarak eğiklik açısının değişimine bakıldığında eğiklik açısının alanla belirgin ölçüde değişmediği görülmektedir (Şekil 4.5'te hata çubukları ile birlikte gösterilen mor noktalar). Dolayısıyla alan arttıkça veya azaldıkça eğiklik açısının sistematik olarak azaldığı veya arttığı söylenemez. Değişen sadece eğiklik açısının dağılımındaki saçılmadır.

4.4 JOY KANUNU'NUN GÖSTERİMİ VE ÇEVİRİME BAĞLILIĞI

Güneş lekelerinin ortalama eğiklik açıları ortaya çıktıkları enlemler ile artış gösterir. Eğiklik açılarının gösterdiği bu enleme bağılılık "Joy Kanunu" olarak bilinir. Çift kutuplu manyetik bölgelerin ortalama enlemleri ve sahip oldukları ortalama eğiklik açıları tıpkı çevrimin şiddeti ve süresi gibi çevrimden çevrime değişen niceliklerdir (Dasi-Espuig ve diğ. 2010). Şekil 4.6'da Joy Kanunu'nu tüm veri seti üzerinden [1986-2012] denetlemek amacıyla 5 derecelik enlem aralıkları için alınan ortalama eğiklik açıları ile enlem arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.6: Leke gruplarının ortalama eğiklik açılarının enlemin mutlak değeri ile değişimi. Yuvarlak kırmızı noktalar 5 derecelik enlem aralıkları üzerinden alınan ortalamaları ve standart sapmaları, sürekli çizgi ise bu dağılımdan geçen doğrusal regresyon sonucunu göstermektedir.

Grafikte ilk göze çarpan, Joy Kanunu'nu destekleyici bir şekilde, ortalama eğiklik açısının yüksek enlemlere doğru gidildikçe artmasıdır. 5 derecelik enlem kuşakları için hesaplanan ortalama eğiklik açılarına doğrusal regresyon uygulandığında, enlem ile eğiklik açısı arasında

$$\alpha(\lambda) = (0.32 \pm 0.02)\lambda + (0.72 \pm 0.37) \quad (4.1)$$

şeklinde bir ilişki bulunmuştur. Burada α eğiklik açısını, λ ise enlemi derece cinsinden ifade eder. Bu bağıntıdan da görüleceği gibi Joy Kanunu ile temsil edilen doğrunun

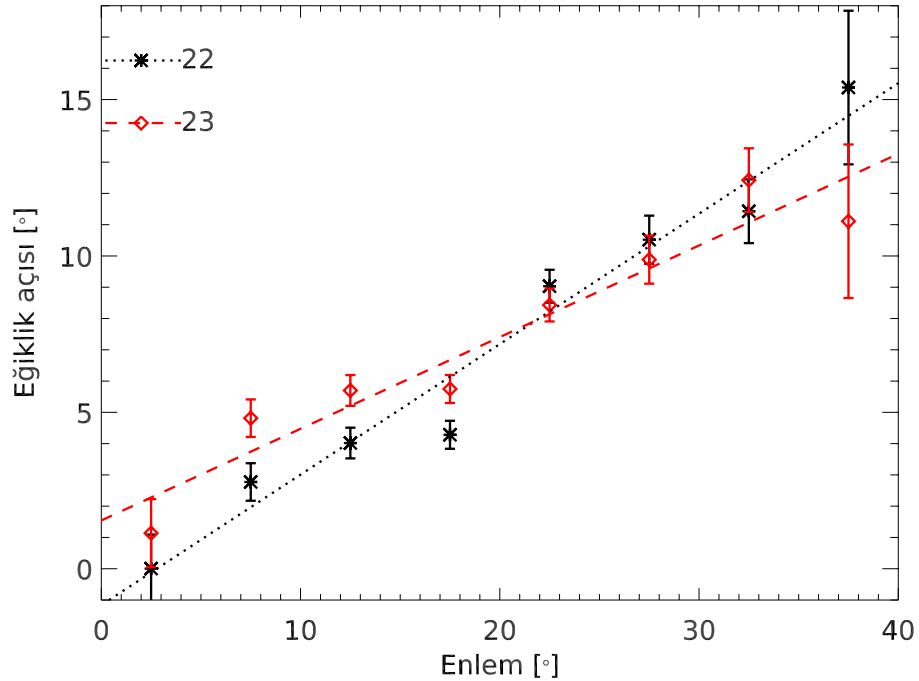
ortalama eğimi 0.32'dir. Mount Wilson ve Kodaikanal Gözlemleri'nin 15. çevrimden 21. çevrime kadar olan verilerinin dikkate alınmasıyla elde edilen eğiklik açısı-enlem ilişkileri sırasıyla,

$$\alpha(\lambda) = (0.26 \pm 0.05)\lambda \quad (4.2)$$

$$\alpha(\lambda) = (0.28 \pm 0.06)\lambda \quad (4.3)$$

şeklindedir (Dasi-Espuig ve diğ., 2010). Bu bağıntılarda doğrusal ilişki, (0,0) noktasına zorlanarak elde edilmiştir. Görüldüğü gibi bu gözlemlerinin verilerinden bulunan Joy eğimi ile Kandilli Rasathanesi verilerinden elde edilen Joy eğimi birbirine yakın değerlerdir.

Bu çalışmada ayrıca 22. ve 23. çevrimler tek tek ele alınarak Joy eğiminin çevrimden çevrime değişip değişmediği incelenmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi 22. ve 23. çevrim için ayrı ayrı olmak üzere 5 derecelik enlem kuşakları üzerinden alınan ortalama eğiklik açıları ile enlem arasındaki ilişkiye bakılmıştır.



Şekil 4.7: 5'er derecelik enlem kuşakları için hesaplanan ortalama eğiklik açısı ile 22. ve 23. çevrimler için Joy Kanunu'nun gösterilmesi. Noktalı çizgi ve siyah yıldız simgeleri 22. çevrimi, kesikli çizgi ve kırmızı dörtgen simgeleri 23. çevrimi temsil etmektedir.

22. çevrimde Joy Kanunu

$$\alpha(\lambda) = (0.42 \pm 0.03)\lambda - (1.16 \pm 0.74), \quad (4.4)$$

23. çevrimde ise

$$\alpha(\lambda) = (0.29 \pm 0.03)\lambda + (1.54 \pm 0.79) \quad (4.5)$$

olarak bulunmuştur.

Hem Şekil 4.7'de, hem de yukarıdaki bağıntılarda görüldüğü gibi çevrimler arasında Joy eğiminde belirgin bir farklılık söz konusudur. Daha şiddetli olduğu bilinen 22. çevrimde Joy eğimi 23. çevrimden daha büyüktür.

4.5 ORTALAMA EĞİKLİK AÇISI VE ORTALAMA ENLEMİN ÇEVİRİM ŞİDDETİNE BAĞLILIĞI

Bu tez kapsamında güneş leke gruplarının bazı parametreleri arasındaki olası ilişkileri incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle 22. ve 23. leke çevrimlerinin ortalama eğiklik açısı ($\langle \alpha \rangle$), çevrimin alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı ($\langle \alpha_w \rangle$), çevrimin ortalama enlemi ($\langle \lambda \rangle$), çevrimin alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlemi ($\langle \lambda_w \rangle$) hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: 22. ve 23. çevrimler için ortalama eğiklik açıları ve enlem değerleri. $\langle \alpha_w \rangle$ ve $\langle \lambda_w \rangle$ umbral alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı ve enlem değerleridir.

Çevrim	$\langle \alpha \rangle$	$\langle \lambda \rangle$	$\langle \alpha_w \rangle$	$\langle \lambda_w \rangle$
22	$5.69^\circ \pm 0.23$	$16.90^\circ \pm 0.09$	$5.90^\circ \pm 0.19$	17.86 ± 0.09
23	$6.31^\circ \pm 0.23$	$15.76^\circ \pm 0.08$	$6.19^\circ \pm 0.19$	15.07 ± 0.07

Tablo 4.1 de görülen $\langle \alpha \rangle$ ve $\langle \lambda \rangle$ değerleri söz konusu veriler üzerinden aritmetik ortalama alınarak, $\langle \alpha_w \rangle$ ve $\langle \lambda_w \rangle$ değerleri ise

$$\langle \alpha_w \rangle = \frac{\sum \alpha_j A_j}{\sum A_j} \quad (4.6)$$

$$\langle \lambda_w \rangle = \frac{\sum \lambda_j A_j}{\sum A_j} \quad (4.7)$$

denklemleri kullanılarak bulunmuştur. Burada A_j , α_j , λ_j sırasıyla j. leke grubunun alanını, eğiklik açısını ve enlemini ifade eder.

Burada alanla ağırlıklandırılmış nicelikler kullanılmasının nedeni Şekil 4.5'te görüldüğü gibi küçük alanlı leke gruplarının eğiklik açısı dağılımlarının büyük alanlılara göre rastlantısal durumlardan daha fazla etkilenmesidir. Bunun nedeni olarak konvektif akışların daha düşük manyetik akıya sahip leke gruplarını oluşturan akı tüplerini daha kolay hareket ettirebilir olması düşünülebilir. (Fan, 2009). Diğer bir deyişle eğiklik açıları küçük alanlara gidildikçe daha fazla saçılmış bir dağılım göstermektedir. Rastlantısal etkileri en aza indirerek eğiklik açısı üzerinde etkili olan sistematik etkileri açığa çıkarmak amacıyla eğiklik açılarının grup alanı ile ağırlıklandırılmış ortalama değeri hesaplanmıştır. Böylece, eğiklik açısında daha az saçılma gösterdikleri için büyük alanlı leke gruplarına daha fazla önem verilmiştir (Dasi-Espuig ve diğ., 2010).

Ortalama enlemin çevrim şiddetine bağlılık gösterdiği bilinmektedir. Buna göre herhangi bir çevrimde gözlenen leke gruplarının ortalama enleminin, çevrim şiddeti ile doğru orantılı olarak artması beklenir (Hathaway, 2010). Bu çalışmada da Tablo 4.1'de görüldüğü gibi daha zayıf şiddette olduğu bilinen 23. çevrimin daha düşük ortalama enleme sahip olduğunun bulunması, bu ilişkiyi doğrulamaktadır.

Aynı çevrimin ortalama eğiklik açısı, çevrim şiddeti ile belirgin bir şekilde ters korelasyon gösterir (Dasi-Espuig ve diğ., 2010). Buna göre daha şiddetli çevrimler daha küçük ortalama eğiklik açısına sahiptir. Bu ilişkiyi test etmek amacıyla öncelikle eğiklik açısının enleme normalize edilmiş haline $\langle \alpha \rangle / \langle \lambda \rangle$ ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü eğiklik açısı ile çevrim şiddeti arasındaki ilişki incelenirken tek başına ortalama eğiklik açısını kullanmak, Joy Kanunu'ndan kaynaklanan bir yanlılık oluşturur. Yani güçlü çevrimler daha yüksek enlemlerden başladığı için böyle çevrimlerde Joy Kanunu'ndan dolayı daha büyük eğiklik açılı bölgelerin ortaya çıkması beklenir (Solanki ve diğ., 2008). Dolayısıyla Joy Kanunu'ndan ileri gelen bir enleme bağlılık etkisi ortaya çıkar. Bu durumun hafifletilmesi amacıyla $\langle \alpha \rangle / \langle \lambda \rangle$ parametresi kullanılabilir (Dasi-Espuig ve diğ., 2010). $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ oranı ise, alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlem ile normalize edilen alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısını

ifade etmektedir. Böylece eğiklik açısı ve enlem alanla ağırlıklandırılarak daha büyük alana sahip leke gruplarının sonuca etkisi arttırılmıştır.

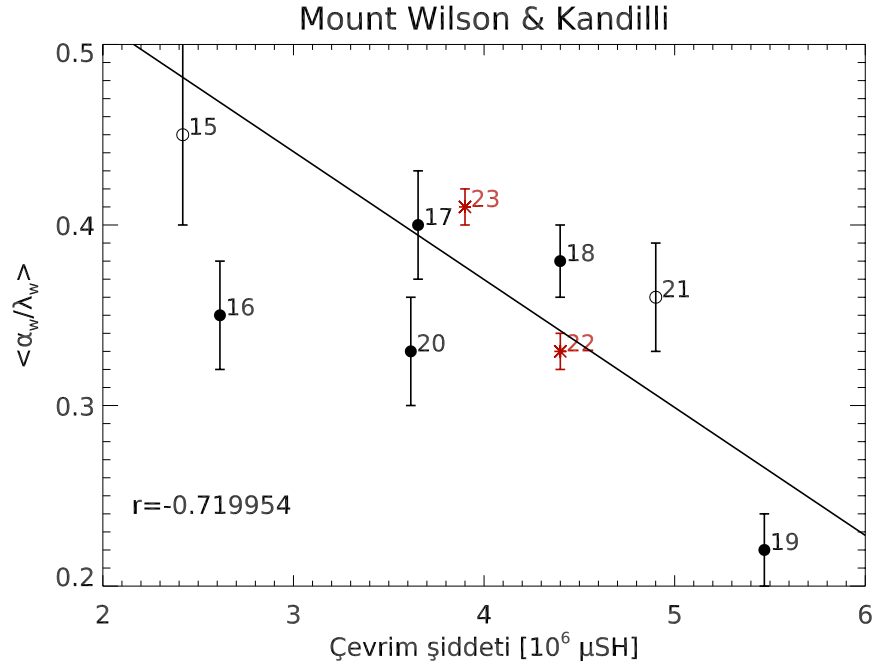
22. çevrim için bu nicelik,

$$\frac{\langle \alpha_w \rangle}{\langle \lambda_w \rangle} = 0.330 \pm 0.011 \quad (4.8)$$

23. çevrim için ise

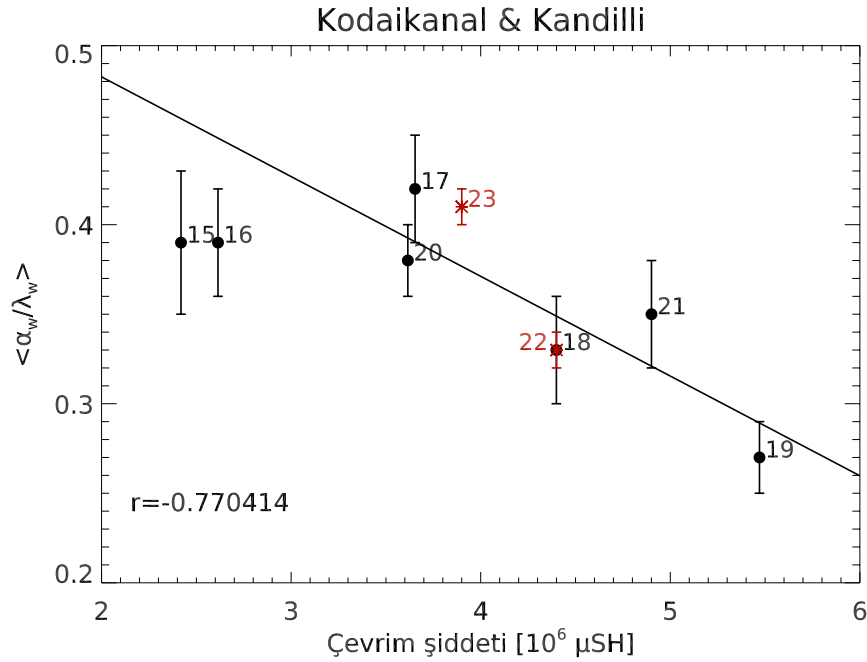
$$\frac{\langle \alpha_w \rangle}{\langle \lambda_w \rangle} = 0.411 \pm 0.013 \quad (4.9)$$

şeklinde bulunmuştur. 22. ve 23. çevrimler için Kandilli Rasathanesi verileri kullanılarak hesaplanan bu niceliğin çevrim şiddeti ile olan ilişkisi, Mount Wilson (ABD) ve Kodaikanal (Hindistan) Gözlemevleri'nin 15-21 çevrimleri için buldukları ilişkiyle birlikte incelenmiştir.



Şekil 4.8: $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ oranı ile çevrim şiddeti arasındaki ilişki. Siyah noktalar ile gösterilen 15-21 çevrimlerine ait Mount Wilson Gözlemevi'nin, kırmızı yıldızlar ile gösterilen 22-23 çevrimlerine ait Kandilli Rasathanesi'nin verileridir. 'r' değeri korelasyon katsayısını ifade eder. 15 ve 21. çevrimler eksik veriden dolayı regresyona katılmamıştır. Çevrim şiddeti değerleri RGO/USAF/NOAA veri tabanından alınan umbral ve penumbral alanların toplam değeridir.

Şekil 4.8'de Mount Wilson ve Kandilli Gözlemleri'nin verileri kullanılarak hesaplanan ortalama eğiklik açısı ile RGO/USAF/NOAA veri tabanından alınan çevrim şiddeti arasındaki ilişkinin ters korelasyon gösterdiği hemen dikkat çekmektedir. Bu analizdeki korelasyon katsayısının -0.72 olması (yani -1'e yakın değer) ilişkinin güvenilirliğini desteklemektedir. İki çevrim için Kandilli Rasathanesi verileriyle hesaplanan ortalama eğiklik açılarının da, Mount Wilson Gözlemevi'nin hesapladığı ortalama eğiklik açılarıyla uyum gösterdiği fark edilmektedir.



Şekil 4.9: $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ oranı ile çevrim şiddeti arasındaki ilişki. Siyah noktalar ile gösterilen 15-21 çevrimlerine ait Kodaikanal Gözlemevi'nin, kırmızı yıldızlar ile gösterilen 22-23 çevrimlerine ait Kandilli Rasathanesi'nin verileridir. 'r' değeri korelasyon katsayısını ifade eder. Çevrim şiddeti değerleri RGO/USAF/NOAA veri tabanından alınan umbral ve penumbral alanların toplam değeridir.

Şekil 4.9'da da Kodaikanal ve Kandilli Gözlemleri'nin $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ niceliğinin çevrim şiddeti ile olan ilişkisi birlikte incelenmiş, benzer şekilde ters korelasyon gözlenmiştir. Buradaki korelasyon katsayısı ise -0.77 olup daha güçlü bir ilişkiye işaret etmektedir. Söz konusu iki gözlemevinin ortalama eğiklik açısı verilerinin birbirleriyle tutarlı olduğu göze çarpmaktadır.

Üç gözlemevinin verileri birleştirilerek yapılan analizlerde Kandilli Rasathanesi verilerinin normalize edilmiş eğiklik açısı ile çevrim şiddeti arasındaki ters korelasyonu destekleyici durumda olduğu gözükmektedir.

Grafiklerde de görüldüğü gibi şiddetli çevrimlerde güneş leke grupları ortalama olarak daha küçük eğiklik açısı ile ortaya çıkmaktadırlar. Daha düşük ortalama eğiklik açısına sahip çevrimlerde aktif bölgelerin kutup bölgelerine mutlak manyetik akı katkısı daha azdır. Dolayısıyla mutlak olarak daha zayıf bir poloidal alan oluşur. Babcock-Leighton mekanizmasının geçerli olduğu varsayıldığında, bir sonraki çevrimin de daha zayıf olması beklenir.

4.6 ORTALAMA EĞİKLİK AÇISININ VE JOY EĞİMİNİN YARIKÜRESEL DEĞİŞİMİ

Konveksiyonun yükselen akı tüplerine rastlantısal ve saçılmalı eğiklik açısı kazandırmasından dolayı kısa zaman ölçeklerinde Joy eğiminde ya da ortalama eğiklik açılarında yarıküresel farklılıklar gözlenebilir (Weber ve diğ. 2012; Fisher ve diğ. 1995). Stokastik süreçlerden kaynaklanan bu değişikliklerin dışında olası sistematik değişimleri Kandilli Rasathanesi verileri ile de denetlemek amacıyla McClintock ve diğ. (2013) 'nin yaptığı gibi Joy Kanunu'nun ve eğiklik açısının yarıküresel ortalamalarına bakılmıştır.

Tablo 4.2: Alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısının yarıküresel değişimi.

Çevrim	Kuzey Yarıküre	Güney Yarıküre
22	$6.25^\circ \pm 0.33$	$5.21^\circ \pm 0.32$
23	$6.83^\circ \pm 0.34$	$5.85^\circ \pm 0.31$

Bu amaç doğrultusunda her iki çevrim ve her iki yarıküre için alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açılarının değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.2'de görüldüğü gibi hem 22. hem de 23. çevrimde kuzey ve güney yarıküreler için hesaplanan ortalama eğiklik açıları birbirlerinden farklıdır. Her iki çevrimde de kuzey yarıküreye ait ortalama eğiklik açısı güney yarıküre için bulunan değerden daha büyüktür. Bu durum McClintock ve diğ. (2013)'nin bahsettiği yarıküresel eğiklik açısının çevrimden çevrime belirgin bir şekilde değişiklik göstermesi durumunu desteklemektedir.

Tablo 4.3: Mount Wilson Gözlemevi verileriyle 16-21 çevrimleri için elde edilen ortalama eğiklik açısının yarıküresel değişimi (McClintock ve diğ., 2013).

Çevrim	Kuzey	Güney
16	$3.8^\circ + 0.73$	$4.4^\circ + 0.81$
17	$5.4^\circ + 0.70$	$4.0^\circ + 0.71$
18	$5.7^\circ + 0.61$	$2.9^\circ + 0.60$
19	$4.6^\circ + 0.53$	$1.8^\circ + 0.59$
20	$3.5^\circ + 0.60$	$4.8^\circ + 0.66$
21	$5.0^\circ + 0.67$	$4.4^\circ + 0.68$
16-21	$4.7^\circ + 0.26$	$3.6^\circ + 0.27$

Aynı çalışmada 16-21. çevrimleri incelenmiş ve kuzey yarıkürde leke gruplarının genelde daha büyük eğiklik açısı ile ortaya çıktığı gösterilmiştir (bkz. Tablo 4.3).

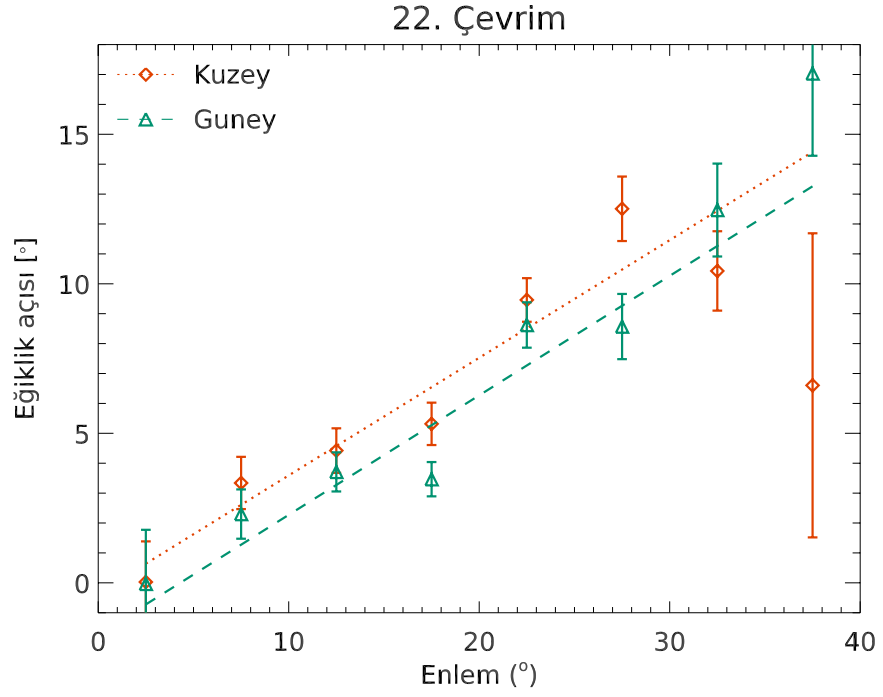
Bu bakımdan Kandilli Rasathanesi verileri kullanılarak 22. ve 23. çevrimler için bulunan yarıküresel ortalama eğiklik açıları, genel eğilimle uyum içinde olmakla birlikte, ortalamada 16-21. çevrimlerden belirgin biçimde daha yüksektir.

Benzer bir yarıküresel farklılık Joy eğiminde de söz konusudur. Joy eğiminin yarıküresel değişimini belirleyebilmek için her iki yarıkürde ayrı ayrı olmak üzere 5'er derecelik enlem kuşakları için ortalama eğiklik açısı değerleri bulunmuştur. Bu değerlere regresyon uygulandığında ortaya çıkan doğrunun eğimi $y = mx + n$ denklemi ile verilmiştir. Burada m doğrunun eğimini, n ise doğrunun y eksenini kestiği noktayı temsil eder. Tablo 4.4'de her iki çevrim için de Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi sayılarla verilmiş, Şekil 4.10 ve 4.11'de regresyon doğruları ile birlikte ortalama eğiklik açısının enlem dağılımı gösterilmiştir. Dasi-Espuig ve diğ. (2010)'nin aksine, McClintock ve diğ. (2013)'nin yaptığı gibi yapılmış, regresyon doğruları sıfıra zorlanmamıştır.

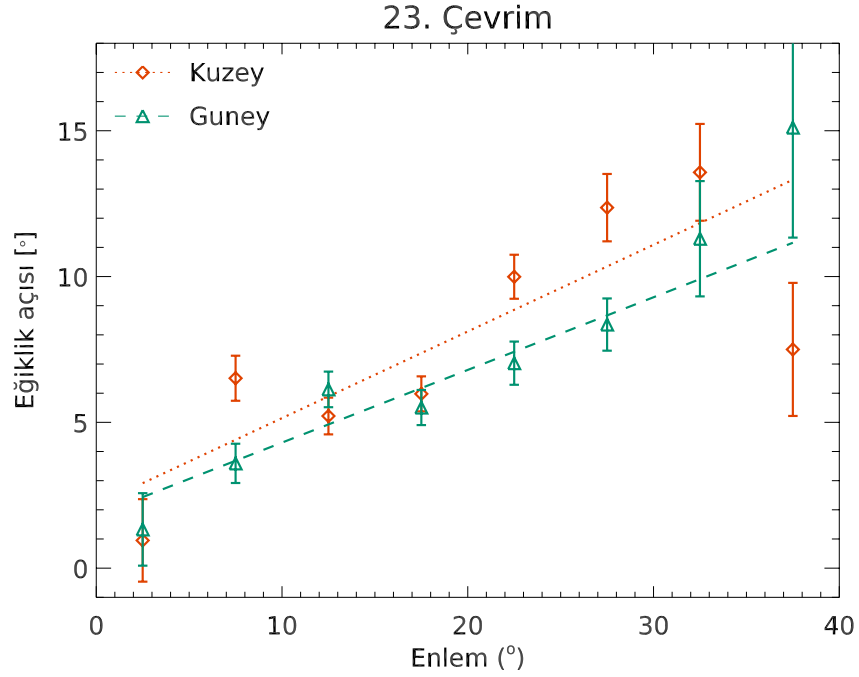
Tablo 4.4: 22. ve 23. çevrimler için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi.

Çevrim	Kuzey yarıküre için m	Güney yarıküre için m	Kuzey yarıküre için n	Güney yarıküre için n
22	0.393 ± 0.042	0.399 ± 0.042	-0.342 ± 0.791	-1.722 ± 0.792
23	0.297 ± 0.040	0.249 ± 0.039	2.171 ± 0.734	1.813 ± 0.685

Bu değerler göz önüne alınarak 22. evrimi gösteren Şekil 4.10 incelendiğinde, kuzey ve güney yarıkürelerin hemen hemen aynı Joy eğimine sahip olduğu görülmektedir. Kuzey yarıkürenin ortalamada daha büyük bir eğiklik açısına sahip olduğu yine aynı Şekilde kolayca fark edilmektedir. Her iki yarıkürede de doğrunun y eksenini kestiği nokta sifira yakın, ancak negatiftir.



Şekil 4.10: 22. evrim için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi. Kırmızı dörtgenler ve noktalı doğru kuzey yarıküreyi, yeşil ugenler ve kesik çizgili doğru güney yarıküreyi temsil etmektedir. Regresyonlar 5'er derecelik enlem kuşakları üzerinden ortalama eğiklik açıları hesaplanarak çizilmiştir.



Şekil 4.11: 23. çevrim için Joy Kanunu'nun yarıküresel değişimi. Kırmızı dörtgenler ve noktalı doğru kuzey yarıküreyi, yeşil üçgenler ve kesik çizgili doğru güney yarıküreyi temsil etmektedir. Regresyonlar 5'er derecelik enlem kuşakları üzerinden ortalama eğiklik açıları hesaplanarak çizilmiştir.

23. çevrimde ise kuzey ve güney yarıkürelerde Joy eğimi birbirinden farklı olmakla birlikte kuzey yarıküre için bu değer biraz daha büyük olduğu Şekil 4.11'de görülmektedir. Tablo 4.2'den de anlaşıldığı gibi, her iki çevrim için de kuzey yarıkürenin ortalama eğiklik açısı, güney yarıkürenin ortalama eğiklik açısı değerinden büyüktür.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında Kandilli Rasathanesi güneş fotosferi leke çizimlerinin dijital arşivi kullanılarak 1986 yılının başından 2012 yılının sonuna kadar olan dönem için, güneş leke gruplarının helyografal enlem, boylam, umbral alan ve eğiklik açısı gibi niceliklerinin belirlenmesi ve bu nicelikler arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Leke gruplarının konum ve alan ölçümlerine oldukça eksiksiz ve duyarlı bir biçimde birçok veri merkezinden ulaşılabilmektedir. Ancak leke gruplarının eğiklik açıları konusunda yayımlanmış çok az yayın vardır. Güneş'in global manyetik etkinliğini araştıran gözlemler ve modeller Babcock-Leighton mekanizmasının Güneş'te bir şekilde işlediğine işaret eder. Dolayısıyla bu mekanizmanın en önemli parametrelerinden olan eğiklik açısının gözlemsel verilerinin sağlanması konuya katkısı açısından büyük öneme sahiptir.

Yukarıda anılan niceliklerin özellikle de eğiklik açısının ölçümü amacıyla ilk kez Howard ve diğ., (1984) tarafından uygulanan alanla ağırlıklandırılmış konum belirleme yöntemi bu tezde de kullanılmış ancak ölçümler farklı şekilde işleyen bir bilgisayar programı ile yapılmıştır. Howard ve diğ. (1984)'nin çalışmasında leke gruplarının eğiklik açısı 3° enlem ve 5° boylama sahip hareketli bir kutunun disk üzerinde gezdirilmesi ile belirlenmiştir. Bu gruplama kriteri, kutunun içine giren bölgenin birden daha fazla aktif bölge içermesi durumunda diğer grubun lekelerini de aynı gruba dahil etmesi bakımından hatalı gruplamalara yol açabilir. Oysa bu tezde kullanılan metod, leke gruplarının önceden belirlenmiş olması nedeniyle kullanıcının yanlış işaretleme yapma olasılığını ortadan kaldırarak, literatürde yer alan Mount Wilson (Howard ve diğ., 1984) ve Kodaikanal Gözlemevleri'nin (Sivaraman ve diğ., 1999) verilerinden daha sıhhatli bir biçimde grup eğiklik açısı ölçümü yapılmasına olanak tanır. Ayrıca bu çalışma şimdiye dek birlikte yayımlanmış ortalama eğiklik açısı ölçüm sonuçları olmayan 22. ve 23. güneş leke çevrimlerini içermesi bakımından farklı bir yere sahiptir. Burada kullanılan yöntemin Kandilli Rasathanesi verilerinin 22. çevrimden önceki çevrimlerine de uygulanması, Mount Wilson/Kodaikanal veritabanları ile kalibrasyonun yapılabilmesi ve bu gözlemevlerinin karşılıklı

denetimi açısından önemli olacaktır. Bu çalışmaların yanısıra, Ökten (1987) İstanbul Üniversitesi Rasathanesi verilerini kullanarak 19. çevrimde gözlenen grupların eğiklik açılarını grup tipine ve helyografal enleme bağlı olarak ölçmüştür. Muneer ve Singh (2002) ise alanla ağırlıklandırma yöntemi ile 22. çevrimin ortalama eğiklik açısını $+4.6^{\circ} \pm 0.4$ olarak hesaplamışlardır.

Tez çalışmasının kapsamındaki verilerle üretilen kelebek diyagramında, leke gruplarının yaklaşık olarak $\pm 40^{\circ}$ enlem aralığında ortaya çıktıkları saptanmıştır. Ayrıca 22. çevrimin sonu ile 23. çevrimin başlangıç zamanı arasında 1-2 yıllık bir örtüşmenin olduğu da gözlenmektedir. Ancak 24. çevrimde 23. çevrim ile örtüşmenin çok daha az miktarda olduğu söylenebilir. Bu durum, 23. çevrimin iniş kolunun beklenenden çok daha uzun sürmesi ile ilişkili olabilir. Aynı kelebek diyagramı, 22. ve 23. çevrimlerde yarıküreler arasında göze çarpan bir asimetri göstermezken 24. çevrimin ilk yarısını kapsayan gözlemler kuzey yarıkürede güney yarıküreye göre önemli ölçüde fazla iki kutuplu leke grubunun ortaya çıktığına işaret etmektedir. Bu durum, Svalgaard ve Kamide (2013)'nin dikkat çektiği gibi çevrimlerde yarıküreler arası faz farkından ileri geliyor olabilir. Svalgaard ve Kamide (2013), Güneş'in her iki kutbundaki manyetik alanların farklı zamanlarda işaret değiştirdiğini ve böylelikle çift maksimumlu bir çevrim gözlendiğini söyleyerek, bu durumun çevrim içindeki kuzey-güney asimetrisi ile doğrudan ilişkili bir biçimde gerçekleştiğini bildirmiştir.

23. çevrimin maksimumunu izleyen yıllarda kutup alanlarının beklenen düzeyde yükselişe geçmeyişi, 24. çevrimin belki de son yüz yılın en zayıf çevrimi olacağı kuşkusuna yol açmıştı (Svalgaard ve diğ., 2005). İzleyen yıllarda doğrulanmış olan bu durum, yaptığımız alan ölçümleri sonucunda da doğrulanmaktadır (Şekil 4.2). Diğer yandan, 23. çevrim sonundaki kutup alanlarının neden bu kadar zayıf olduğu, minimumun neden bu kadar uzun sürdüğü gibi sorular yanıt beklemektedir. Yüzeysel akı taşınım modelleri ile yapılan nümerik simülasyonlar, bu durumun sebebi olarak, 23. çevrimde meridyenel akış hızının ortalama değerlerinin üzerine çıkması veya leke gruplarının ortalama eğiklik açılarının uzun vadeli ortalamanın altında seyretmesi gibi önerileri gündeme getirmiştir (Wang ve diğ., 2009; Nandy ve diğ., 2011; Jiang ve diğ., 2013). Meridyenel akışın ortalama değerlerinde gözlenen değişikliklerin (Hathaway ve Rightmire, 2010) aktif bölgelere doğru meridyenel doğrultuda oluşan akışlardan ileri gelebileceği gösterilmiştir (Cameron ve Schüssler, 2010). Diğer yandan, bu tez

kapsamında Kandilli Rasathanesi verileriyle ölçülen 23. çevrimin ortalama eğiklik açısı da genel ortalamanın altında değil üstünde bir eğilim sergilemiştir. Dolayısıyla kutup alanlarının 23. çevrimin sonunda zayıf olmasını doğuran etkenler henüz aydınlatılamamıştır.

Leke gruplarının alanları ile eğiklik açıları arasındaki ilişkiye bakıldığında, büyük alanlı gruplarda eğiklik açısı saçılmasının küçük alanlılara göre belirgin bir şekilde daha az olduğu göze çarpmaktadır. Bu sonuç, Tlatov ve diğ. (2013) ve De Toma ve diğ. (2013)'nin sonuçları ile tutarlıdır. Büyük alanlı akı tüplerinin daha çok manyetik akı taşıdıkları için konvektif akılarından daha az etkilendikleri düşünülmektedir (Fan, 2009; Weber ve diğ., 2013). Diğer yandan, ortalama eğiklik açısının umbral alanla belirgin bir değişim göstermemesi durumu (Şekil 4.5), çift kutuplu manyetik bölgelerin eğiklik açılarının manyetik akıya bağlılık göstermediği bulguları ile birlikte düşünüldüğünde (Kosovichev ve Stenflo, 2008; Stenflo ve Kosovichev, 2012), ortalama eğiklik açısının, leke gruplarının ortalama manyetik alan şiddetine de bağlı olmadığına işaret etmektedir.

22., 23., ve 24. çevrimin ilk yarısını içeren bu çalışmada, ortalama eğiklik açısının enleme bağlılığını ifade eden Joy Kanunu, önceki çevrimlerin Joy eğiminin ortalamasını inceleyen çalışmalara göre daha yüksek bir eğimle bulunmuştur. Bu farklılık diğer çalışmaların 15-21 çevrimleri gibi geniş bir veri setinin Joy eğiminin ortalamasını hesaplamasından kaynaklanabileceği gibi sistematik ölçüm hatalarından da kaynaklanıyor olabilir. Böyle bir durumun netlik kazanması için 21. çevrimin sonunda biten diğer çalışmalarla örtüşecek biçimde yeni ölçümler yapılmalıdır.

Bu çalışmada, Joy Kanunu incelenirken eğiklik açısının 5'er derecelik enlemsel ortalamalarına lineer regresyon yapılmış, Dasi-Espuig ve diğ. (2010)'nin yaptığı tersine, regresyon doğrusu sifıra zorlanmamıştır (ekvatorda eğiklik açısı sıfır olacak şekilde ayarlanmamıştır). Bu yaklaşım, McClintock ve Norton (2013) tarafından da 15-21. çevrimler için uygulanmıştır. Bu yaklaşımın tercih edilmesi, ekvatora yakın enlem kuşaklarında da olsa eğiklik açısının sifıra yakınsaması gerekliliğinin görülmemesidir. Böylece özellikle küçük leke gruplarının eğiklik açıları üzerinde etkili olan rastlantısal süreçleri dikkate alan bir Joy Kanunu temsili elde edilmiştir. Bu durumda, örneğin ortalama eğiklik açısı farklı olan iki çevrim, aynı Joy eğimine sahip

olabilmektedir. Bu durum, 22. çevrimde kuzey ve güney yarıkürenin Joy eğimleri için söz konusudur (bkz. Şekil 4.10).

Joy eğimi, 23. çevrimde 22. çevrime göre belirgin miktarda daha düşük olarak bulunmuştur (Şekil 4.7). Aradaki fark 3σ düzeyinin üzerindedir. Ancak ortalama eğiklik açılarına bakıldığında 23. çevrimin tüm enlemler üzerinden ortalama eğiklik açısı 22. çevriminkinden büyük olduğu görülmüştür. İki çevrim karşılaştırıldığında eğiklik açılarının aritmetik ortalamaları arasındaki fark 3σ 'nın hemen üzerinde iken, alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açıları için bu fark 3σ 'dan küçük kalmaktadır (Tablo 4.1). Şekil 4.7 dikkatle incelendiğinde, 23. çevrimde ortaya çıkan leke gruplarının eğiklik açıları, alçak enlemlerde 22. çevrimin eğiklik açılarından daha büyük iken, yaklaşık 25 derecenin üzerindeki enlemlerde 22. çevrimin eğiklik açılarından daha küçük olmaya başlamaktadır. 23. çevrimin ardından gelen minimum evre sırasında Güneş'in kutup alanlarının beklenenden çok daha zayıf olması, bu durumla ilişkili olabilir. Yüksek enlemlerde bir önceki çevrime göre düşük eğiklik açıları ile ortaya çıkan leke grupları, yeterli manyetik akının kutuplara taşınmasını engellemiş olabilir. Çünkü küçük eğiklik açıları, leke gruplarının zıt polariteleri arasındaki enlem farkının küçük olmasına; dolayısıyla ekvatoru geçen ve kutuplara aktarılan net akının az olmasına yol açar. Bu çalışma kapsamında yapılan ölçüm ve analizlere dayanarak yapılan bu öneri, Jiang ve diğ. (2013)'nin kuramsal öngörüsünü doğrulayıcı yöndedir. Buna karşın, 23. çevrim boyunca yüksek enlemlerde neden daha küçük eğiklik açılarının ortaya çıktığına ilişkin daha ileri tartışmalar, yeni yapılacak akı taşınım modelleri eşliğinde yapılmalıdır.

Bir güneş leke çevriminin ortalama eğiklik açısının ve ortalama enleminin çevrim şiddetine bağlı olduğu bilinmektedir. Literatürde ilk kez bu çalışmada, eğiklik açısının 22. ve 23. çevrimler için ortalamaları birarada yayımlanmıştır. Bu ortalamalar, ortalama enleme göre normalize edilmiştir. Çünkü bilindiği üzere ortalama enlem, çevrim şiddeti ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu artışa paralel olarak Joy Kanunu'ndan dolayı eğiklik açısı da artmaktadır. Bu durum, eğiklik açısının güçlü bir çevrimde Joy Kanunu'ndan dolayı daha büyük görünmesine yol açar. Dolayısıyla ortalama eğiklik açısındaki sistematik değişikliklerin perdelenmesine neden olur. Ortalama eğiklik açısı ortalama enleme normalize edildiğinde Joy Kanunu'ndan ileri gelen etki ortadan kalkarak eğiklik açısındaki değişiklikler ortaya çıkmış olur.

Tablo 4.1’de verilen ortalama eğiklik açısı değerlerinin Dasi-Espuig ve diğ. (2010) tarafından bulunan ters korelasyonu genel olarak sağladığı görülmektedir. Buna göre çevrim şiddeti arttıkça ortalama eğiklik açısı azalmaktadır. Eğer leke gruplarının eğiklik açılarının, grup alanı ile ağırlıklandırılmış ortalaması alınırsa ortalamanın standart sapmasının düştüğü gözlenmektedir. Bu durumun nedeni, Şekil 4.5’te görüldüğü gibi, eğiklik açısı saçılmasının alan ile birlikte azalmasıdır. Hem bu nedenle, hem de büyük alanlı grupların kutup alanlarına daha fazla katkıda bulunma olasılığından dolayı, bu tür çalışmalarda alanla ağırlıklandırılmış eğiklik açısının kullanılması daha anlamlı olacaktır.

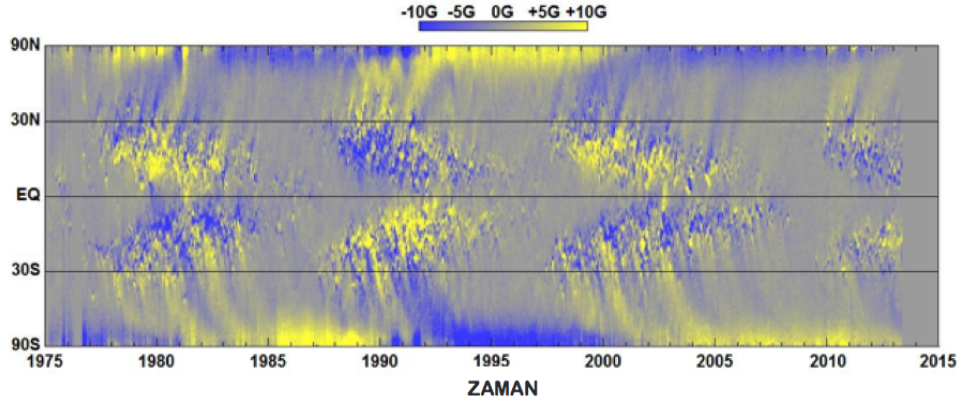
Alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlem ile normalize edilen alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$, Dasi-Espuig ve diğ.’nin (2010, 2013) temel olarak aldığı niceliktir. Mt. Wilson ve Kodaikanal Gözlemevleri’nin 15-21. çevrimler arası verileri için Dasi-Espuig ve diğ.’nin (2010, 2013) ayrı ayrı belirlediği $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ değerlerine Kandilli’nin 22. ve 23. çevrimlerinden elde edilen değerler eklenmiş, böylece daha fazla sayıda nokta üzerinden regresyon yapılmıştır. Böylece Kandilli Rasathanesi verileri ile diğer iki gözlemevinden alınan veriler birleştirilerek, $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ niceliği ile çevrim şiddeti arasında lineer korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. 15-23. çevrimler arasındaki dönemde genel olarak güçlü çevrimlerde küçük, zayıf çevrimlerde büyük eğiklik açısı gözlemlendiği söylenebilir. Bu durum, ortalamanın oldukça üzerinde bir şiddete sahip 19. çevrim için oldukça belirgindir. Bu çalışmada ele alınan 22. ve 23. çevrimler, gerek çevrim şiddeti, gerekse $\langle \alpha_w \rangle / \langle \lambda_w \rangle$ oranı bakımından orta şiddette görünmektedir.

Leke gruplarının eğiklik açısının ortalamada sıfırdan farklı bir değere sahip olması, grubu içeren çift kutuplu manyetik bölgenin karşıt kutuplarının enlemleri arasında sistematik bir ayrıklık olduğu anlamına gelir. Dolayısıyla üst enlemdeki polaritenin manyetik akısı diğerine göre daha baskın bir şekilde kutuplara aktarılır. Böylece Güneş’in kutuplarında var olan manyetik alan, eğiklik açısı ile orantılı bir şekilde azaltılmakta, sıfırlanmakta ve izleyen polaritelerin işareti ile kaplanmaktadır.

Helyosismolojik gözlemlerle, çift kutuplu manyetik bölgelerin daha fazla sayıda ortaya çıktığı yerler olan *aktif kuşaklara* doğru yüzeysel akışların olduğu kanıtlanmıştır (Haber ve diğ., 2002; Švanda ve diğ., 2008). Böylesi akışlar, meridyenel

akış üzerinde bir tedirginliğe yol açmakta ve meridyonel akışların aktif kuşaklara doğru yönelmesine neden olmaktadır. Aktif kuşağa doğru olan meridyonel akışlar nedeniyle eğiklik açısı baskılanırsa, kutuplara giden mutlak manyetik akı azalacak, böylece kutup alanları daha zayıf olacaktır (Jiang ve diğ., 2010). Cameron ve diğ. (2010), bir yüzeysel akı taşınım modeli içerisinde 15-21. çevrimler için gözlemlerden alınan ortalama eğiklik açılarını kullanarak, çevrim minimumundaki kutup alanı ile onu takip eden çevrimin şiddeti arasında belirgin bir pozitif korelasyon olduğunu bulmuştur. Cameron ve Schüssler (2012), daha sonra yine yüzeysel akı taşınım modeli kullanarak, kutup alanlarını ve çevrim şiddetini belirlemede aktif kuşağa doğru akışların önemli bir etken olduğunu ortaya koymuştur. Babcock-Leighton sürecine göre bu kutup alanları bir sonraki çevrimin toroidal alanını oluşturacak şekilde konveksiyon bölgesi içine doğru ilerlemelidir. Jiang ve diğ. (2013b), leke gruplarının gözlenen özellikleri ile beslenen Babcock-Leighton dinamo simülasyonları yaparak kutup alanlarının yeni gelen çevrimin toroidal alanı ile belirgin bir pozitif korelasyon gösterdiğini saptamıştır. Söz konusu çalışmada 15-21. çevrimler arası için ortalama eğiklik açıları da hesaba katılmıştır. Bu bağlamda, 22. ve 23. çevrimlerde gözlenen leke gruplarının ortalama eğiklik açılarının bu tezde verilen ölçümleri, ileride yapılacak yüzeysel akı taşınımı ya da akı taşınım dinamo modellerinde kullanılabilir. Böylece 23. çevrim sonunda kutup alanlarının neden bu kadar zayıf olduğuna da ışık tutulabilecektir. Ayrıca 24. çevrimin gidişatı konusunda yine leke gruplarının gözlenen özellikleri kullanılarak aydınlatıcı modeller yapılabilir.

Eğiklik açısının yarıküreler arasında birbirine göre önemli ölçüde farklı ortalama değerler göstermesi, yukarıda açıklanan durumlar bağlamında önemli olabilir. Hem 22., hem de 23. çevrimde kuzey yarıkürenin ortalama eğiklik açısı, güney yarıküreninkinden yaklaşık 1° kadar büyük bulunmuştur. Bu fark, 3σ düzeyindedir. Benzer bir durum, McClintock ve Norton (2013) tarafından 16-21 arası çevrimler incelenerek de gözlenmiştir (bkz. Tablo 4.3). 16-23. çevrimlerine genel olarak bakıldığında bunların altısında kuzey yarıkürenin ortalama eğiklik açısının daha büyük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.1: Manyetik kelebek diyagramı⁸.

Şekil 5.1, yüzeye dik manyetik alan bileşeninin boylamsal ortalamasının enlem-zaman grafiğini (manyetik kelebek diyagramı) göstermektedir. Leke gruplarının yarıküresel ortalama eğiklik açıları, leke grup alanının yarıküresel asimetrisi ile birlikte ele alınarak bir yüzeysel akı taşınım modeli çerçevesinde incelenebilir. Modelden çıkacak yapay manyetik kelebek diyagramı, Şekil 5.1'deki ile karşılaştırılarak kutup alanlarının neden farklı zamanlarda işaret değiştirdiği açıklanabilir (Svalgaard ve Kamide, 2012).

Tüm bu gözlenen özellikler, (1) yüzeysel akı taşınım modelleri ve (2) Babcock-Leighton tipi akı taşınım dinamo modelleri içerisinde ele alınabilir. Böylece Güneş'in 23. çevrimdeki uzun süren minimumu ile ardından gelen zayıf ve oldukça asimetrik olan 24. çevrimin davranışı daha iyi anlaşılabilir. Böylesi bir amaca yönelik olarak gözlemlerle beslenen bir yüzeysel akı taşınım modeli, Hathaway ve Upton (2013) tarafından yapılmıştır.

Yukarıda ayrıntılı olarak tartışılan bu tez çalışmasının sonuçları özetlenirse;

1) Öncelikle 22. 23. ve 24. çevrimin çıkış kolu için güneş leke gruplarının alanları, konumları ve eğiklik açıları bu büyüklüklerin ölçümü için geliştirilmiş bir program ile ölçülmüştür.

2) Bu ölçümlere dayanarak leke gruplarının ortaya çıktıkları enlemlerin zamanla değiştiği, yaklaşık olarak $\pm 40^\circ$ enlemlerinde ortaya çıkmaya başladıkları ve çevrim boyunca giderek ekvatora yaklaştıkları kelebek diyagramı ile gösterilmiştir.

⁸ (<http://solarscience.msfc.nasa.gov/dynamo.shtml>).

3) Bir çevrim boyunca güneş leke gruplarının sahip olduğu toplam alan çevrimden çevrime değişmektedir. Kandilli Rasathanesi verileriyle ölçülen güneş leke gruplarının toplam alanının zamanla değişimi söz konusu çevrimler için gösterilmiş ve diğer gözlemleriyle olan farklarının olası nedenleri ortaya konmuştur.

4) Güneş leke gruplarının eğiklik açıları, umbral alanlar ile belirgin bir değişim göstermemektedir. Fakat eğiklik açısındaki saçılma; leke gruplarının alanları arttıkça belirgin ölçüde azalmakta, küçük alanlı lekelerle doğru gidildikçe ise oldukça artmaktadır.

5) [1986-2012] yılları arası (22. ve 23. çevrim ile 24. çevrimin çıkış kolu) için hesaplanan Joy eğimi, 15-21 arasındaki çevrimler için başka gözlemlerinin bulmuş olduğu eğim değeri sonuçlarından daha yüksek çıkmıştır.

6) Çevrimlerin Joy eğimleri tek tek incelendiğinde 22. çevrimin eğiminin 23. çevrimin eğiminden büyük olduğu bulunmuştur.

7) Daha şiddetli olduğu bilinen 22. çevrimde güneş leke gruplarının ortaya çıktıkları ortalama enlemler ve alanla ağırlıklandırılmış ortalama enlemler, zayıf bir çevrim şiddetine sahip olduğu bilinen 23. çevrimden daha büyük olarak bulunmuştur. Dolayısıyla herhangi bir çevrimde gözlenen leke gruplarının ortalama enleminin, çevrim şiddeti ile doğru orantılı olarak arttığı bilgisi doğrulanmıştır.

8) İncelenen çevrimlerin ortalama eğiklik açılarının, çevrim şiddeti ile belirgin bir şekilde ters korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Daha büyük bir çevrim şiddetine sahip olan 22. çevrimin ortalama eğiklik açısı ve alanla ağırlıklandırılmış ortalama eğiklik açısı 23. çevrime ait değerlerden daha küçük bulunmuştur.

9) Kandilli Rasathanesi verileri kullanılarak hesaplanan ortalama enlem ile normalize edilmiş ortalama eğiklik açısı değerleri, Mount Wilson ve Kodaikanal Gözlemleri için bulunanlar ile uyumlu şekilde değişim göstermektedir.

10) Bir çevrimin kuzey ve güney yarıkürelerinin sahip olduğu ortalama eğiklik açılarının birbirleriyle farklılık gösterebileceği bulunmuştur. Bu çalışma ile 22. ve 23. çevrimde kuzey yarıkürelerin ortalama eğiklik açısı güney yarıkürelerden yaklaşık 1° büyük olarak hesaplanmıştır.

11) Kuzey ve güney yarıkürelerin sahip olduğu Joy eğimi 22. evrim için hemen hemen aynı iken, 23. evrimde kuzey yarıkürenin Joy eğiminin biraz daha büyük olduğu grlmştir.

Bu tez çalışmasında kullanılan bazı niceliklerin netlik kazanması için 21. evrimin sonunda biten diğer çalışmalarla örtüşecek biçimde yeni ölçümler yapılmalıdır. [1986-2012] yılları için ölçülen bu niceliklerin, veri tabanı geriye doğru genişletilerek Mt. Wilson ve Kodaikanal Gzlemevlerinin verileri ile karşılaştırma yapılması düşünülmektedir. Ayrıca, 22-24. Çevrimlerin eğiklik açıları, Debrecen Gözlemevi'nin fotografik tabanlı verilerinde de bulunmaktadır, ancak bunlar henüz yayımlanmamıştır. Kandilli Rasathanesi eğiklik açılarının bu veri tabanı ile de karşılaştırılması yakın gelecekte planlananlar arasındadır.

KAYNAKLAR

- Babcock, H.W., 1961, The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle, *The Astrophysical Journal*, 133, 572-587.
- Caligari, P., Moreno-Insertis, F., Schussler, M., 1995, Emerging flux tubes in the solar convection zone, 1: Asymmetry, tilt, and emergence latitude, *Astrophysical Journal*, vol. 441, no. 2, p. 886-902.
- Cameron, R., Schussler, M., 2010, Changes of the Solar Meridional Velocity Profile During Cycle 23 Explained by Flows Toward the Activity Belts, *The Astrophysical Journal*, Volume 720, Issue 2, pp. 1030-1032.
- Cameron, R., Schussler, M., 2012, Are the strengths of solar cycles determined by converging flows towards the activity belts? *Astronomy & Astrophysics*, Volume 548, id.A57, 7 pp.
- Chowdhury, P., Choudhary, D. P., Gosain, S., 2013, A Study of the hemispheric asymmetry of sunspot area during Solar Cycles 23 and 24, *The Astrophysical Journal*, Volume 768, Issue 2, article id. 188, 10 pp.
- Dasi-Espuig, M., Solanki, S. K., Krivova, N. A., Cameron, R., Penuela, T., 2010, Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 518, id a7, 10 pp.
- Dasi-Espuig, M., Solanki, S. K., Krivova, N. A., Cameron, R., Penuela, T., 2013, Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle (Corrigendum), *Astronomy and Astrophysics*, Volume 556, id.C3, 1 pp.
- De Toma, G., Chapman, G.A., Preminger, D.G., Cookson, A.M., 2013, Analysis of Sunspot Area over Two Solar Cycles, *The Astrophysical Journal*, Volume 770, Issue 2, article id. 89, 13 pp.
- Fan, Y., 2009, Magnetic Fields in the Solar Convection Zone, *Living Rev. Solar Phys.*
- Fisher, G.H., Fan, Y., Howard, R.F., 1995, Comparisons between theory and observation of active region tilts, *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 438, no. 1, p. 463-471.
- Haber, D.A., Hindman, B.W., Toomre, J., Bogart, R.S.; Larsen, R.M., Hill. F., 2002, Evolving submerged meridional circulation cells within the upper convection zone revealed by ring-diagram analysis, *The Astrophysical Journal*, Volume 570, Issue 2, pp. 855-864.
- Hale, G.E., Ellerman, F., Nicholson, S.B., Joy, A.H., 1919, The Magnetic Polarity of Sun-Spots, *Astrophysical Journal*, vol. 49, p.153

- Hathaway, D., 2010, 'The Solar Cycle', *Living Rev. Solar Phys.* 7.
- Hathaway, D., Rightmire, L., 2010, Variations in the Sun's Meridional Flow over a Solar Cycle, *Science*, Volume 327, Issue 5971, pp. 1350- (2010).
- Hathaway, D., Upton, L., 2013, Predicting the Sun's Polar Magnetic Fields with a Surface Flux Transport Model, *Astrophysical Journal*, Basımda, eprint arXiv:1311.0844.
- Howard, R. F., Gilman, P. I., Gilman, P. A., 1984, Rotation of the sun measured from Mount Wilson white-light images, *Astrophysical Journal*, Part 1 (ISSN 0004-637X), vol. 283, Aug. 1, 1984, p. 373-384.
- Jiang, J., Cameron, R., Schmitt, D., Schüssler, M., 2013a, Can Surface Flux Transport Account for the Weak Polar Field in Cycle 23? *Space Science Reviews*, Volume 176, Issue 1-4, pp. 289-298.
- Jiang, J., Cameron, R., Schmitt, D., Işık, E., 2013b, Modeling solar cycles 15 to 21 using a flux transport dynamo, *Astronomy & Astrophysics*, Volume 553, id.A128, 6 pp.
- Jiang, J., Işık, E., Cameron, R., Schmitt, D., Schüssler, M., 2010, The Effect of Activity-related Meridional Flow Modulation on the Strength of the Solar Polar Magnetic Field, *The Astrophysical Journal*, Volume 717, Issue 1, pp. 597-602 (2010).
- Kosovichev, A. G., Stenflo, J. O., 2008, Tilt of Emerging Bipolar Magnetic Regions on the Sun, *The Astrophysical Journal*, Volume 688, Issue 2, pp. L115-L118.
- Leighton, R.B., 1969, A magneto-kinematic model of the solar cycle, *The Astrophysical Journal*, Vol. 156, p.1
- Mackay, D., Yeates, A., 2012, The Sun's Global Photospheric and Coronal Magnetic Fields: Observations and Models, *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 9 no.6
- Mcclintock, B.H., Norton, A.A., 2013, Recovering Joy's Law as a Function of Solar Cycle, Hemisphere, and Longitude, *Solar Physics*, Volume 287, Issue 1-2, pp. 215-227
- Muneer, S., Singh, J., 2002, Nature of Tilt Angles of Sunspot Groups During the 22nd Solar Cycle, *Solar Physics*, v. 209, Issue 2, p. 321-331 (2002).
- Nandy, D., Munoz-Jaramillo, A., Martens, P.C.H., 2011, The Unusual Minimum of Sunspot Cycle 23 Caused by Meridional Plasma Flow Variations, *Nature*, Vol. 471, Issue 7336, p. 80-82.
- Ökten, A., 1987, The Inclination of the Axes of the Bipolar Sunspot Groups According to the Solar Equator, *Publications of the Istanbul University Observatory*, Number:144

- Petrovay, K., 2010, Solar Cycle Prediction, *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 7, no. 6.
- Rachel, H., 2009, Solar Interior Rotation and its Variation, *Living Reviews in Solar Physics*, Vol. 6, no. 1
- Rieutord, M., Rincon, F., 2010, The Sun's Supergranulation, *Living Reviews in Solar Physics*, vol. 7, no. 2
- Sivaraman, K.R., Gupta, S.S., Howard, R.F., 1999, Measurement of Kodaikanal white-light images - IV. Axial Tilt Angles of Sunspot Groups, *Solar Physics*, V. 189, Issue 1, p. 69-83 (1999).
- Schrijver, C. J., Zwaan, C., 2000, Solar and Stellar Magnetic Activity, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 0-521-58286-5
- Solanki, S.K., 2003, Sunspots: An Overview, *The Astronomy and Astrophysics Review*, Volume 11, Issue 2-3, pp. 153-286.
- Solanki, S.K., Inhester, B., Schüssler, M., 2006, The solar magnetic field, *Reports on Progress in Physics*, Volume 69, Issue 3, pp. 563-668 (2006).
- Stenflo, J. O., Kosovichev, A. G., 2012, Bipolar Magnetic Regions on the Sun: Global Analysis of the SOHO/MDI Data Set, *The Astrophysical Journal*, Volume 745, Issue 2, article id. 129, 12 pp.
- Stix, M. 2002, The Sun, Springer, Berlin, ISBN: 3-540-42886-0.
- Svalgaard, L., Cliver, E.W., Kamide, Y., 2005, Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? *Geophysical Research Letters*, Volume 32, Issue 1, CiteID L01104.
- Svalgaard, L., Kamide, Y., 2013, Asymmetric Solar Polar Field Reversals, *The Astrophysical Journal*, Volume 763, Issue 1, article id. 23, 6 pp.
- Švanda, M., Kosovichev, A.G., Zhao, J., 2008, Effects of Solar Active Regions on Meridional Flows, *The Astrophysical Journal*, Volume 680, Issue 2, pp. L161-L164.
- Thomas, J.H., Weiss, N.O., 2008, Sunspot and Starspots, Cambridge University Press, Cambridge, ISBN: 978-0-521-86003-1.
- Tlatov, A., Illarionov, E., Sokoloff, D., Pipin, V., 2013, A new dynamo pattern revealed by the tilt angle of bipolar sunspot groups, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 432, Issue 4, p.2975-2984.
- Wang, Y.-M., Robbrecht, E., Sheeley, N. R., JR., 2009, On the Weakening of the Polar Magnetic Fields during Solar Cycle 23, *The Astrophysical Journal*, Volume 707, Issue 2, article id. 1372-1386.

Weber, M.A., Fan, Y., Miesch, M.S., 2013, Comparing Simulations of Rising Flux Tubes Through the Solar Convection Zone with Observations of Solar Active Regions: Constraining the Dynamo Field Strength, *Solar Physics*, Volume 287, Issue 1-2, pp. 239-263.

ÖZGEÇMİŞ

Fotoğraf

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Seda IŞIK
Uyruğu	T.C.
Doğum tarihi, Yeri	25.02.1984, Birecik
E-mail	seda.isik@boun.edu.tr

Eğitim

Derece	Kurum/Anabilim Dalı/Programı	Yılı
Yüksek Lisans	İstanbul Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2013
Lisans	Ege Üniversitesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü	2009
Lise	Avcılar Süleyman Nazif Anadolu Lisesi	2002