

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UMBRAL DOT PARAMETRELERİNİN
GÜNEŞ LEKE MANYETİK ALANI İLE İLİŞKİSİ**

Muhammed Ali ÇALIŞIR

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

HAZİRAN 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**UMBRAL DOT PARAMETRELERİNİN
GÜNEŞ LEKE MANYETİK ALANI İLE İLİŞKİSİ**

Muhammed Ali ÇALIŞIR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZİRAN 2024

ANTALYA

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

**UMBRAL DOT PARAMETRELERİNİN
GÜNEŞ LEKE MANYETİK ALANI İLE İLİŞKİSİ**

**Muhammed Ali ÇALIŞIR
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez “Umbral Dot Parametrelerinin Güneş Leke Manyetik Alanı ve
Morfolojisine Bağlılığı” isimli TÜBİTAK projesi tarafından 122F004 nolu proje ile
desteklenmiştir.**

HAZİRAN 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UMBRAL DOT PARAMETRELERİNİN
GÜNEŞ LEKE MANYETİK ALANI İLE İLİŞKİSİ

Muhammed Ali ÇALIŞIR
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 24/06/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KILÇIK
Doç. Dr. Murat KAPLAN
Doç. Dr. Zahide Funda BOSTANCI GÜVER

ÖZET

UMBRAL DOT PARAMETRELERİNİN GÜNEŞ LEKE MANYETİK ALANI İLE İLİŞKİSİ

Muhammed Ali ÇALIŞIR

Yüksek Lisans Tezi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Haziran 2024; 62 sayfa

Güneş lekeleri Güneş'te manyetik alanın yoğunlaştığı bölgelerdir. Manyetik alan leke içindeki ve çevresindeki fiziksel koşulları kontrol eder ve başta leke umbrasında gözlenen umbral noktalar (UD'ler) olmak üzere çeşitli ince yapılar üretir. Bu tez çalışmasında Big Bear Güneş Gözlemevi'ndeki Goode Solar Telescope (GST) arşiv verilerinden 2013-2022 yıllarını kapsayan 18 Güneş leke verisi seçilmiştir. UD'lerin fiziksel parametreleri (parlaklık, çap, eksentirisite, yaşam süresi ve dinamik hız) hesaplanmıştır. Literatürde UD parametrelerinin birbirleri ile ilişkisi yaygın şekilde çalışılmış olmasına rağmen UD parametreleri ve umbral manyetik alan arasındaki ilişkiye dair sadece birkaç çalışma bulunmaktadır. Literatürdeki bu eksiği bir ölçüde giderebilmek için bu tez kapsamında her bir lekede gözlenen UD'lere ait fiziksel parametrelerin umbral manyetik alanla ilişkisi araştırılmıştır. Manyetik alan ölçümleri GST/Near InfraRed Imaging Spectropolarimeter (NIRIS) ile Solar Dynamics Observatory (SDO)/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) olmak üzere iki farklı alete ait gözlemlerden elde edilmiştir. Manyetik alan şiddeti ve UD parametrelerinin iki farklı yöntem (manuel ve otomatik) kullanılarak detaylı analizi yapılmış ve UD'lerin manyetik alanla ilişkisi net bir şekilde ortaya çıkarılmıştır. Görüntü işleme teknikleri, parçacık bulma ve takip algoritmaları, regresyon ve Pearson korelasyon analizi kullanılan başlıca metodlardır. Çalışmalar sonucunda; i) UD fiziksel parametrelerinin aralıkları: çap 92.17 - 246.53 km, eksentirisite 0.02 - 0.65, yaşam süresi 0.75 - 120.00 dakika ve dinamik hız 0.01 - 3.80 km/s olarak bulunmuştur, ii) şiddet-çap ve çap-eksentirisite çiftleri en yüksek korelasyon derecesini gösterirken, en düşük korelasyon çap-yaşam süresi ilişkileri için tespit edilmiştir, iii) Güneş leke umbrasında manyetik alanın şiddeti arttıkça aynı konumda gözlenen ortalama UD parlaklıklarının azaldığı sonucu elde edilmiştir, iv) hesaplanan diğer UD fiziksel parametreleri (ortalama UD çap ve eksentirisite) değerlerinin hem NIRIS hem de HMI verilerinde aynı konumdaki manyetik alan şiddeti ile belirgin bir ilişki göstermediği sonucu elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Güneş lekeleri, Güneş leke umbrası, Umbral nokta fiziksel parametreleri, Umbral nokta manyetik alanı

JÜRİ: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Doç. Dr. Murat KAPLAN

Doç. Dr. Zahide Funda Bostancı GÜVER

ABSTRACT

RELATIONSHIP OF UMBRAL DOT PARAMETERS WITH SUNSPOT MAGNETIC FIELD

Muhammed Ali ÇALIŞIR

MSc Thesis in Space Science and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Haziran 2024; 62 pages

Sunspots are the regions of the sun where the magnetic field is concentrated. Magnetic field controls the physical conditions in and around sunspots and produces a variety of fine structures, notably umbral dots (UDs), observed in the sunspot umbra. In this thesis study, 18 sunspot data covering the years 2013-2022 were selected from the archive data of the Goode Solar Telescope (GST) at the Big Bear Solar Observatory. The physical parameters of UD (brightness, diameter, eccentricity, lifetime and dynamic velocity) were calculated. Although the relationship between UD parameters has been extensively studied in literature, there are only a few studies on the relationship between UD parameters and umbral magnetic field. In order to fill this gap in literature to some extent, within the scope of this thesis, relationship between the physical parameters of the UD observed in each sunspot and umbral magnetic field was investigated. Magnetic field measurements were obtained from observations of two different instruments: GST/Near InfraRed Imaging Spectropolarimeter (NIRIS) and Solar Dynamics Observatory (SDO)/Helioseismic and Magnetic Imager (HMI). Magnetic field intensity and UD parameters were compared with two different methods (manual and automatic) and analyzed in detail, and relationship of UD with the magnetic field was clearly revealed. Image processing techniques, particle detection and tracking algorithms, regression and Pearson correlation analysis are main methods used. As a result of the studies; i) The ranges of UD physical parameters were found to be: diameter 92.17 - 246.53 km, eccentricity 0.02 - 0.65, lifetime 0.75 - 120.00 minutes and dynamic velocity 0.01 - 3.80 km/s, ii) Intensity-diameter and diameter-eccentricity pairs showed the highest degree of correlation while lowest correlation was determined for diameter-lifetime relationships, iii) It has been concluded that as the intensity of the magnetic field increases in the sunspot umbra, the mean UD brightness observed at the same location decreases, iv) It was concluded that other calculated UD physical parameters (mean UD diameter and eccentricity) values did not show a significant relationship with magnetic field intensity at the same location in both NIRIS/HMI data.

KEYWORDS: Sunspot, Sunspot Umbra, Umbral Dot Physical Parameters, Umbral Dot Magnetic Field

COMMITTEE: Prof. Dr. Ali KILÇIK

Assoc. Prof. Murat KAPLAN

Assoc. Prof. Zahide Funda Bostancı GÜVER

ÖNSÖZ

Güneş bize en yakın ve yüzey gösteren bir yıldızdır. Bu özelliği sayesinde yüksek çözünürlüklü gözlemler yoluyla Güneş yüzeyi ve yüzey altı hakkında ayrıntılı çalışmalar yapmamıza olanak sağlar. Dolayısıyla da diğer yıldızlar hakkında bilgi edinebilmek için doğal bir laboratuvar görevi görür. Her ne kadar teknoloji ilerlemiş olsa da bir yıldızdaki fiziksel koşulları Dünya'daki bir laboratuvarla elde etmek çok zordur. Güneş Dünya'daki hayatın temel kaynağıdır. Canlılığın var olmasını ve devam etmesini sağlamaktadır. Güneş ve Güneş yüzeyinde gözlenen yapıların fiziksel özelliklerinin ve dinamiklerinin anlaşılması diğer yıldızların daha iyi anlaşılmasına ciddi katkı sağlayacaktır. Bu tez çalışmada, Güneş lekelerinde gözlenen umbral dot (UD) yapılarının fiziksel parametreleri, birbirleriyle ilişkileri ve leke manyetik alanı ile ilişkisi araştırılmıştır.

İlk olarak, bu tez çalışmasının şekillenmesinde ve doğru bir araştırmanın nasıl yapılacağı konusundaki rehberliği için sayın danışmanım Prof. Dr. Ali KILÇIK'a derin bir minnettarlık duyuyorum. Sabrı, bilgeliği ve sonsuz desteği, bu çalışmanın her adımında beni cesaretlendirdi ve yönlendirdi. Onun samimi ilgisi ve öğretici yaklaşımı, bu tezin başarılı bir şekilde tamamlanmasına büyük katkı sağladı. Kendisi, sadece bir akademisyen değil, aynı zamanda bir mentor ve dost olarak, benim akademik ve kişisel gelişimime değerli katkılar sunmuştur. Her zaman yanımda olduğu için kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Prof. Dr. Vasyl YURCHYSHYN'e, (ABD New Jersey Teknoloji Enstitüsü/Big Bear Güneş Gözlemevi) tez çalışmam için verilerin hazırlanması ve tarafıma gönderilmesi için gösterdiği özenli çalışma için minnettarlık duyuyorum. Kendisinin analiz sürecindeki yardımları, bu çalışmanın başarısında önemli bir rol oynamıştır. Uzmanlığı, destekleyici yaklaşımı ve değerli katkıları için kendisine içtenlikle teşekkür ederim.

Ders dönemim boyunca özellikle danışmanım olmak üzere bölümdeki ders aldığım akademisyen hocalarıma ayrıca teşekkür etmek istiyorum. Teorik bilgilerin yanı sıra uzay bilimlerine olan merakımı giderek arttırmaları benim için ayrıca motivasyon kaynağı olmuştur. Bu süre zarfında yanımda olan dostlarıma, beraber ders aldığım arkadaşlarıma birlikte sıkıntı ve mutluluklarımı paylaştıkları ve öğrenim hayatım boyunca destek oldukları için hepsine tek tek teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım yoğun süreçlerle geçse de tezimi derin bir tutku ve büyük bir özveriyle tamamladım. Tez çalışmam, Güneş fiziği alanına önemli katkılar sağlamış olmanın yanı sıra, deneyimlerimi artırmam ve motivasyonumu güçlendirmem için ek bir kaynak sunmuştur. Bu kaynağın güçlenmesi ve ilerlemesinde hep yanımda olan aileme başarının her adımında yalnız bırakmadıkları için ne kadar teşekkür etsem de tarifsiz bir minnet borçluyum.

Umuyorum ki bu çalışma, Güneş fiziği alanındaki bilimsel keşiflere katkıda bulunur ve okuyuculara ilham verir.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Güneş.....	4
2.2. Manyetik Alan, Güneş Lekesi ve Umbral Nokta (Umbral Dot - UD)	6
2.3. UD Fiziksel Parametreleri	12
2.4. UD Fiziksel Parametreleri Arasındaki İlişkiler	14
2.5. UD Fiziksel Parametrelerinin Leke Manyetik Alanı ile ilişkisi	14
3. MATERYAL VE METOT	16
3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler	16
3.2. Yöntemler ve Analizler	18
3.2.1. Görüntülerin Analize Hazırlanması	18
3.2.2. UD'lerin Tespiti, Takibi ve Parametrelerinin Elde Edilmesi	22
3.2.3. UD Parametrelerinin Lekenin Manyetik Alanı ile İlişkisinin Araştırılması	26
3.2.4. UD'lerin CUD ve PUD olarak ayrılması.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1. UD'lerin Tespiti, Takibi ve Parametrelerinin Elde Edilmesi ve Birbirleriyle Karşılaştırılması.....	35
4.2. UD Fiziksel Parametrelerinin Lekenin Manyetik Alanı ile İlişkisi.....	39
6. SONUÇLAR	56
7. KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Umbral Dot Parametrelerinin Güneş Leke Manyetik Alanı ile İlişkisi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16/07/2024

Muhammed Ali ÇALIŞIR

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Å	: Angstrom
C	: Karbon
Ca	: Kalsiyum
Fe	: Demir
G	: Gauss
H	: Hidrojen
K	: Kelvin (Sıcaklık)
K	: Potasyum (Element)
Km	: Kilometre
M	: Ayırma matrisi katsayısı
Mm	: Megametre
m	: Metre
N	: Küme sayısı
nm	: Nanometre
O	: Oksijen
s	: Saniye
Si	: Silisyum
φ	: Enlem
°	: Derece
"	: Yay saniyesi
.	: Nokta (ondalık ayracı)

Kısaltmalar

AR	: Active Region
BBSO	: Big Bear Solar Observatory

CCD : Charged Coupling Devices

CRISP : CRisp Imaging Spectro-Polarimeter

CUD : Central Umbral Dot (Merkezi Umbral Nokta)

FCM : Fuzzy C-Means

FFT : Fast Fourier Transform

FOV : Field of view

GST : Goode Solar Telescope

HMI : Helioseismic and Magnetic Imager

IQR : Interquartile Range (Çeyrekler Açıklığı)

LB : Light bridges (Işık Köprüleri)

MDI : Michelson Doppler Imager

NIRIS : Near InfraRed Imaging Spectropolarimeter

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

NVST : New Vacum Solar Telescope

p-p : proton-proton

PUD : Peripheral Umbral Dot (Çevresel Umbral Nokta)

SDO : Solar Dynamics Observatory

SOT : Solar Optical Telescope

SOLIS : Synoptic Optical Long-Term Investigations of the Sun

TiO : Titanyum Oksit

UD : Umbral Dot (Umbral Nokta)

WSO : Wilcox Solar Observatory

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Güneş'in iç yapısı ve atmosferi	6
Şekil 2.2. Son üç Güneş çevrimi boyunca kutupsal manyetik alan şiddetlerindeki değişim gösterilmektedir. Şekil, Wilcox Solar Observatory (WSO) manyetik alan verileri kullanılarak oluşturulmuştur ve www.solarcyclescience.com adresinden alınmıştır	7
Şekil 2.3. 23 Nisan 2024 tarihi için SDO/HMI 6173 Å dalga boyunda tüm disk Güneş görüntüsü. 20 aktif bölge görülmektedir. Şekil https://www.solarmonitor.org adresinden alınmıştır.....	9
Şekil 2.4. Manyetik Kelebek Diyagramı. Şekil, D.H. Hathaway tarafından çizilmiştir ve www.solarcyclescience.com adresinden alınmıştır.....	9
Şekil 2.5 Şekil 2.4'ün yakınlaştırılmış hali. Şekil https://www.solarmonitor.org adresinden alınmıştır	10
Şekil 2.6. Bir Güneş lekesinin filamentli penumbrasındaki manyetik alanın birbirleriyle keşisen tarak yapısını gösteren çizim ((Thomas vd. 2002, Eric Priest'in katkılarıyla), Weiss vd. 2004)	10
Şekil 2.7. NOAA AR12770 aktif bölge numaralı gelişmiş bir Güneş lekesinin umbra, penumbra ve umbrada gözlenen umbral parlak noktalar (UD'ler). Görüntü BBSO'daki GST teleskobu ile 08.08.2020 tarihinde TİO filtresi kullanılarak alınmıştır	11
Şekil 2.8. Güneş leke manyetik alanlarının yüzey altı yapısının monolitik (a) ve küme (b) modellerinin çizimi (Thomas ve Weiss 1992'den uyarlanmıştır. Solanki (2003)).....	12
Şekil 3.1. NOAA AR 12770 Güneş lekesinin zamansal değişim grafiği	18
Şekil 3.2. 24.01.2022 tarihli NOAA AR 12934 Güneş leke verisi zaman profili	20
Şekil 3.3. NOAA AR 12770 için ana görüntüdeki büyük umbranın (üst panel) ve küçük umbranın (alt panel) seçimi ve seçilen bu kısımların tüm görüntüden çıkarılarak ayrılması.....	21
Şekil 3.4. NOAA AR 12770 büyük umbra (üst panel) ve küçük umbra (alt panel) için çizdirilmiş histogram.....	23
Şekil 3.5. 08.08.2020 tarihli NOAA AR 12770 Güneş lekesine ait büyük umbra için ortalama parametrelerin parlaklık, çap, eksentrisite, yaşam süresi ve dinamik hız değerlerinin dağılımları	24
Şekil 3.6. Üst panel: NOAA AR 12770 büyük umbra için ortalama dinamik hız değerlerinin dağılımı (box plot uygulamadan önce). Alt panel: NOAA AR 12770 büyük umbra için box plot yaklaşımı uygulandıktan sonraki ortalama dinamik hız değerlerinin dağılımı	26
Şekil 3.7. NOAA AR 12384 Güneş lekesinde umbra, penumbra ve sakin Güneş bölgeleri için 50x50 piksellik kutucukların konumları	28

Şekil 3.8. NOAA AR 12384 Güneş lekesi için hesaplanan oran kullanılarak umbranın seçimi (sol panel) ve seçilen bu kısmın tüm görüntüden çıkarılarak ayrılması (sağ panel)	29
Şekil 3.9. NOAA AR 12384 Güneş lekesine bandpass uygulanması (sol panel) ve manuel olarak UD'lerin seçilmesi (sağ panel: kırmızı renkli artı işaretler).....	30
Şekil 3.10. NOAA AR 12384 Güneş lekesine bandpass uygulanması (sol panel) ve otomatik kodla UD'lerin seçilmesi (sağ panel: beyaz daireler)	31
Şekil 3.11. TiO (sol panel) görüntüsünden manuel olarak tespit edilen UD'lerin NIRIS (orta panel) ve HMI (sağ panel) görüntülerinde konumlandırılması. Üst panel manuel yaklaşım, alt panel ise otomatik yaklaşım sonuçlarını göstermektedir.....	31
Şekil 3.12. Üst Panel: NOAA AR 12384 Güneş lekesi için UD parlaklık histogramı. Turkuaz çizgiler örtüşme bölgesinin alt-üst sınırını göstermektedir. Alt panel: NOAA AR 12384 Güneş lekesi için FCM yönteminin uygulanması sonucu elde edilen dağılım grafiğini göstermektedir (CUD:siyah noktalar, PUD:kırmızı noktalar, Örtüşme Bölgesi UD'ler: turkuaz daireler).....	34
Şekil 4.1. NOAA AR 12770'in büyük umbrada tespit edilen UD parametreleri arasındaki ilişkiler	35
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan tüm lekeler için manuel ve otomatik yaklaşım kullanılarak ortalama UD parlaklığı ile aynı konumdaki ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS ve HMI için) arasındaki ilişkiler.....	43
Şekil 4.3. Ortalama UD çapı/eksentrisitesi ile ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS ve HMI) verilerinin birbirine göre değişimi.....	46
Şekil 4.4. CUD ve PUD'ların manyetik alanla ilişkisi (NIRIS ve HMI için).....	47
Şekil 4.5. CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir	49
Şekil 4.6. Şekil 4.5'in devamı (CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir)	50
Şekil 4.7. Şekil 4.5'in devamı (CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir)	51
Şekil 4.8. Çalışmada kullanılan lekelerde ölçülen NIRIS ve HMI manyetik alan verilerinin birbirleri (üst panel) ve umbral alan ile karşılaştırılması (alt panel).	52
Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan tüm lekelerde gözlenen ortalama UD parametrelerinin söz konusu umbralarda ölçülen ortalama manyetik alan ile ilişkisi.....	54

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan Güneş lekeleri	17
Çizelge 3.2. UD fiziksel parametrelerinin elde edilmesi aşamasında kullanılan Güneş lekeleri.....	19
Çizelge 3.3. Tüm lekeler için umbra, penumbra ve sakin Güneş bölgeleri parlaklık değerleri.....	29
Çizelge 3.4. Manyetik alan analizinde kullanılan tüm lekelere manuel yaklaşımda FCM yönteminin uygulanması sonucu elde edilen sınır değerleri.....	33
Çizelge 4.1. Bölüm 3.2.1 kapsamında analiz edilen tüm Güneş lekeleri için bulunan fiziksel parametreleri ve Maksimum (Maks), Ortalama (Ort) ve Minimum (Min) değerleri	36
Çizelge 4.2. Ortalama UD parametreleri için hesaplanan korelasyon katsayıları. Çizelgede anlamsız korelasyon katsayıları italik ve farklı renkte (kırmızı) gösterilmiştir	37
Çizelge 4.3. Çalışma kapsamında kullanılan Güneş lekelerine ait manuel ve otomatik yaklaşım sonucu elde edilen ortalama UD parlaklığı ve aynı konumdaki ortalama manyetik alan (NIRIS ve HMI) şiddetleri.....	40
Çizelge 4.4. Manuel/otomatik yaklaşımla elde edilen ortalama UD parlaklığı ile aynı konumdaki ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS-HMI) arasındaki korelasyonlar	43
Çizelge 4.5. Manuel yaklaşımla tespit edilen CUD ve PUD'ların ortalama parlaklık ve manyetik alan şiddetleri	48
Çizelge 4.6. Manuel yaklaşımla tespit edilen CUD ve PUD'ların ortalama parlaklık ve manyetik alan şiddetleri arasındaki korelasyon katsayıları.....	48
Çizelge 4.7. Manyetik alan analizinde kullanılan Güneş lekeleri listesi ve karşılaştırılan UD parametreleri	53

1. GİRİŞ

Güneş fiziğinin daha iyi araştırılması için kullanılan astronomik gözlem aletleri ve yöntemleri teknolojinin gelişmesiyle beraber ciddi şekilde ilerlemektedir. Güneş'in fiziksel özelliklerini anlamamıza yardımcı olan Güneş lekelerindeki ince yapıların eşzamanlı ve yüksek çözünürlüklü analizlerin yapılması geçmiş yıllarda pek mümkün değildi. Teknolojinin ilerlemesiyle Güneş lekelerinin iç kısmındaki ince yapıların incelenmesi, lekelerin fiziksel özelliklerinin daha iyi anlaşılması açısından kritik önem kazanmıştır.

Güneş diski üzerinde gözlenen, civarına göre daha soğuk ve manyetik alanın yoğunlaştığı bölgeler Güneş lekeleri olarak tanımlanır. Gelişmiş bir Güneş lekesi, leke merkezinde yer alan umbra ve umbrayı çevreleyen, umbraya kıyasla daha açık görünen penumbradan oluşur. Güneş lekeleri, literatürde en yaygın kullanılan Güneş aktivite göstergesidir ve Güneş aktivitesindeki değişikliklerin Dünya ve yakın uzay çevresi üzerinde ciddi etkileri olduğu da bilinmektedir. Bu etkinin başlangıç noktası olarak Güneş'in manyetik alanı büyük pay sahibidir. Manyetik alanlar, Güneş'in yüzeyindeki dinamiklerde önemli değişikliklere neden olabilir. Örneğin, Güneş patlamaları, koronal kütle atılımları ve diğer aktif Güneş olaylarının habercisi veya tetikleyicisi olabilir. Dolayısıyla, Güneş lekelerinin manyetik aktivitesini anlamak, Güneş aktivitesinin uzay hava koşulları ve Dünya'ya etkilerini öngörmek açısından önemlidir ve bu durum, Güneş lekelerinin özelliklerinin çok daha iyi anlaşılmasını gerekli kılmaktadır. Güneş lekelerinin izlenmesi ve anlaşılması, uzay hava tahminleri ve uzay araçlarının güvenliği için de ayrıca önemlidir.

Güneş lekeleri çok güçlü manyetik alanlara sahiptir ve bu yapılardaki manyetik alan ortalama 1000 G (Gauss) mertebesinde. Leke dışındaki Güneş yüzeyi ise yaklaşık birkaç Gauss'luk manyetik alana sahiptir (Bhowmik vd. 2023). Bir Güneş lekesinde manyetik alanın en fazla yoğunlaştığı bölge leke umbrasıdır. Bu güçlü manyetik alan lekenin içindeki ve çevresindeki fiziksel koşulları kontrol eder ve başta umbral parlak noktalar (UDs, en belirgin ince yapılardan biridir), olmak üzere leke umbrasında gözlenen çeşitli ince yapılar üretir (umbral flaşlar, ışık köprüleri vb). Dolayısıyla bu bölge bir Güneş lekesinin dinamiklerinin daha iyi anlaşılması için ayrı bir öneme sahiptir. Güneş lekelerindeki ince yapılar ve bu yapılara ait fiziksel özellikleri araştırmak için en önemli faktörün konumsal ve zamansal çözünürlük olduğu aşikardır. Bu tez çalışması kapsamında halihazırda Dünya üzerinde en yüksek çözünürlüğe sahip birkaç teleskoptan biri olan BBSO/GST teleskobu (1.6 m açıklıklı) arşiv verilerinden 2013-2022 yıllarını kapsayan 18 Güneş leke verisi seçilmiştir. Bu lekelerdeki UD'lerin ortalama fiziksel parametreleri (parlaklık, çap, eksentrisite, yaşam süresi ve dinamik hız) elde edilerek ayrıntılı analizi yapılmıştır. Leke umbrasında gözlenen ince yapılardan biri olan UD'lerin ayrıntılı analizi bir Güneş lekesindeki dinamiklerin dolayısıyla da lekelerin özelliklerinin daha iyi anlaşılması konusunda bilime ciddi katkı sağlayacaktır. Literatürde UD'ler ile ilgili çalışmaların genellikle tek bir leke üzerinden

yapılması ve UD'lerin fiziksel özellikleri ile ilgili henüz yeterli bilgiye sahip olunmaması bu konuda çalışma yapılmasının önemini arttırmaktadır. Güneş doğal laboratuvar olarak kullanıldığı için UD'ler gibi küçük ölçekli yapıların doğru bir şekilde anlaşılması hem Güneş fiziği hem de yıldız astrofiziği açısından ciddi önem arz etmektedir. Güneş dinamosunun işleyişi, manyetik alanın ortaya çıkışı ve manyetizmanın etkilediği diğer mekanizmalar gibi temel sorunları anlamak için Güneş lekeleri kritik öneme sahiptir. Bu çalışma ile Güneş leke umbrasında gözlenen UD'lerin temel özelliklerinin ortaya konması ve özellikle de UD fiziksel parametrelerinin bu yapıların bulunduğu bölgedeki manyetik alan şiddeti ile ilişkisi ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda farklı UD parametreleri arasındaki muhtemel ilişkiler ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, UD şiddet-çap ve UD çap-eksentrisite çiftleri en yüksek korelasyonu gösterirken, en düşük korelasyon UD çap-yaşam süresi ilişkileri için tespit edilmiştir. UD'ler bu çalışmada merkezi UD'ler (CUDs) ve çevresel UD'ler (PUDs) olmak üzere iki kategoriye ayrılmış ve bu kategorilerin umbranın farklı bölgelerinde farklı parlaklıklara sahip olduğu bulunmuştur. Hem CUD'ların hem de PUD'ların manyetik alanla ilişkisi de ayrıca araştırılmıştır.

UD'lerin manyetik alanla olan ilişkisi, Güneş aktivitesini ve manyetik alan dinamiklerini daha iyi anlamak adına oldukça önemlidir. Literatürde UD parametreleri ve umbral manyetik alan arasındaki ilişkiye dair yeterli çalışmaya rastlanılmamıştır ve konunun detaylı bir şekilde araştırılıp netlik kazanması gerekmektedir. Manyetik alan ölçümleri hem Near InfraRed Imaging Spectropolarimeter (NIRIS) hem de Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) gibi iki farklı enstrümana ait manyetik alan görüntüleri kullanılarak iki farklı yöntem (manuel ve otomatik) ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu geniş kapsamlı çalışma UD'lerin manyetik alanla olan ilişkisini net bir şekilde ortaya çıkarmıştır. UD'lerin leke/umbral manyetik alanla ilişkisi literatürde genellikle incelenen konular arasında değildir. Güneş fizikçileri genellikle Güneş lekelerinin manyetik alan özellikleri üzerine odaklanırken, UD'lerin manyetik alanla ilişkisi daha az araştırılmış bir çalışma konusudur. Literatürde UD parametreleri ve umbral manyetik alan arasındaki ilişkiye dair birkaç çalışmaya rastlanılmıştır (Watanabe vd. 2009). Bu tez çalışmasında, bu ilişkinin hem NIRIS ve HMI gibi farklı enstrümanlar kullanılarak araştırılması, hemde iki farklı yöntemle karşılaştırılması literatürde ilk defa gerçekleştirilen bir çalışmadır. Bu nedenle, bu araştırma, Güneş lekelerinin manyetik alan özelliklerini ve UD'ler arasındaki ilişkiyi daha kapsamlı bir şekilde anlamamızı sağlayacak önemli bir adımdır. Bu tez çalışmasında Güneş leke umbrasında manyetik alanın şiddeti arttıkça aynı konumda gözlenen UD parlaklıklarının azaldığı ve çap/eksentrisite değerlerinin hem NIRIS hem de HMI verilerinde aynı konumdaki manyetik alan ile belirgin bir ilişki göstermediği sonucu elde edilmiştir. Ayrıntılı sonuçlar bölüm 4 ve 5'te detaylıca sunulmuş ve tartışılmıştır. Böylece, bir Güneş leke umbrasında gözlenen başlıca ince yapılardan biri olan UD'lerin fiziksel özellikleri daha

iyi anlaşılmış ve elde edilen bulgular yoluyla teorik ve gözlemsel Güneş fiziği çalışmalarına önemli katkılar yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Bu bulgular, Güneş lekelerinin karmaşık davranışlarını daha iyi anlamamıza yardımcı olacak ve Güneş faaliyetlerinin anlaşılması üzerinde etkili olabilecek yeni bilgiler sunmaktadır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Güneş

Güneş evrendeki milyarlarca galaksiden biri olan samanyolu galaksisinin Avcı kolu üzerinde galaksi merkezinden yaklaşık olarak 24.000 ila 28.000 ışık yılı uzaklıkta yörüngededir. G2 tayf türünde sıradan bir yıldızdır. Güneş galaksimizin popülasyon I yıldızlarından olup ikinci oluşum bir yıldızdır. Daha önce aynı bölgede bulunan yaşlı yıldızların patlaması sonucu etrafa saçılmış gaz ve tozun yeni yıldız oluşturmak üzere birleşmesinden oluşmuş metalce zengin bir yıldızdır. Kimyasal kompozisyonu göz önüne alındığında kütle olarak yaklaşık %73 hidrojen, %25 helyum ve geri kalanı da diğer ağır elementlerden oluşmaktadır.

Güneş'in Önemi: Güneş birçok açıdan büyük öneme sahiptir. Güneş'in önemini üç ana grupta inceleyebiliriz;

- Bize en yakın ve yüzey gösteren bir yıldızdır. Yüksek çözünürlüklü gözlemler gelişen metotlar, yüzeyi ve yüzey altı hakkında ayrıntılı çalışmalar yapmamıza olanak sağlar. Bu özelliği dolayısıyla da diğer yıldızlar hakkında bilgi edinebilmek için doğal bir laboratuvar görevi görür. Her ne kadar teknoloji ilerlemiş olsa da bir yıldızdaki fiziksel koşulları Dünya'daki bir laboratuvarda elde etmek çok zordur.
- Güneş sisteminin en temel (ana) cismi olup sistemin kütesinin yaklaşık %99.8'ini oluşturur. Bu özelliği Güneş sisteminin kütle çekimsel dengede kalmasını sağladığı için ayrı bir öneme sahiptir.
- Güneş Dünya'daki hayatın temel kaynağı olması açısından da ayrı bir öneme sahiptir. Eğer Güneş mevcut özelliklerine (uzaklık, büyüklük, aktivite vb.) sahip olmasaydı Dünya'da canlılığın var olması ve devam etmesi mümkün olmazdı.

Güneş, iç yapısı ve atmosferi olmak üzere temel olarak iki kısımda incelenebilir.

Güneş İç Yapısı: Güneş'in iç kısmını tamamen gözleyemediğimiz için iç yapısına ait bilgilerimiz tam disk ve yüksek çözünürlüklü atmosfer gözlemleri ve helyosismoloji olarak bilinen iç yapı gözlemleri ve teorik çalışmaların birleştirilmesi sonucu oluşturulan modellere dayanmaktadır. Güneş dev bir plazma topu olarak düşünülebilir. Bu dev plazma topu kendi kütle çekimi ve iç ışıınımından kaynaklanan basınç arasında hassas bir dengeye sahiptir. Güneş'in bileşimi parçacık sayısı açısından incelendiğinde yaklaşık %92.1 hidrojen, %7.8 helyum ve geriye kalan %0.1'lik kısım da ağır elementlerden oluşur. Güneş'in iç kısmı farklı fiziksel özelliklere sahip üç bölgeye ayrılır.

- Kor:** Toplam hacmin yalnızca % 1.5'ine sahip olmasına rağmen toplam kütleinin yaklaşık % 50'sine yakını buradadır. Bununla birlikte proton-proton (p-p) reaksiyonları gibi dinamik olaylara sahip bu katmanda enerjinin %99'u üretilir.

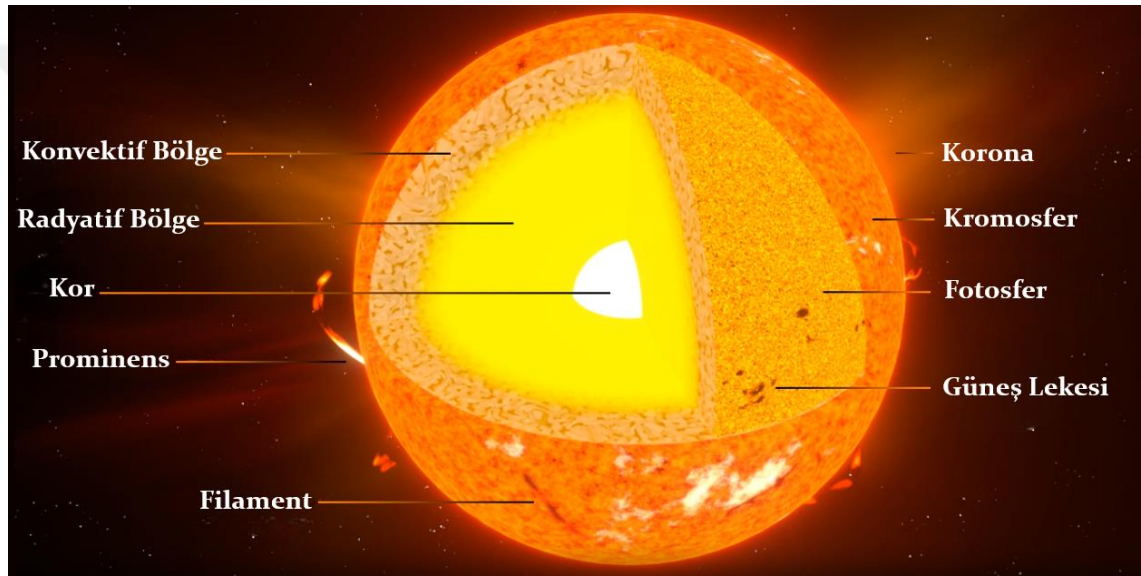
Burası hidrojenin nükleer reaksiyonlarla yakılarak helyum üretilmesiyle Güneş enerjisinin üretildiği yerdir.

- ii. **Radyatif Bölge:** Bu bölge kor sınırından Güneş yarıçapının yaklaşık %72'sine kadar uzanır. Merkezde üretilen enerji bu bölgede ışıyım yoluyla yukarıya doğru taşınır. Ancak merkezden yayınlanan bir fotonun yüzeye ulaşması iç kısmın opak olmasından dolayı çok uzun zaman alır. Radyatif bölgenin üst sınırında sıcaklık yaklaşık 2.2 milyon K'e düşer. Bu noktadan sonra artık radyasyonla iletim mümkün olamaz ve üçüncü bölge başlar.
- iii. **Konvektif Bölge:** Konvektif bölge tabanına kadar radyasyonla taşınan enerji bu bölgeden itibaren farklı büyüklük ve derinlikteki hücresel yapılar tarafından konveksiyon hareketiyle taşınır. Bu yapılardan ilki Güneş'in en alt atmosfer tabakası olan fotosfer tabakasında gözlenen granül hücreleridir.

Güneş Atmosferi: Her dalgaboyunda Güneş atmosferinde farklı yapılar ve farklı tabakalar gözlenir. Güneş atmosferi değişik fiziksel özelliklere sahip dört tabakadan oluşur. Bu tabakalar;

- i. **Fotosfer (Işık Küre):** Güneş'in beyaz ışıpta gözlenen dış yüzeyi olup kalınlığı yaklaşık 500 km kadardır. Bu tabakada sıcaklık ortalama 5780 K olup sıcaklık tabaka boyunca yükseklikle azalma gösterir. Bu tabakada parlaklık düzenli olmayıp disk merkezinden kenarlara doğru gidildikçe azalır ve bu olaya kenar kararması denir. Güneş ışıyımının büyük bir kısmı fotosferden gelir. Bu tabakada gözlenen en belirgin yapılar Güneş lekeleri ve granülasyondur.
- ii. **Kromosfer (Renkküre):** Fotosferin hemen üzerinden başlar ve yaklaşık 2500 km yüksekliğe kadar uzanır. Fotosferin tersine bu tabaka boyunca sıcaklık yükseklikle artar. Ancak sıcaklık artış hızı her yerde aynı değildir. Kromosfer tabakasının yoğunluğu çok düşük olup fotosferden yayınlanan radyasyona karşı geçirgen olduğu için normal şartlarda gözlenemez. Ancak, tam Güneş tutulmaları esnasında tam tutulmanın hemen başlangıcı ve bitişinde gözlenir. Bununla birlikte fotosferden yayınlanan bazı dalgaboylarındaki ışınlar kromosfer tarafından absorblanır (soğurulur) dolayısıyla da bu dalgaboylarına duyarlı filtreler kullanılarak kromosfer gözlenebilir. Bu dalgaboylarından en önemlileri Hidrojen alfa (6563 Å) ve Ca II'nin H ve K (3868, 3933 Å) çizgileridir. Bu tabakada gözlenen başlıca yapılar Güneş patlamaları ve prominens/filament yapılarıdır.
- iii. **Geçiş Bölgesi:** Kromosferi koronadan ayıran Güneş atmosferinin ince bir bölgesidir ve kalınlığı 100 km'nin altındadır. Sıcaklık, kromosferin üst taraflarında on binler mertebesinde ve geçiş bölgesinde ani bir artışla koronada birkaç milyon K'e kadar ulaşır. Bu sıcaklıklarda hidrojen iyonlaşır ve bu nedenle geçiş bölgesinin görülmesi zordur. Hidrojen yerine, C IV, O IV ve Si IV gibi iyonlar bu bölgede baskındır ve geçiş bölgesi bu ultraviyole emisyon çizgilerine duyarlı filtreler kullanılarak uzaydan gözlenebilir.

- iv. **Korona:** Güneş'in en dış atmosfer tabakası olup Güneş rüzgarları ile Dünya'ya kadar uzandığı bilinmektedir. Kromosferde sıcaklık 10 binler K mertebesinde iken koronada milyon K mertebesinde. Bu yüksek sıcaklık dolayısıyla atomların çoğu yüksek dereceden iyonize olmuş durumdadır. Koronada yoğunluğun çok düşük olması dolayısıyla bu katman ancak tam Güneş tutulmaları esnasında veya koronograf denilen özel filtreler kullanılarak gözlenebilir. Koronada sıcaklık ve yoğunluk Güneş'ten uzaklaştıkça hızlı bir şekilde düşer. Koronanın şekli Güneş aktivitesine bağlı olup aktivitenin minimum evresinde kutuplardan basık ve ekvator boyunca uzanmış bir görüntü verirken aktivitenin maksimum evresinde neredeyse simetrik bir yapıya sahiptir. Korona tabakasında başlıca miğferimsi yapılar (helmet streamers), koronal delikler, kutup tüccükleri, koronal luplar vb. yapılar gözlenir.

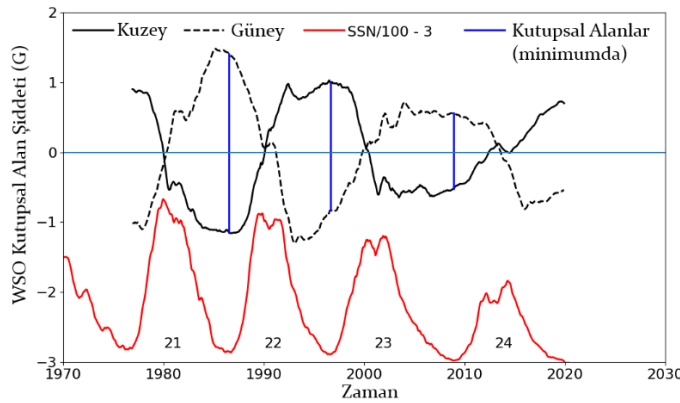


Şekil 2.1. Güneş'in iç yapısı ve atmosferi

2.2. Manyetik Alan, Güneş Lekesi ve Umbral Nokta (Umbral Dot - UD)

Güneş'i anlamamızın temel taşlarından biri manyetizmadır. Manyetik alanlar, Güneş'teki elektrik yüklü iyonların ve elektronların akışı sonucunda üretilir (Hale 1908; Hale vd. 1919). Güneş'in yüzeyinde ve iç bölgelerinde çeşitli akışlar gözlenmektedir. Güneş'in manyetik alanının oluşmasına bir şekilde katkıda bulunan neredeyse tüm bu akımlar, Güneş'in manyetik alanının üretiminde rol oynamaktadır. Yirminci yüzyılın en önemli Güneş keşiflerinden biri, Güneş lekelerinin doğasının manyetik alan olduğunun fark edilmesi idi (Hale 1908b,a). 1908'de George Ellery Hale, "Güneş lekelerinde muhtemel bir manyetik alanın varlığına dair" bir rapor sundu. Bu, Güneş lekelerinin anlaşılmasının anahtarıydı. Ayrıca Güneş lekeleri çevriminin ve Güneş aktivitesinin birçok başka yönünün anlaşılmasının da anahtarı olduğu ortaya çıktı. Hale tarafından yapılan bu keşif, Güneş lekelerinin sadece optik bir fenomen olmadığını, aynı zamanda derinlemesine incelendiğinde manyetik bir karaktere sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Bu keşif, Güneş'in manyetik alanının doğası ve Güneş lekelerinin oluşumuyla ilgili temel anlayışımızı derinlemesine değiştirmiştir. Hale'nin bu çalışması, Güneş'in manyetik etkileşimlerini anlamak için kritik bir dönüm noktası olmuştur ve Güneş fiziğinin daha derin bir anlayışına yol açmıştır. Daha sonra Hale vd. (1919), Güneş lekelerindeki manyetik alanın belirli bir yasaya uyduğunu keşfetti ve bu yasa literatürde "Hale Yasası" olarak adlandırıldı. Bu yasa şöyledir: Aktif bölgelerin (önceki ve takip eden sonraki lekeler) rölatif polaritesi zıttır. Kuzey ve güney yarımkürelerdeki bu gruplarda karşılık gelen lekeler de işaret olarak zıttır. Ayrıca mevcut çevrimin lekeleri önceki çevrimin lekeleriyle polarite olarak zıttır. Polarite bir çevrimden diğerine işaret değiştirir dolayısıyla tam bir manyetik çevrimin periyodu 22 yıldır. Aktif bölgelerdeki Güneş lekelerinin manyetik polaritesi bir yarıküreden diğerine ve bir çevrimden diğer çevrime geçiş yapar.



Şekil 2.2. Son üç Güneş çevrimi boyunca kutupsal manyetik alan şiddetlerindeki değişim gösterilmektedir. Şekil, Wilcox Solar Observatory (WSO) manyetik alan verileri kullanılarak oluşturulmuştur ve www.solarcyclescience.com adresinden alınmıştır

Şekil 2.2'de 23/24. çevrim minimumunda kutupsal alan şiddeti, önceki iki minimuma göre çok daha zayıftır (neredeyse yarısı). Güneş'in manyetik kutupları yaklaşık olarak Güneş leke çevriminin maksimum olduğu zamanda bir çevrimden diğerine tersine döner.

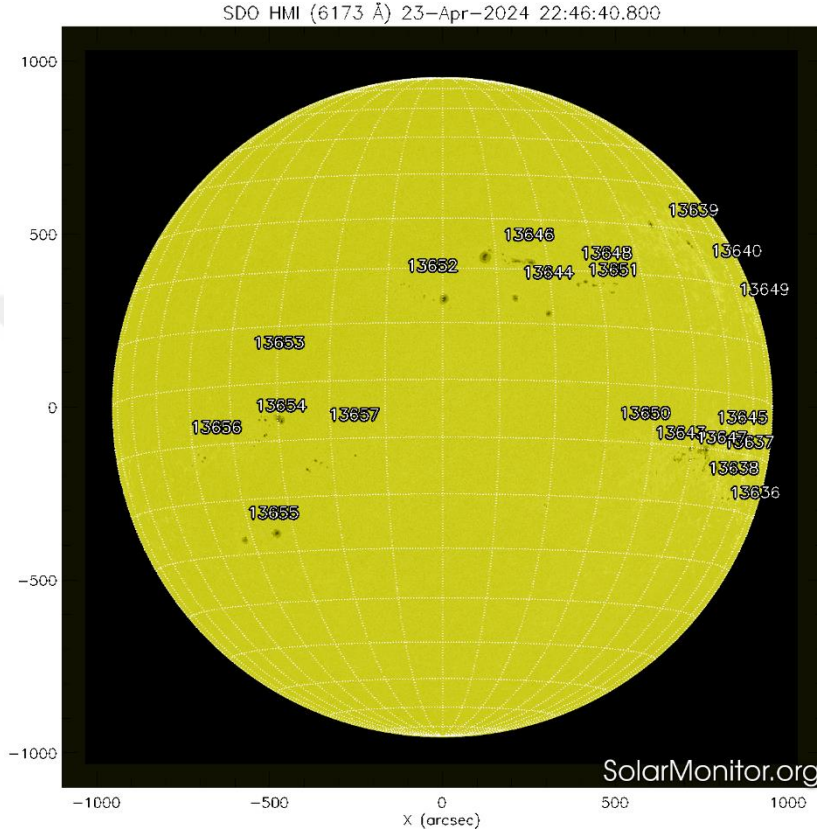
Güneş katı bir cisim olmadığı için farklı enlemleri farklı dönüş hızlarına sahiptir. Bu şekilde bir cismin farklı parçalarının, farklı açısal hızlarla dönmesine diferansiyel dönme denir. Diferansiyel dönme cismin katı olmadığını gösterir. Güneş'teki diferansiyel rotasyonun (kendi eksenini etrafında dönme) kaynağı, uzun zamandan beri Güneş fiziğinin güncel araştırma konularından birisidir. Ekvatorda yüzey dönme hızının en hızlı olduğu (enlem $\phi = 0^\circ$) ve enlem arttıkça yani kutuplara doğru yaklaşıldıkça dönme hızının azaldığı bilinmektedir. Güneş'in dönme süresi ekvatorunda yaklaşık 24.47 gün ve kutuplarda yaklaşık 38 gündür. Ortalama dönüş süresi 28 gündür. Güneş'teki manyetik alan, Güneş lekelerinin oluşumunda temel bir rol oynar ve Güneş dinamosu ile doğrudan ilişkilidir (Hale vd. 1919; Charbonneau 2020; Fan 2021). Diferansiyel

dönme hareketi, Güneş'in iç kısımlarında manyetik alanın oluşmasına neden olur, özellikle konveksiyon bölgesinde manyetik alan dinamik bir yapıya sahiptir. Diferansiyel dönme, manyetik alan çizgilerinin birbirleriyle etkileşimini sağlar ve bu etkileşim Güneş lekelerinin oluşumunu tetikleyen temel sebeplerden biridir (Babcock 1961; Charbonneau 2020; Bhowmik 2023; Zhou 2023). Manyetik alan çizgilerinin yoğunlaştığı bölgelerde Güneş lekeleri meydana gelir. Manyetik alanlar elektrik akımları tarafından üretilir. Güneş'in içindeki bu akımlar, Güneş'in sıcak, iyonlaşmış gazlarının akışıyla oluşturulur. Güneş içindeki manyetik alanlar ile iyonlaşmış gazlar arasında yakın bir ilişki vardır. Manyetik basıncın hakim olduğu yerlerde, gaz manyetik alanı takip eder. Gaz basıncının hakim olduğu yerlerde ise, manyetik alan gazı takip eder. Güneş lekelerinde manyetik basınç hakimdir bu da ısı taşınımını engeller ve lekelerin civarına göre daha soğuk olmasını sağlar.

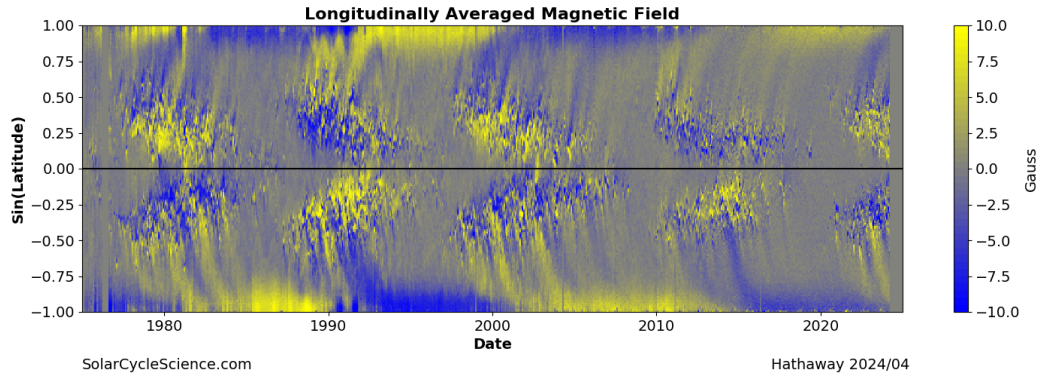
Şekil 2.4'deki diyagram, son dört Güneş çevrimi boyunca yüzeydeki manyetik alanın (boylamsal ortalama alınmış) dağılımını gösterir. Kutuplar, Güneş aktivitesinin maksimum zamanlarında bir çevrimden diğerine ters işaretlere sahiptir. Manyetik kelebek diyagramı, Güneş'teki manyetik akışın birkaç çevrim boyunca evrimini gösterir ve Güneş çevrimi tahminlerinde kullanılan modeller sağlar. Bu modellerin içinde Carrington Rotasyonu da kullanılır. Güneş'teki konumları karşılaştırmak ve takip etmek için kullanılan bir modeldir. Güneş'in dönüşüne yönelik bu periyot yaklaşık 26° kuzey veya güney enlemindeki periyoda karşılık gelir. Güneş'in dönüşü sırasında Güneş lekeleri ve diğer Güneş olaylarının hareketini takip etmek için bir referans sağlar. Carrington Rotasyonu Güneş lekelerinin tipik enlemi ve Güneş aktivitesi ile uyumludur ve Carrington rotasyonları için Güneş rotasyonu 27.2753 gün olarak alınmıştır. 9 Kasım 1853'ten başlayarak, her rotasyona Carrington Rotasyon Numarası adı verilen benzersiz bir numara verilir. Şekilde her Carrington Rotasyonu için ortalama SOLIS/MDI/HMI manyetik alan verileri, enlem ve zamanın bir fonksiyonu olarak çizilmiştir; pozitif manyetik polarite sarı, negatif manyetik polarite mavi renkte gösterilmiştir.

Güneş lekeleri fotosfer yüzeyinde civarına göre daha koyu renkte gözlenen manyetik alanın yoğunlaştığı bölgeler olarak bilinirler. Bu bölgelerde sıcaklık civarına göre birkaç bin K daha düşüktür ve daha serin bölgelerdir. Örneğin fotosferdeki ortalama sıcaklık 5780 K iken gelişmiş lekelerdeki sıcaklık 4500 K civarındadır. Güneş fotosferinde ortalama manyetik alan yaklaşık 1 Gauss iken lekelerdeki manyetik alan birkaç bin Gauss mertebesinde. Tipik bir Güneş lekesi ortalama 20–25 bin km'lik bir büyüklüğe sahiptir. Güneş lekeleri süper granül hücreleri diye isimlendirilen hücresel yapıların arasındaki bölgelerde oluşurlar. Gelişmiş bir Güneş lekesi temel olarak leke merkezinde konumlanmış olan koyu bölge umbra (gölge) ve umbranın etrafını çeviren nispeten daha açık renkli penumbra (yarı gölge) olmak üzere iki kısımdan oluşur. Umbrada manyetik alan şiddeti penumbraya nazaran daha yüksek olup manyetik alan çizgileri daha dikeydir. Penumbra ise manyetik alan şiddeti biraz daha düşük ve umbradan uzaklaştıkça alan çizgileri yatay hale dönmeye başlar. Ancak tüm Güneş lekeleri penumbraya sahip olmayabilir. Güneş lekeleri genellikle aktif kuşak olarak

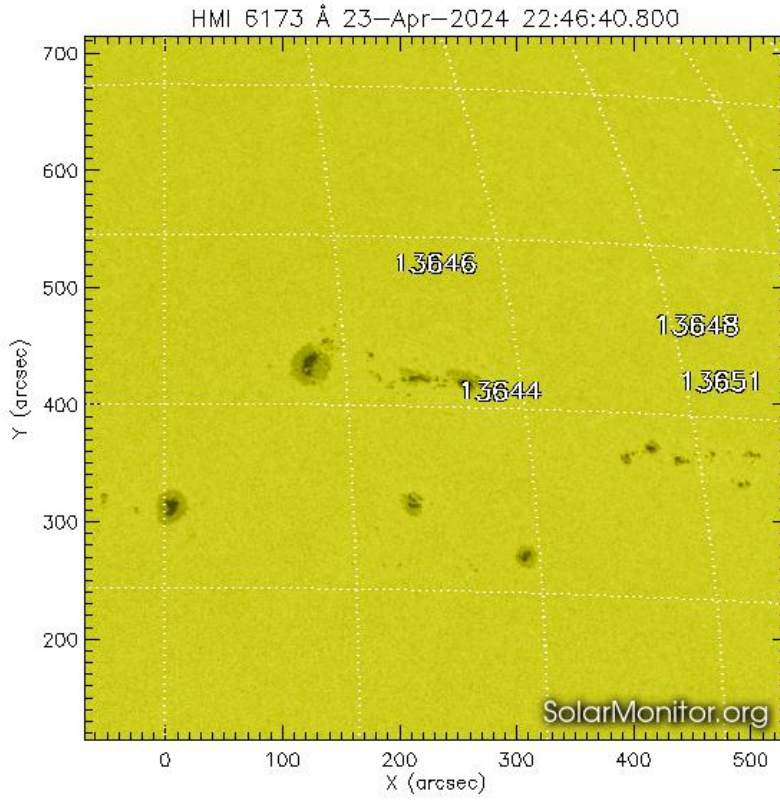
isimlendirilen ± 35 derece enlem kuşağında gözlenirler. Güneş'te gözlediğimiz tüm aktif olaylar yaklaşık 11 yılda bir artıp azalarak 11 yıllık bir periyotla kendini tekrar eder. Buna Güneş çevrimi denir. Özellikle Güneş çevriminin başlangıcında 40 - 45 derece enlem kuşağında gözlenen lekeler çevrim ilerledikçe alt enlemlere doğru kayar. 11 yıllık çevrimin süresi sabit olmamakla birlikte lekeler sürekli olarak oluşup yok olmaktadır.



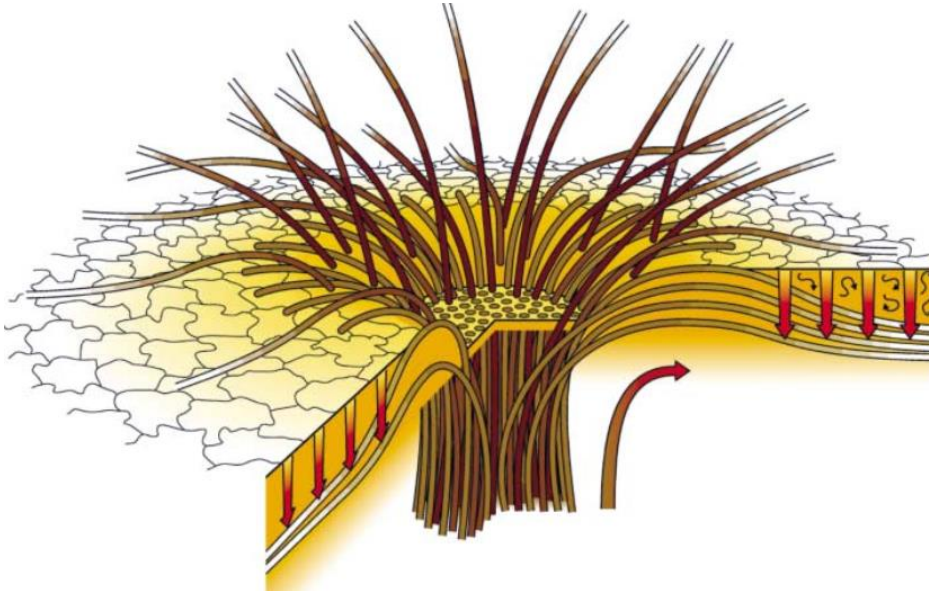
Şekil 2.3. 23 Nisan 2024 tarihi için SDO/HMI 6173 Å dalga boyunda tüm disk Güneş görüntüsü. 20 aktif bölge görülmektedir. Şekil <https://www.solarmonitor.org> adresinden alınmıştır



Şekil 2.4. Manyetik Kelebek Diyagramı. Şekil, D.H. Hathaway tarafından çizilmiştir ve www.solarcyclescience.com adresinden alınmıştır



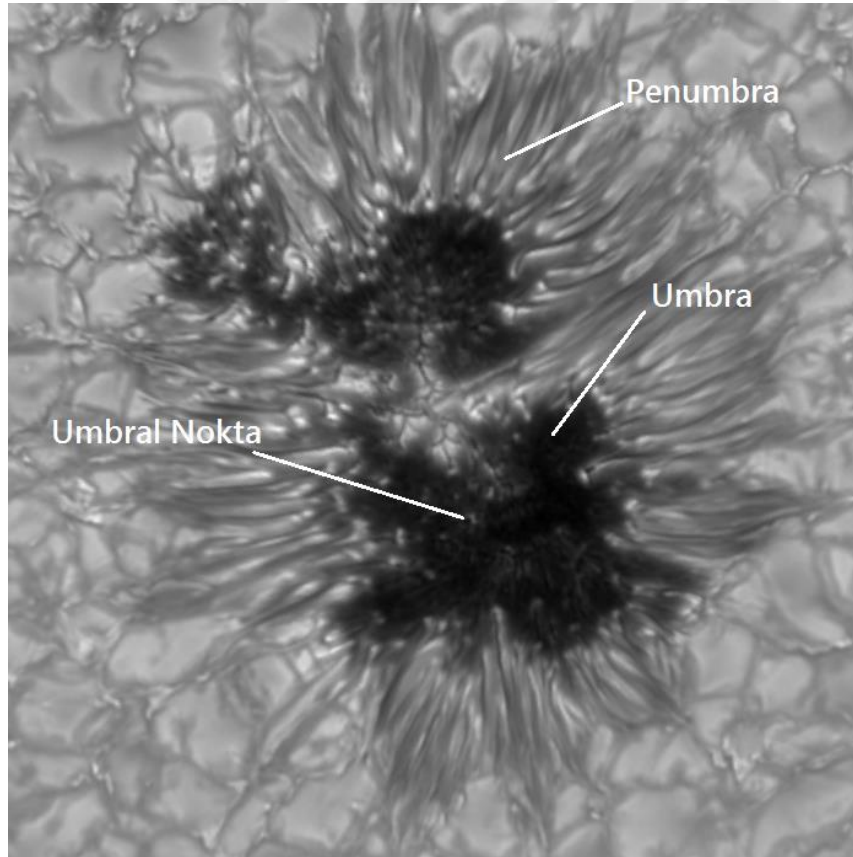
Şekil 2.5 Şekil 2.4'ün yakınlaştırılmış hali. Şekil <https://www.solarmonitor.org> adresinden alınmıştır



Şekil 2.6. Bir Güneş lekesinin filamentli penumbrasındaki manyetik alanın birbirleriyle keşisen tarak yapısını gösteren çizim ((Thomas vd. 2002, Eric Priest'in katkılarıyla), Weiss vd. 2004)

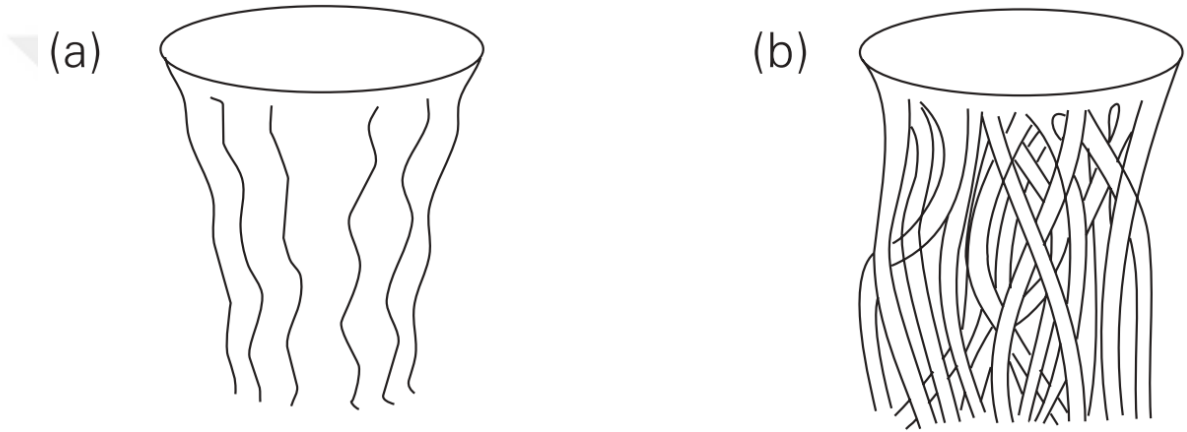
Şekil 2.6’da parlak radyal filamentler, manyetik alanın eğimli olduğu (dış penumbra yatayla yaklaşık 40 derece eğimli) bölgelerde sıralanmıştır ve manyetik alanın neredeyse yatay olduğu koyu filamentleri takip eder. Koyu filamentlerin içinde, bazı manyetik akı tüpleri (manyetik alan çizgi demetleri), penumbranın dışına doğru ilerlemiştir. Bazıları yukarıya yönelmiş bir manyetik yapı boyunca dışarıya doğru uzanırken diğerleri "geri dönen" akı tüpleri yüzeyin altına girer. Güneş lekesi, küçük ölçekli granüler konveksiyon tabakası (siyah küçük kıvrımlı oklar) ile çevrelenmiştir ve bu yapılar da dışa doğru radyal akışlara sahiptir. Aynı zamanda uzun yaşam süreli dairesel yapıya benzeyen bir süpergranül (leke altındaki, büyük kavisli ok) ile ilişkilidir. Geri dönen akı tüplerinin leke altındaki kısımları, alttaki granüler konveksiyon tarafından türbülansın neden olduğu hızlı akışkan hareketleri (dikey oklar) ile baskılanır.

Gelişen gözlem teknikleri sayesinde Güneş lekelerinin iç kısımlarında gerek parlaklık ve gerek manyetik alanın homojen dağılmadığı ve bu yüzden de bir Güneş leke umbrasında umbral parlak noktalar (UDs), ışık köprüleri (LB), fibrils gibi ince yapılar gözlenmektedir. Şekil 2.7.’de gelişmiş bir Güneş lekesinin temel bölgeleri ve bu lekenin umbrasında gözlenen UD’ler görülmektedir.



Şekil 2.7. NOAA AR12770 aktif bölge numaralı gelişmiş bir Güneş lekesinin umbra, penumbra ve umbrada gözlenen umbral parlak noktalar (UD’ler). Görüntü BBSO’daki GST teleskobu ile 08.08.2020 tarihinde TİO filtresi kullanılarak alınmıştır

Güneş lekeleri, evrimlerini tamamlayana kadar (yaşam süreleri boyunca) çeşitli dinamik değişkenlikler gösterirler. Bir Güneş lekesinin umbrası ve penumbrası da bu dinamiklikten etkilenir (Solanki 2003). UD'ler de bu etkileşimin içindedir ve her ne kadar UD fiziksel parametreleri daha doğru hesaplanırsa da, UD'lerin neden ve nasıl oluştuğu henüz tam olarak açıklanamamış olup halen gizemini korumaktadır. Günümüzde bu yapıların oluşumunu açıklamak için önerilen iki alternatif model vardır. 1. Küme modeli: bu modele göre görünür yüzeyin altındaki manyetik alan, bir araya getirilmiş birçok akı tüpünden oluşur ve UD'ler, bu akı tüpleri arasındaki bölgeden çıkan maddenin tepe noktasıdır (Parker 1979). 2. Monolitik model: bu modele göre ise Güneş lekesini oluşturan tek büyük bir akı tüpü bloğu vardır ve bu akı tüpü bloğundaki manyeto-konveksiyon sonucu UD'ler oluşur (Gokhale ve Zwaan 1972; Meyer vd. 1974, 1977).



Şekil 2.8. Güneş leke manyetik alanlarının yüzey altı yapısının monolitik (a) ve küme (b) modellerinin çizimi (Thomas ve Weiss 1992'den uyarlanmıştır. Solanki (2003))

Her iki modelde de konvektif yukarı akışlar fotosfere ulaşır, burada ışımsal soğutma yoluyla enerjilerini kaybederler ve umbral noktaların veya ışık köprülerinin kenarlarından geldikleri yere geri dönerler. Monolitik modelde, konvektif akışların dikey uzantısı küçüktür, bu da akışların tamamen Güneş lekesinin manyetik alanıyla çevrili olduğu bir duruma yol açar. Fotosferde tek bir manyetik akı tüpü gibi görünen şey, daha derinlerde çok sayıda daha küçük manyetik akı tüpüne bölünür. Küme modelinde konvektif akışlar Güneş lekesinin altında manyetik alanın zayıf olduğu konveksiyon bölgelerine ulaşır ve derinlere kadar uzanır.

2.3. UD Fiziksel Parametreleri

UD'ler bir Güneş lekesinin umbrasında gözlenen ve civarına göre daha zayıf manyetik alana sahip parlak noktalar olarak tanımlanabilir. İlk olarak 1916 yılında Stanislas Chevailier tarafından umbradaki parlak lekeler olarak gözlenmişlerdir (Choudhuri 1986). Daha küçük ölçekli UD'ler Thiessen tarafından 1950 yılında rapor edilmiş ve Danielson tarafından 1964 yılında Stratoskop gözlemlerinde keşfedilmiştir

(Thomas ve Weis 2004). UD'lerin boyut, hız, yaşam süresi gibi tipik karakteristik özellikleri literatürde yaygın şekilde çalışılmış olup her geçen gün gelişen gözlem aletleri, artan çözünürlük, iyileştirilen analiz yöntemleri ve görüntü işleme teknikleri sayesinde bu yapıların özellikleri daha iyi anlaşılmaktadır. Watanabe vd. (2012) İsveç 1 m Güneş Teleskobu ile CRisp Imaging Spectro-Polarimeter (CRISP) aleti kullanarak elde edilen verilerle ortalama UD ömrünün yaklaşık 18 dakika olduğunu hesaplamıştır. Yazarlar bu yüksek yaşam süresinin muhtemelen kullandıkları daha sönük UD'leri tespit edebilme kapasitesine sahip manuel tespit prosedüründen kaynaklandığı sonucuna varmışlardır. Kilcik vd. (2012) Goode Solar Telescope (GST) verilerini kullanarak UD'leri analiz etmiş ve ortalama yaşam süresinin yaklaşık 8 dakika olduğunu ve UD yaşam süresinin 2.5-34.5 dakika arasında değiştiğini bulmuştur. Daha sonra, Hinode verilerine dayanarak Feng vd. (2015) UD yaşam süresinin 1 ile 36 dakika arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ji vd. (2016) Yunnan Gözlemevi'ndeki 1 m açıklıklı New Vacuum Solar Telescope (NVST) TiO filtresi ile elde edilmiş dört Güneş lekesi (NOAA AR11598, 11801, 12158 ve 12178) verisini kullanarak UD'lerin fiziksel parametrelerini elde etmişler ve bu parametreler arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Çalışma kapsamında toplam 1823 UD analiz edilmiş ve UD'lerin ortalama yaşam sürelerinin 4 ile 8 dakika arasında değiştiği belirtilmiştir. Hamedivafa (2020), NOAA AR10944 Güneş lekesi için Hinode/Solar Optical Telescope (SOT) verilerini kullanarak UD'lerin ortalama yaşam süresini 7.4 dakika elde etmiştir. Kilcik vd. (2020) UD'lerin yaşam süresinin 0.75 ile 65 dakika arasında değiştiğini ve ortalama yaşam süresinin 6.92 dakika olduğunu bulmuşlardır. UD'lerin boyutları geçmişte yoğun bir şekilde çalışılmış ve UD çapının 50-750 km arasında olduğu belirtilmiştir (Sobotka ve Hanslmeier 2005; Riethmüller vd. 2008; Watanabe vd. 2012; Kilcik vd. 2012; Feng vd. 2015; Yadav vd. 2018; Kilcik vd. 2020). Feng vd. (2015), Hinode/Solar Optical Telescope (SOT) verilerinden UD'lerin boyutunun yaklaşık 225 km olduğunu bulmuştur. Ji vd. (2016), yukarıda verilen NVST verisi analizlerinden UD çaplarının 178 ile 235 km arasında değişim gösterdiğini belirtmişlerdir. Hamedivafa (2020), NOAA AR10944 Güneş lekesinde gözlenen tek UD'lerin yaklaşık 0.25 yay saniyesi (180 km) çapa sahip olduklarını belirtmiştir. Kilcik vd. (2020) NOAA AR12384 nolu lekedeki 2892 UD'yi analiz ederek UD'lerin çapının 107 ile 276 km arasında değiştiğini ve ortalama çapın 207 km olduğunu bulmuşlardır. Öte yandan, Schüssler ve Vögler (2006), simüle edilmiş UD'lerin yatay olarak uzatılmış şekillere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kilcik vd. (2012), istisnasız gözlenen tüm UD'lerin eliptik bir şekle sahip olduğunu göstermişlerdir. Daha sonra Feng vd. (2015) UD'lerin ortalama 0.75 eksentrisiteye sahip olduğunu belirtmişlerdir. Kilcik vd. (2020), UD'lerin eksentrisitesinin çok daha küçük bir ortalama değere (0.29'') sahip olduğunu bulmuştur. Literatürde birçok çalışmada, UD'lerin ufuksal/yatay hızının yaklaşık 300-400 m/s olduğu belirtilmektedir; Watanabe vd. (2009), bir UD'nin ilk ortaya çıkma ve kaybolma konumları arasındaki doğrusal mesafeyi aynı UD'nin yaşam süresine bölerek UD'lerin hızını hesaplamış ve ortalama hızın 0.44 km/s olduğunu rapor etmiştir. Bu değer literatürde verilen hız değerleri ile oldukça iyi uyum göstermektedir. Kilcik vd. (2020) uzun yaşam süreli

UD'lerin umbra içinde düz bir doğru boyunca hareket etmediğini tespit etmiş, buradan da UD'lerin gözleendiği süre boyunca kat ettiğı yolun toplam uzunluğunu kullanarak dinamik hız tanımı yapmış ve UD'lerin dinamik hızının 50 m/s minimum ve 3.84 km/s maksimum değer ile ortalama 0.76 km/s olduğunu bulmuşlardır. Bu değer daha önce literatürde bildirilen değerlerin neredeyse iki katıdır. Çalışmada, farkın UD hızını hesaplamak için kullanılan yöntemden kaynaklandığı belirtilmiş ve UD'lerin doğrusal hareketten ziyade umbra içerisinde kıvrımlı hareket yaparak ilerlediğini ortaya koymuşlardır. Yazarlar, UD hızını daha doğru hesaplamak için UD'lerin ömrü boyunca yaptığı tüm hareketlerin hesaba katılması gerektiğini belirtmişlerdir. Yukarıda verilen bilgilerden de görüldüğü üzere farklı yazarlar tarafından hesaplanan/bulunan UD parametreleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar gözlenen leke ve gözlem yapılan alet başta olmak üzere kullanılan yöntemde de ciddi bağılılık göstermektedir.

2.4. UD Fiziksel Parametreleri Arasındaki İlişkiler

UD'lerle ilgili bir diğer güncel araştırma konusu da UD parametrelerinin birbirleri ile olan ilişkisinin ortaya konmasıdır. Kilcik vd. (2012) UD hızlarının yaşam süresi ile ters korelasyon gösterdiğini ve UD çaplarının sadece parlak umbral alanlarda parlaklık ile arttığını bulmuştur. Ji vd. (2016) NVST TiO filtresi ile elde edilmiş dört Güneş lekesi (NOAA AR11598, 11801, 12158 ve 12178) verisini kullanarak UD parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmış ve UD'lerin çapları ve yaşam sürelerinin parlaklıkla artma eğiliminde olduğu, ancak UD hızları için böyle bir ilişkinin olmadığı sonucuna ulaşmışlardır. Deng (2019) tarafından yine NVST verileri kullanılarak yapılan çalışmada UD'lerin çapı ve yaşam süresinin, parlaklıkla arttığı ancak hızlarının artmadığı veya ters bir eğilim sergilediğı sonucu elde edilmiştir. Sobotka vd. (1997) tarafından yapılan çalışmada da CUD'ların neredeyse durağan olduğu, PUD'ların ise 1.0 km/s'den daha düşük hızlarla umbranın merkezine doğru hareket ettiğı bulunmuştur. Daha sonra Watanabe vd. (2009), Louis vd (2012) ve Feng vd. (2015) bu sonucu doğrulamıştır. Kilcik vd. (2020) çalışmasında ise UD parlaklığının hem çap hem de dinamik hız ile yaklaşık aynı düzeyde korelasyon gösterdiği sonucu elde edilmiş ve daha önceki çalışmalarda belirtildiğı gibi yaşam süresi ve dinamik hız arasında anlamlı bir ilişki elde edilememiştir.

2.5. UD Fiziksel Parametrelerinin Leke Manyetik Alanı ile ilişkisi

İlerleyen gözlem araçları, artan çözünürlükler ve görüntü işleme teknikleri sayesinde UD'lerin boyutu, hızı, parlaklıkları ve yaşam süreleri gibi tipik özellikleri daha iyi anlaşılır olsa da manyetik alan ile ilişkisine dair literatürdeki çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Yadav vd. (2018) tarafından Güneş lekeleri ve UD'ler arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılması için Hinode/SOT verileri kullanılarak farklı boyutlardaki 42 Güneş lekesinde gözlenen UD'lerin fiziksel özellikleri (boyut, parlaklık vb.) gözlelendikleri Güneş lekesinin özellikleri (alan, parlaklık vb.) ile karşılaştırılmış ve UD

parametreleri ile Güneş lekesi parametreleri arasında anlamlı bir ilişki bulamamışlardır. Watanabe vd. (2009) tarafından Hinode/SOT ile NOAA AR10944 numaralı Güneş lekesinde gözlenen UD'lerin boyut, yaşam süresi gibi parametreleri Güneş lekesinin manyetik alan şiddeti, manyetik alanın eğimi ve azimutu ile karşılaştırılmış ve UD'lerin hem yaşam süresi hem de boyutunun ortaya çıktıkları bölgedeki manyetik alandan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada manyetik alanın eğim açısı büyüdükçe (alan ufuksal hale geldikçe) UD'lerin hızının arttığı tespit edilmiştir. UD konumları gelişmiş manyeto-konveksiyon özelliklerine sahiptir ve bu bölgelerde manyetik alan değişimleri karanlık umbraya kıyasla daha büyüktür. Çünkü UD's ve Işık Köprüleri (LB's) manyetik alansız bir ortamda gelişen manyeto-konveksiyon hücreleri olarak düşünülmektedir (Yurchyshyn vd. 2015). Yüksek çözünürlüklü verilerle UD'lerin incelenmesi, mevcut Güneş lekesi modellerini önemli ölçüde kısıtlayan Güneş leke umbrasındaki küçük ölçekli manyeto-konveksiyonu anlamak için çok önemlidir. Güneş lekelerinin evrimini ve kararlılığını etkileyen altta yatan fiziksel süreçlerin anlaşılması için UD'lerin fiziksel özelliklerini Güneş lekelerinin büyük ölçekli özellikleriyle ilişkilendirmeye çalışmak gerçekçi modeller yapabilmek için önemlidir. Yapılan çalışmalarda UD'lerin boyutları, şekilleri ve diğer fiziksel özellikleri gözlemlendiği Güneş lekesinin yapısına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Hatta aynı leke umbrasında farklı bölgelerdeki UD'ler birbirlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu tez çalışması ile farklılıkların temel sebebinin UD'lerin gözlemlendiği Güneş leke umbrasındaki manyetik alan şiddet farklılıkları olduğu daha da güçlü bir ihtimal haline gelmiştir. Bu noktaların aydınlatılması fiziksel süreçlerin daha iyi anlaşılması ve daha gerçekçi Güneş leke modellerinin ortaya çıkmasına ışık tutacaktır. Ayrıca, UD parametreleriyle Güneş lekelerinin enerji-denge mekanizmasının incelenmesi de hala araştırılan konular arasındadır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler

Bu tez çalışmasında kullanılan Güneş leke verileri Big Bear Solar Observatory (BBSO)/Goode Solar Teleskop (GST) arşiv verilerinden seçilmiş ve çalışmada her bir lekeye ait Titanyum Oksit (TiO) ve Near-Infrared Imaging Spectropolarimeter (NIRIS) görüntüleri kullanılmıştır. GST halihazırda Dünya üzerindeki en büyük açıklığa sahip birkaç teleskoptan biri olup eş zamanlı olarak hem Titanyum Oksit (TiO, 705.7 nm, geniş bant) hem de NIRIS ölçümlerinin alınmasına olanak tanımaktadır. Bu tezde TiO filtresiyle alınan görüntüler bu tayf çizgisinin sıcaklığa duyarlı olması dolayısıyla (Berdyugina vd. 2003; Riethmuller vd. 2008; Abramenko vd. 2010) Güneş lekelerinin umbrasındaki UD'lerin belirlenmesi ve takip edilmesi amacıyla, NIRIS filtresi ile alınan görüntüler ise gözlenen lekelerdeki manyetik alan şiddetlerini elde etmek amacıyla kullanılmıştır. NIRIS, 85 yay saniyelik bir görüş alanı (FOV) sağlayan iki polarizasyon durumunun aynı anda görüntülendiği bir çift Fabry-Pérot etalon kullanır. Bu, spektroskopik ölçümler için 1 saniye ve tam Stokes polarimetrik ölçümler için 10 saniyelik cadence (zaman çözünürlüğü) aralığı sağlar. 0.01 nm'lik bir bant genişliğine sahip Fe I 1565 nm çifti kullanılarak ölçümler yapılmıştır. NIRIS verilerine ek olarak bu çalışmada Solar Dynamic Observatory (SDO) arşiv verilerinden NIRIS verisiyle eş zamanlı olacak şekilde Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) görüntüleri kullanılmıştır. HMI, Güneş yüzeyindeki veya fotosferdeki osilasyonları ve manyetik alanı incelemek için tasarlanmış bir araçtır. Tam Güneş diskini Fe I 6173 Å dalgaboyunda gözler. Bu kapsamda verilerin piksel başına çözünürlüğü TiO: 0.034'', NIRIS: 0.083'' (https://www.bbso.njit.edu/projects/NIRIS_Summary.pdf) ve HMI: 0.5'' (<http://hmi.stanford.edu/Description/hmi-overview/hmi-overview.html>) yay saniyesidir.

Çalışmada kullanılacak Güneş lekelerinin belirlenmesinde UD'lerin fiziksel parametrelerinin hatalı ölçülmesi, takip problemleri, Güneş diskinin kenar etkisi gibi muhtemel problemlerin önüne geçmek için bazı kriterler belirlenmiştir (Calisir vd. 2023): i) İncelenecek leke Güneş disk merkezinden en fazla ± 30 derece mesafede olmalıdır. Böylece kenar etkisi en aza indirilerek elimine edilmiştir. 2) Mümkün olduğunca uzun süreli gözlem olmalıdır. Bu sayede UD'lerin yaşam süreleri ve diğer fiziksel parametreleri daha doğru tespit edilecektir. 3) Görüntülerde titreme veya kayma gibi durumlar olmamalıdır. Bu kriter takip algoritmasından kaynaklanabilecek hataları ortadan kaldıracaktır. 4) Ardışık iki görüntü arasındaki zaman farkı (cadence) 15 s olmalıdır. Bu kriterler çerçevesinde çalışma kapsamında kullanılacak veriler BBSO/GST arşiv verilerinden seçilmiş ve Prof. Vasyl YURCHYSHYN seçilen her bir Güneş lekesine ait hem TiO görüntülerinin kendi içinde hem de TiO ve NIRIS görüntülerinin birbirlerine göre hizalamasını yaparak tüm lekeler için verileri IDL veri küpü formatında tarafımıza göndermiştir. Her bir lekeye ait alınan TiO görüntüleri ayrı bir veri küpü şeklinde olup çok sayıda görüntü içermektedir. NIRIS veri hazırlama işleminin fazlasıyla zorlu süreçlerden geçmesi ve bir leke umbrasındaki manyetik alanın

birkaç saat gibi kısa bir süre içerisinde önemli bir değişim göstermeyeceği dikkate alınarak her bir leke için tek bir NIRIS görüntüsü alınmıştır. Her ne kadar kısa süre içerisinde manyetik alanın değişmeyeceği varsayılsa da, manyetik alan analizi için kullanılan NIRIS görüntüleri ile yaklaşık eş zamanlı TiO görüntüleri çalışmada karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Bu tez kapsamında ilk olarak UD'lerin fiziksel parametrelerini elde etmek ve birbirleriyle aralarındaki ilişkileri karşılaştırmak için 10 Güneş leke verisi incelenmiştir. Bazı lekelerde birden fazla umbra bulunması dolayısıyla her bir umbra ayrı ayrı isimlendirilmiştir (Çizelge 3.1). Daha sonra manyetik alan analizi için 8 Güneş leke verisi daha listeye eklenmiştir ve çalışma kapsamında incelenecek umbra sayısı 21'e yükseltilmiştir. 18 Güneş lekesine ait TiO, yeni eklenen bazı lekeler dışında (bu lekeler için NIRIS verisi mevcut değildir) NIRIS verileri ve eş zamanlı seçilen HMI verileri Prof. Vasył YURCHYSHYN tarafından yine hem kendi içinde hem de birbirine göre hizalanarak tarafımıza gönderilmiştir. Bu çalışma kapsamında, analiz edilen Güneş lekeleri Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

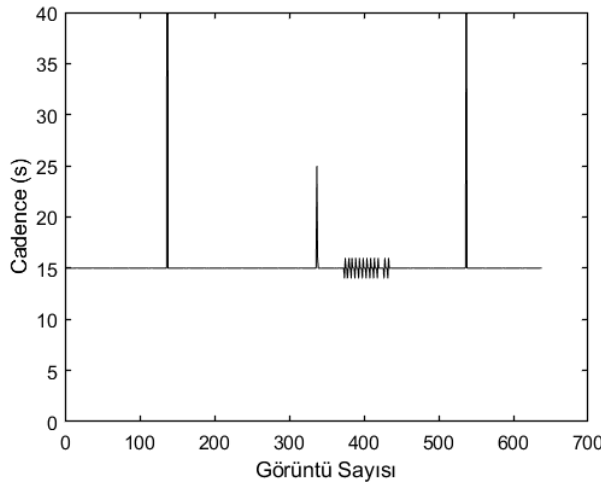
Çizelge 3.1. Çalışma kapsamında kullanılan Güneş lekeleri

Sıra	NOAA Aktif Bölge Numarası	Gözlem Tarihi	Lekenin Konumu
1	AR12384	14/07/2015	S18W19
2	AR12411 (çift zaman serisi)	08/09/2015	N14E13
3	AR12565 (çift umbra)	14/07/2016	N04E30
4	AR12767 (çift zaman serisi)	28/07/2020	S20W18
5	AR12770 (çift umbra)	08/08/2020	N23E11
6	AR12776	20/10/2020	S13W17
7	AR12902	30/11/2021	N18W03
8	AR12934 (çift zaman serisi)	24/01/2022	S25E16
9	AR13046 (çift zaman serisi)	06/07/2022	N18W05
10	AR13053	12/07/2022	N16W20
11	AR11818	15/08/2013	S07W06
12	AR12177	02/10/2014	N12W11
13	AR12313	01/04/2015	N21W28
14	AR12670	08/08/2017	S06W23
15	AR12706 (çift umbra)	23/04/2018	N03E20
16	AR12717	01/08/2018	S07E15
17	AR12720	25/08/2018	N08W38
18	AR13147	20/11/2022	S12E20

3.2. Yöntemler ve Analizler

3.2.1. Görüntülerin Analize Hazırlanması

Her bir Güneş leke verisi için öncelikli olarak veri küpünün zamansal evrimi kontrol edilmiştir (Calisir vd. 2023). Bu duruma örnek olarak seçilen NOAA AR 12770 Güneş leke verisi için aşağıdaki adımlar izlenmiştir; 1) veri küpünün zamansal evrimini ortaya koymak için TiO dosyasında mevcut olan tüm görüntüler IDL programında tek tek okutulmuş, 2) her bir görüntüye ait zaman bilgileri saat-dakika-saniye cinsinden alınmış, 3) görüntülere ait zaman bilgileri standart bir formata (saniyeye) çevrilmiş ve ardışık iki görüntü arasındaki zaman farkı hesaplanmıştır, 4) zaman farklarının grafiği çizdirilmiş ve böylece Şekil 3.1'deki gibi bir zamansal değişim grafiği elde edilmiştir.



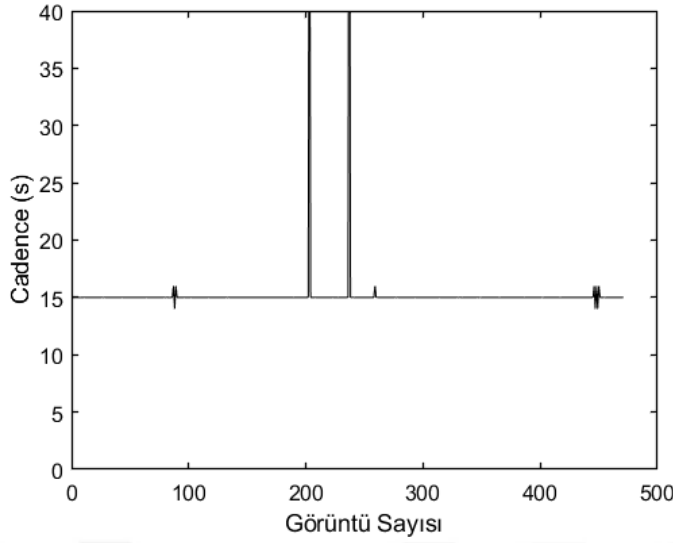
Şekil 3.1. NOAA AR 12770 Güneş lekesinin zamansal değişim grafiği

Burada x eksenini görüntü sayısı (incelenen örnek veri için 638), y eksenini ardışık iki veri arasındaki zaman farkı (cadence) değeridir. $2 \times \text{cadence}$ (30 s) değeri referans olarak kullanılmıştır. Bu kriterin yanı sıra dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise tüm görüntülerin izlenip görüntülerde herhangi bir sıçrama, bozukluk, bulanıklık gibi etkenlerin olup olmadığının kontrol edilmesidir. Grafikteki profile bakılacak olursa cadence değerinin dışında kalan iki nokta olduğu görülmektedir. Veri setindeki 137. ve 537. görüntüler için cadence değeri 30 saniyenin üzerindedir. Bu yüzden çalışmada kullanılacak veriler için 137'den önceki ve 537'den sonraki görüntüler veri küpünden çıkarılmıştır. Dolayısıyla başlangıçta 638 olan veri sayısı 401'e düşürülmüştür. Cadence şartını sağlayan görüntüler belirlendikten sonra bu görüntülerin videosu izlenmiş ve görüntülerin bozuk, bulanık olup olmadığı veya sıçrama yapıp yapmadığı kontrol edilmiştir. Örnek Güneş lekesi için veri küpünün sonlarına doğru 21 görüntü analiz edilemeyecek kadar kötü olduğundan (ardışık görüntülerde sıçrama ve görüntü kalitesinde bozulma mevcuttur) bu görüntüler de veri küpünden çıkarılmıştır. Sonuçta, veri küpündeki nihai görüntü sayısı 380'e düşürülmüştür. Veri küpünün son hali kaydedilmeden önce işlemlerin daha hızlı yapılabilmesi için veri küpündeki tüm

görüntülerin boyutlarının uygun şekilde küçültülmesi gerekmektedir. Örnek veri küpündeki görüntülerin orijinal boyutları 1843x1843 pikseldir. İlk olarak, umbradan kayıp olmayacak şekilde kenarlardan kesme yapılarak görüntü boyutları 701x701 piksele indirilmiştir. Benzer şekilde, aynı işlemler söz konusu leke için alınan manyetik alan görüntüsüne de uygulanarak TiO ve manyetik alan görüntüleri birebir aynı boyutlara getirilmiş ve tüm analizler nihai görüntüler üzerinden yapılmıştır. Yukarıda belirtilen işlem adımları çalışmada incelenen tüm Güneş lekelerine uygulanarak tüm görüntüler analize hazır halde yeni dosyalara kaydedilmiştir. Analize hazır hale getirilen leke verilerinin zaman profilleri incelenerek dört leke verisi (AR 12411, AR 12767, AR 12934 ve AR 13046) ikiye ayrılmış ve aynı lekeye ait iki veriden en iyisi çalışmada kullanılmıştır. Kullanılmayan diğer veri seti ise ileriki dönemde yapılabilecek farklı çalışmalar için arşivlenmiştir. Bu zaman profilinde veri setinin ortalarında cadence şartını sağlamayan iki bölge mevcut olup veri setinin sadece baş ve son kısımları kullanılacak şekilde veri seti ikiye bölünmüştür (Şekil 3.2). Örnek veri setinin ilk kısmı 202, ikinci kısmı 233 görüntü içermektedir. Benzer işlemler diğer üç leke verisine de uygulanmıştır. Bazı Güneş lekelerinde ise iki tane umbra görülmektedir (AR 12565 ve AR 12770). Bu veriler için de her bir umbra ayrı bir leke olarak değerlendirilmiş ve böylece toplamda analiz edilmek üzere ilk aşamada 16 tane veri küpü oluşturulmuştur ve çalışmanın mevcut halinde seçilen 10 leke için toplam 12 veri küpü analizler için kullanılmıştır (Calisir vd. 2023) (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. UD fiziksel parametlerinin elde edilmesi aşamasında kullanılan Güneş lekeleri

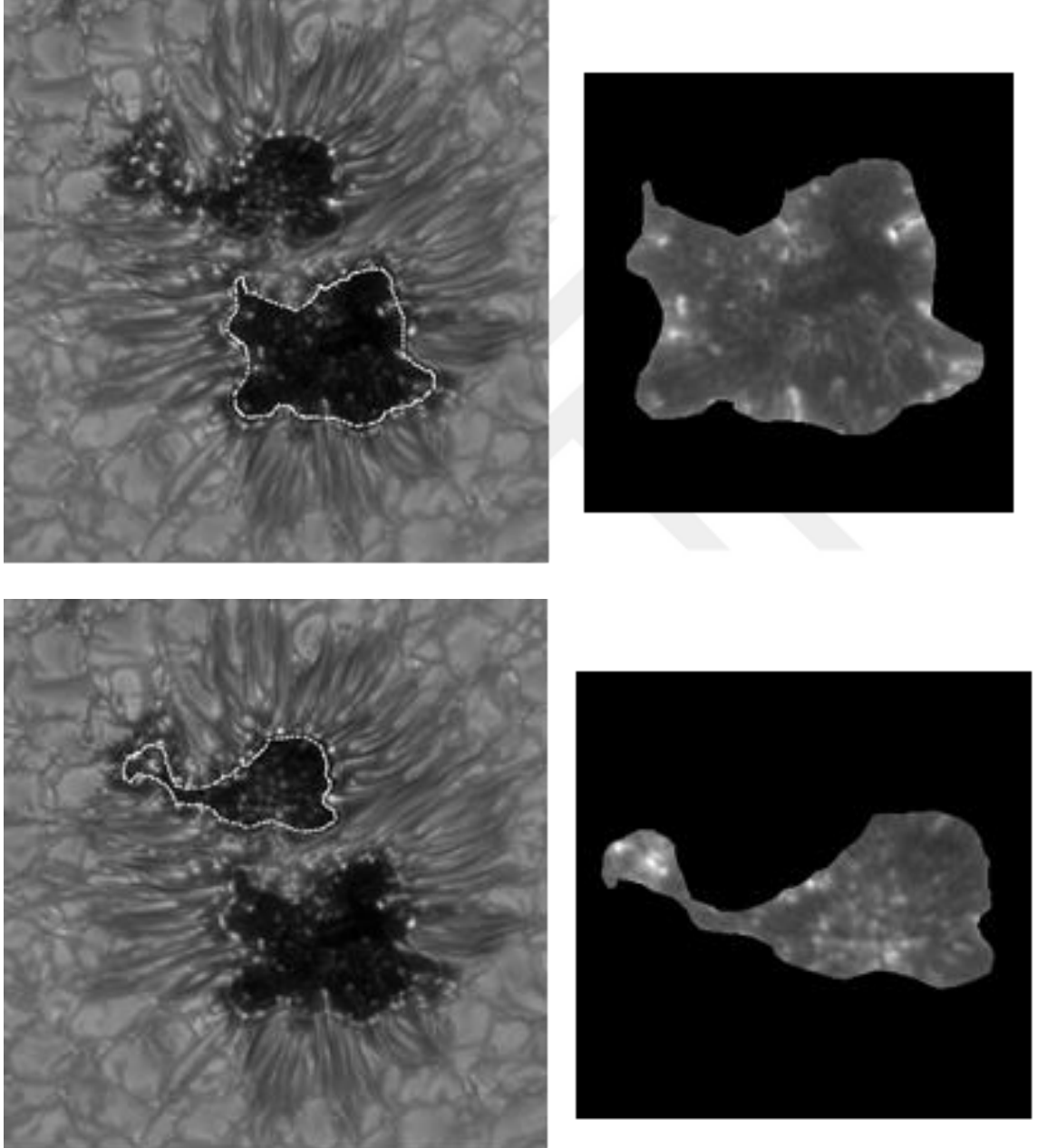
Sıra	NOAA Aktif Bölge Numarası	Gözlem Tarihi	Lekenin Konumu	Cadence (s)
1	AR12384	14/07/2015	S18W19	15
2	AR12411 (çift zaman serisi)	08/09/2015	N14E13	15
3	AR12565 (çift umbra)	14/07/2016	N04E30	15
4	AR12767 (çift zaman serisi)	28/07/2020	S20W18	15
5	AR12770 (çift umbra)	08/08/2020	N23E11	15
6	AR12776	20/10/2020	S13W17	15
7	AR12902	30/11/2021	N18W03	15
8	AR12934 (çift zaman serisi)	24/01/2022	S25E16	15
9	AR13046 (çift zaman serisi)	06/07/2022	N18W05	20
10	AR13053	12/07/2022	N16W20	20



Şekil 3.2. 24.01.2022 tarihli NOAA AR 12934 Güneş leke verisi zaman profili

Sonraki adımda, umbra penumbra sınırını belirlemek için mevcut tüm görüntüler incelenip düzleştirme (smoothing) yapıldıktan sonra umbra penumbra arasında belirgin bir parlaklık farkı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda bu parlaklık farkının lekenin ortalama parlaklığının yaklaşık 0.75 katı olduğu tespit edilmiş ve bu oran dikkate alınarak binary filtre uygulanmak suretiyle tüm lekeler için umbra ve penumbra birbirinden ayrılmıştır (Calisir vd. 2023). Görüntülerde umbra penumbra sınırını daha belirgin hale getirmek için UD boyutuna bağlı bir bandpass filtresi uygulanmıştır. Bandpass filtre, rasgele sayısallaştırmayı ve arka plan gürültüsünü ortadan kaldırmak için bir "Mexican hat" kerneli ile konvolüsyona dayalı bir dalgacık tekniği kullanır (Crocker vd. 1996). Kılçık vd. (2012; 2020) umbral noktaların fiziksel parametrelerini elde etme aşamasında görüntülerdeki gürültü seviyesini azaltmak için alçak geçirgenli bir bandpass filtresi uygulamışlardır. Bu çalışmada, bandpass filtresinin üst ve alt limitleri sırasıyla 9 ve 1 olmak üzere görüntülerde sınırı en iyi şekilde belirleyecek biçimde görsel olarak belirlenmiştir. Literatürde umbra penumbra sınırının belirlenmesine dair standart bir yöntem bulunmamaktadır. Mathew vd. (2007) 88 simetrik Güneş lekesinin şiddetinin ortalama kümülatif histogramlarını hesaplayarak umbra ve penumbrayı ayıran şiddet eşiğinin sakin Güneş'in 0.655 katı olduğunu bulmuştur. Valio vd. (2020) SOHO görüntülerini kullanarak 32.223 Güneş lekesinin analizini yaparak elde ettikleri sonuçlar ışığında 0.655 değerinin 5196 K sıcaklığa karşılık geldiğini ve kullandıkları verilerde umbra penumbra arasındaki ayrımın deneysel olarak bulunduğu yerin 5200 K'lık bir sıcaklık eşiğine sahip olduğunu ve bunun da disk merkezine göre 0.657'lik bir parlaklık oranına karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Thomas ve Weiss (2004) ortalama penumbral şiddetin lekenin dışındaki bölgenin yaklaşık %75'ine eşit olduğunu rapor etmişlerdir. Bu proje çalışmasında kullanılan 0.75 değeri Thomas ve Weiss (2004) değeriyle tam olarak aynı olup diğer iki değerden daha büyüktür. Bunun sebebinin çalışmada penumbra ve penumbranın dış

civarının parlaklık değerinin hesaba katılması olduğu düşünülmektedir. Burada, elde edilen 0.75 değeri çalışmada kullanılan lekeler görsel olarak incelenerek en iyi ayrımı verecek şekilde belirlenmiştir (Calisir vd. 2023). Kullanılan tüm lekeler için umbra-penumbra sınırı bandpass filtresi kullanılarak belirlendikten sonra çift umbraya sahip olan lekelerdeki iki umbranın IDL dilinde tarafımızca yazılmış bir kod kullanılmak suretiyle manuel olarak ayrımı yapılmış ve sonuçta iki farklı umbra verisi elde edilmiştir (Şekil 3.3).



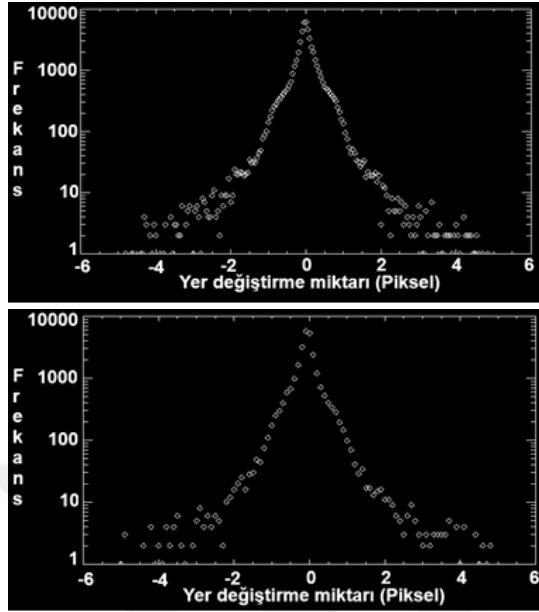
Şekil 3.3. NOAA AR 12770 için ana görüntüdeki büyük umbranın (üst panel) ve küçük umbranın (alt panel) seçimi ve seçilen bu kısımların tüm görüntüden çıkarılarak ayrılması

Elde edilen umbra görüntülerinin daha hızlı analiz edilmesi için ikinci bir kesme işlemi yapılarak görüntü boyutları her bir umbra için yeniden uygun hale getirilmiştir. Örnekte verilen 701x701 piksel boyutlarındaki büyük ve küçük umbra görüntüleri sırasıyla 311x311, 311x311 piksel boyutlarına getirilmiştir. Kesme işleminin ardından, her Güneş lekesinin dışındaki sakin bölgesinden seçilen 100x100 piksellik bir alanın ortalama şiddetine bölerek umbra görüntüleri normalize edilmiştir. Daha sonra görüntülerdeki gözlemsel ve atmosferik etkilerden kaynaklanan parlaklık farkları ve hataları ortadan kaldırmak için görüntülere FFT (Fast Fourier Transform) filtre uygulanmıştır (Kilcik vd. 2012). Benzer yöntemler literatürde de benzer amaçlar için kullanılmıştır; Ebadi vd. (2017) umbral parlak noktaların (UD) hareket yolunu belirlemeye yönelik olarak FFT filtresi uygulamışlardır. Watanebe vd. (2009) CCD veya foton gürültüsünü azaltmak için alçak geçiren FFT filtre uygulamışlardır.

3.2.2. UD'lerin Tespiti, Takibi ve Parametrelerinin Elde Edilmesi

Analize hazır hale getirilen Güneş lekelerindeki UD'lerin tespit edilebilmesi için Crocker ve Hoffman (2007) tarafından yazılmış ve tarafımızca modifiye edilmiş IDL kodları kullanılmıştır (Calisir vd. 2023). Referans görüntülerin belirlenmesi için bir veri küpündeki tüm görüntüler sırasıyla incelenerek veri küpünün ortalarına denk gelecek şekilde en yüksek kaliteye sahip görüntü görsel olarak belirlenip referans görüntü olarak seçilmiştir. Referans görüntü üzerinden en büyük UD'nin çapı manuel olarak ölçülmek suretiyle bu değer birkaç piksel büyüğü çalışma kapsamında hesaplanacak en büyük UD çapı olarak alınmıştır ve bunun sonucunda UD'leri tespit etmek için referans olarak alınan en büyük UD çapı 15 piksel olarak ayarlanmıştır. Görüntülerdeki UD'leri daha belirgin hale getirmek ve verideki gürültüyü azaltmak için görüntülerdeki UD'leri belirlemeden ve takibe başlamadan hemen önce bir FFT filtresi uygulanmıştır. Yapılan öncü işlemler sonucunda tüm görüntüler aynı kriterlere göre analiz edilmiş ve veri küpüne ait tüm görüntülerdeki UD'ler tespit edilmiştir. Her bir UD'ye ait x-y koordinat bilgisi (X center, Y center), toplam şiddet, yarıçap, basıklık ve bulunduğu görüntü numarası kaydedilmiştir. Kullanılan kod yardımıyla her bir Güneş leke umbrasında bulunan her bir UD'nin en parlak noktası UD'nin merkezi (X center, Y center) olarak tanımlanmıştır. UD'lerin neredeyse tamamı eliptik yapıya sahip olduğundan belirlenen her bir UD'ye en uygun elips fit edilmiş ve UD'nin basıklığı hesaplanmıştır. Bu elips içerisindeki her bir piksele ait şiddet değerleri toplanarak UD'nin toplam şiddeti elde edilmiştir. Belirlenen elipsin yarı büyük eksenini üzerinden ölçülen yarıçap değeri de UD yarıçapı olarak hesaplanmıştır. Veri küpüne ait tüm görüntülerde tespit edilen tüm UD'leri takip etmek için veri seti elimizde mevcut olan takip kodu ile tekrar okutulmuştur. Bu kod yardımıyla UD'lerin konum bilgilerine (X center ve Y center) bakılarak iki parametre daha tanımlanmıştır. Birincisi, gözlenen koordinatlardaki UD'nin ardışık iki görüntü arasındaki maksimum yer değiştirmesi en fazla 5 piksel olacak şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle, eğer UD ardışık iki görüntü arasında 5 pikselden daha fazla hareket etmiş ise yeni bir UD olarak değerlendirilmiştir. Bu

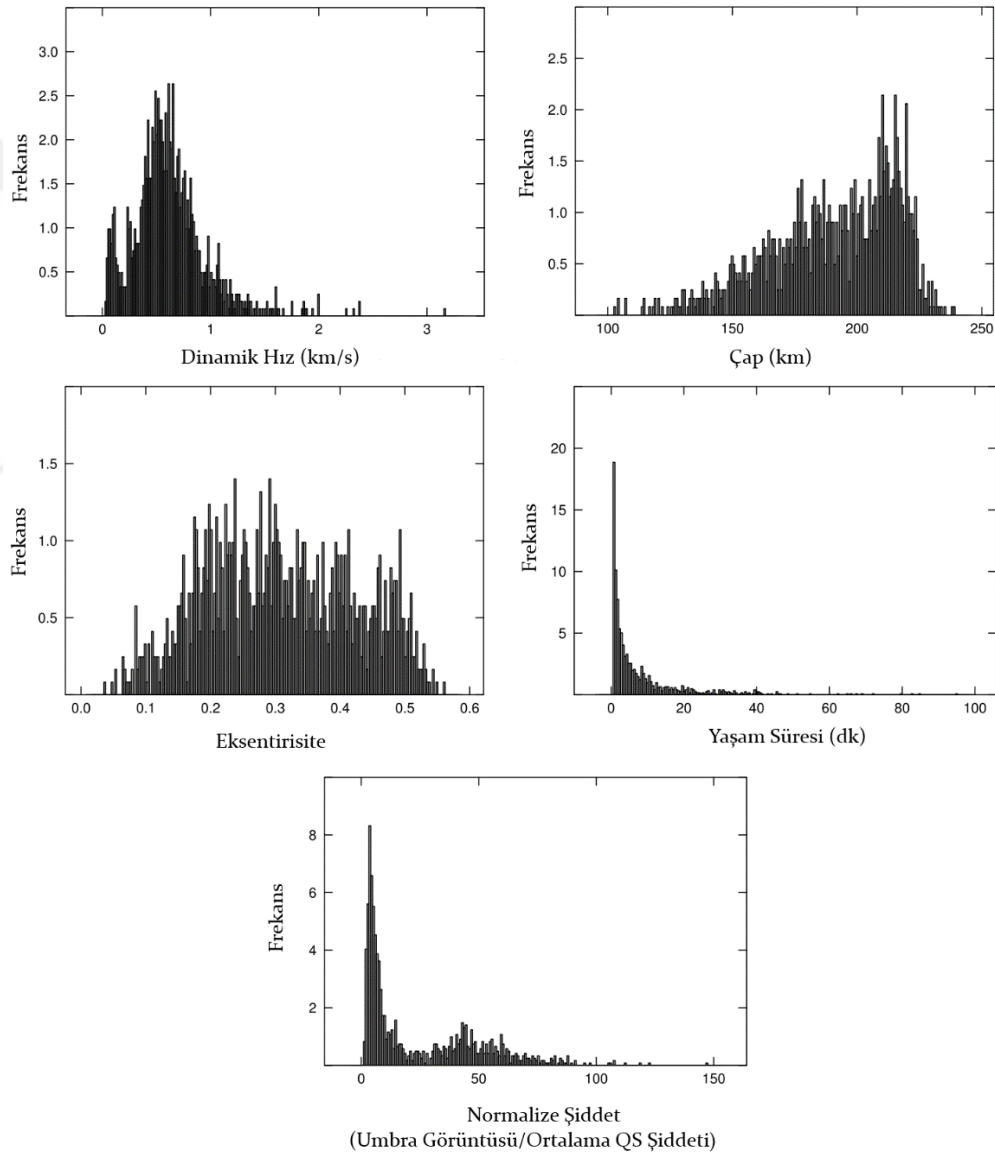
değerin belirlenmesi için UD'lerin konum histogramları çizdirilmiştir (Şekil 3.4) ve buna göre bu girdi parametresinin uygun olup olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 3.4. NOAA AR 12770 büyük umbra (üst panel) ve küçük umbra (alt panel) için çizdirilmiş histogram

İkincisi, UD'nin maksimum görülmeme zamanıdır. Bu değer UD'nin ardışık görüntülerde gözlenmediği görüntü sayısı olup çalışma kapsamında üç görüntü olarak belirlenmiştir. Eğer bir UD ardışık üç görüntüde aynı bölgede gözlenmeyip dördüncü görüntüde tekrar gözlemlendiyse ayrı bir UD olarak değerlendirilmiş ve yeni bir UD numarası (ID) almıştır. Bu parametreler girildikten sonra tespit edilen tüm UD'ler belirlenen kriterlere göre takip edilir ve veri küpü içindeki tüm UD'ler koordinatlarına göre aranarak belli bir ID alır. Belirlenen UD'lere ait bilgiler ID, X center, Y center, toplam şiddet, yarıçap ve eksentirisite bilgilerini içerecek şekilde kaydedilmiştir. Takip edilen her bir UD'nin ortalama parametreleri (X center, Y center, toplam şiddet, yarıçap, eksentirisite) söz konusu UD'nin yaşam süresi boyunca tüm parametre değerlerinin aritmetik ortalaması alınmak suretiyle hesaplanmıştır. Ortalama X center, Y center, eksentirisite ve toplam şiddet için doğrudan tüm değerlerin ortalaması alınırken, ortalama çap için elde edilen değer piksel cinsinden olup km'ye çevrilmiştir. UD'lerin yaşam süresi için toplam gözlemlendikleri görüntü sayısı cadence ile çarpılmak suretiyle saniye cinsinden hesaplanmış ve ardından da elde edilen değer dakikaya çevrilmiştir. UD'lerin ortalama dinamik hızlarını bulmak için ilk görüntüden itibaren veri küpündeki tüm görüntüler taranarak bu UD'lerin yaşam süresi boyunca konumları takip edilmiş ve UD'lerin merkezi koordinatlarındaki yer değiştirmeler ve gözlem zamanları dikkate alınarak ardışık iki görüntü arasındaki anlık hız değerleri hesaplanmıştır (Kilcik vd. 2020). Daha sonra bu hız değerlerinin ortalaması alınarak her bir UD'nin yaşam süresi boyunca ortalama dinamik hız değeri km/s cinsinden

hesaplanmıştır. Böylelikle, her bir umbrada gözlenen her bir UD için ortalama parlaklık, ortalama çap, ortalama eksentrisite, yaşam süresi, ortalama X center, ortalama Y center ve ortalama dinamik hız değerleri elde edilmiştir. Yukarıda verilen tüm hesaplamalar UD takip koduna tarafımızca yapılan eklemeler sonucunda otomatik olarak yapılmakta ve her bir umbra için tüm ortalama UD parametreleri kolay bir şekilde hesaplanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, elde edilen tüm UD'lerin birbirleriyle karşılaştırmasını yapmak için öncelikle verilerdeki aykırı değerlerin bulunması ve temizlenmesi amaçlanmıştır (Calisir vd. 2023). Bu amaç doğrultusunda ilk olarak uygun yöntemin belirlenmesi için ortalama UD parametrelerinin histogramları çizdirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. 08.08.2020 tarihli NOAA AR 12770 Güneş lekesine ait büyük umbra için ortalama parametrelerin parlaklık, çap, eksentrisite, yaşam süresi ve dinamik hız değerlerinin dağılımları

Bu grafikler incelendiğinde tüm lekeler için dinamik hızın dağılımının normal dağılıma yakın bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Dinamik hız dağılımında hızı düşük olanlar arka plan gürültüsü, hızı yüksek olanlar ise görüntüdeki zıplamalar veya bozulmalar olarak değerlendirilmiş ve bu değerlerin aletsel veya gözlemsel hatalardan kaynaklandığı düşünülmüştür. Aykırı değerlerin ayıklanması/veri setinden çıkarılması için ortalama dinamik hız parametresine box plot (Çeyrekler Açıklığı, Interquartile Range - IQR) yöntemi uygulanmıştır (Calisir vd. 2023). Box plot yönteminde verinin dağılımı çeyrek değerler üzerinden değerlendirilir (Tukey 1970, 1977); i) dinamik hız değerlerinin medyanı bulunur ($Q2 = \% 50$). $Q2$, verilerin ikinci çeyreği olarak da adlandırılır. ii) serideki minimum değer ile serinin medyanı arasındaki medyan bulma işlemi gerçekleştirilir ($Q1 = \% 25$). $Q1$, verinin ilk çeyreğidir, verinin $\% 25$ 'i minimum değer ile $Q1$ arasında yer alır. iii) serinin medyanı ile maksimum değer arasındaki medyanı bulunur ($Q3 = \% 75$). $Q3$, verilerin üçüncü çeyreğidir, verilerin $\% 75$ 'i maksimum değer ile $Q3$ arasında yer alır. iv) çeyrekler açıklığı hesaplanır;

$$IQR = Q3 - Q1 \quad (3.1)$$

Çeyrekler açıklığı 1.5 ile çarpılarak alt ve üst sınırlar elde edilir. Burada 1.5 değeri bir ölçektir ve dağılımın genel yapısının bozulmamasını sağlamaktadır. Alt ve üst sınırları tespit etmek için IQR değeri $Q1$ ve $Q3$ ile işleme sokulur ve veri setinin dağılımı biraz daha daraltılır. Alt sınırı bulmak için:

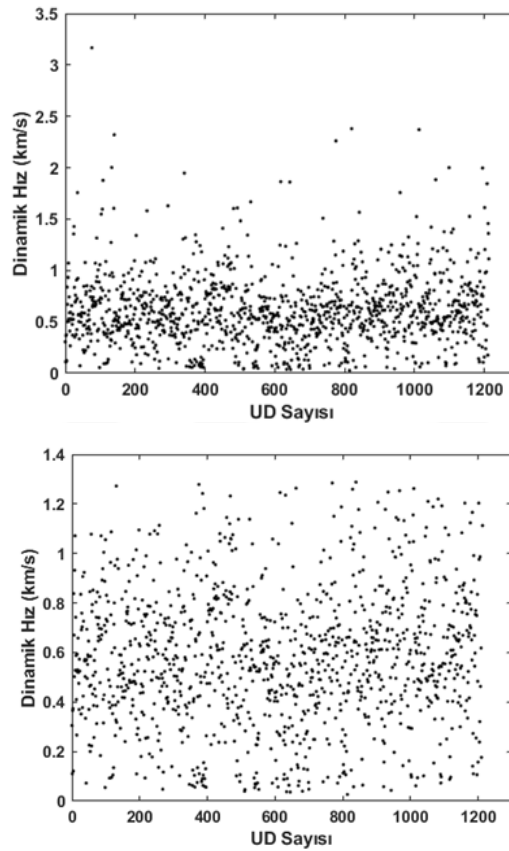
$$Q1 - (IQR * 1.5) \quad (3.2)$$

Üst sınırı bulmak için:

$$Q3 + (IQR * 1.5) \quad (3.3)$$

işlemleri uygulanır (Frigge vd. 1989; Hyndman ve Fan 1996; Rousseuw vd. 1999; Dekking vd. 2005). Burada alt sınırdan küçük değerler ile üst sınırdan büyük değerler aykırı değerler olarak kabul edilerek veri setinden atılır. Çalışma kapsamında, aykırı değerler yukarıda verilen adımlar takip edilerek bulunmuş ve bu değerlere karşılık gelen UD'ler veri setlerinden atılmıştır. Aykırı değerlerin kaldırılmasına ek olarak veri setlerinin uzunluğuna yakın yaşam sürelerine sahip UD'ler yaşam süresi dağılım grafikleri çizilerek görsel olarak kontrol edilmiş ve uygun olmayan UD'ler veri setlerinden atılmıştır (Calisir vd. 2023). Söz konusu yaklaşım tüm lekeler için de uygulanıp aykırı değerler tüm veri setlerinden atılmıştır. Aykırı değerler veri setlerinden çıkarıldıktan sonra her bir lekeye ait ortalama UD parametreleri kendi aralarında karşılaştırılarak bu parametreler arasındaki ilişkiler ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak ortalama UD parametrelerinin birbirlerine göre değişim grafikleri çizdirilmiş ve bu grafiklere en uygun fitler ve bu fitlerin denklemleri elde

edilmiştir. Böylece, karşılaştırılan UD parametreleri arasında herhangi bir ilişki olup olmadığı ortaya konmuştur. Seçilecek fitin türüne ise iki parametre arasındaki en yüksek uyumun (en yüksek R^2 değeri) elde edilmesiyle karar verilmiştir. Tüm veri setleri için elde edilen ortalama UD parametreleri arasındaki ilişkilerin derecesi ve yönünü belirlemek için Pearson korelasyon analizi yöntemi uygulanmıştır. Korelasyon katsayılarının hataları Fisher testi uygulanarak hesaplanmıştır. Bu test %95 güven düzeyiyle elde edilen korelasyon katsayılarının alt ve üst anlamlılık sınırlarını belirlemek için kullanılmış olup, çalışma kapsamında mutlak değerce yüksek olan korelasyon katsayısı ve alt/üst anlamlılık sınırı arasındaki fark hata değeri olarak kabul edilmiştir (Calisir vd. 2023).



Şekil 3.6. Üst panel: NOAA AR 12770 büyük umbra için ortalama dinamik hız değerlerinin dağılımı (box plot uygulamadan önce). Alt panel: NOAA AR 12770 büyük umbra için box plot yaklaşımı uygulandıktan sonraki ortalama dinamik hız değerlerinin dağılımı

3.2.3. UD Parametrelerinin Lekenin Manyetik Alanı ile İlişkinin Araştırılması

Kullanılan umbra verilerinin büyük çoğunluğuna ait yaklaşık eş zamanlı NIRIS, TiO ve SDO/HMI verileri elde edilmiş olup NIRIS ve HMI verileri TiO parlaklık verileri ile karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. İncelenen lekelerden 5 tanesine ait

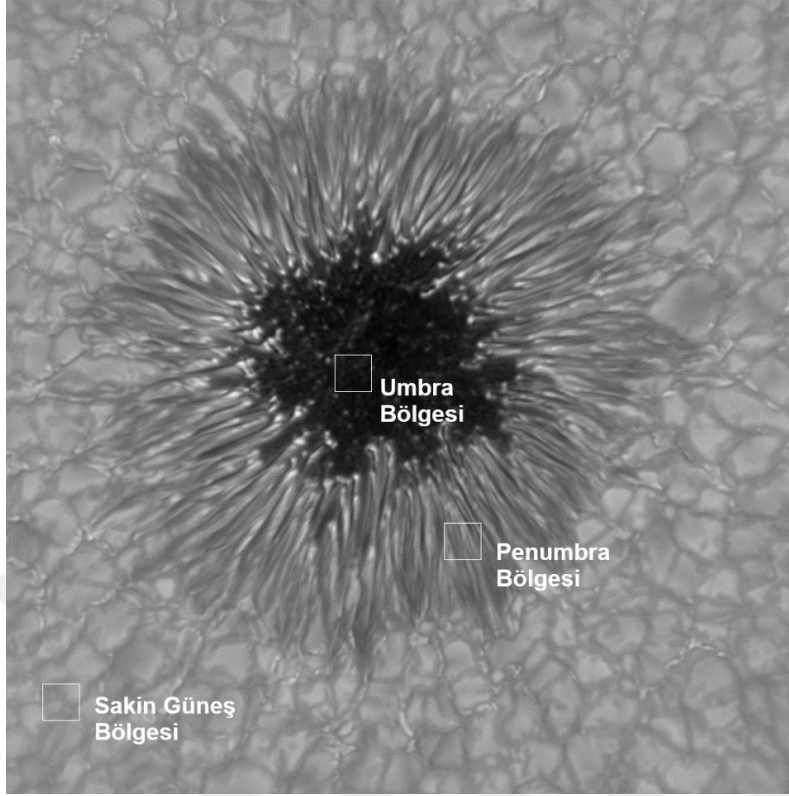
manyetik alan verisi mevcut olmayıp bu kısımda analiz edilen lekeler Çizelge 3.3’de listelenmiştir. Manyetik alan ve UD fiziksel parametreleri arasındaki muhtemel ilişkileri ortaya çıkarmak için iki farklı yaklaşım (manuel ve otomatik) kullanılmıştır. Bu yaklaşımlar kullanılarak ortalama parlaklık ve manyetik alan değerleri hesaplanmıştır. Burada daha önce bölüm 3.2.2.’de kullanılan referans görüntüler yerine manyetik alan görüntüsüyle yaklaşık eş zamanlı olacak TiO görüntüleri seçilmiştir. Kullanılan 13 leke için aynı işlemler uygulanmıştır. UD’ler tek bir görüntü üzerinden hem manuel yaklaşım hem de otomatik yaklaşım ile tespit edilmiştir.

Çizelge 3.3. Manyetik alan analizinde kullanılan Güneş lekeleri

Sıra	NOAA Aktif Bölge Numarası	Gözlem Tarihi	Lekenin Konumu	TiO Zamanı (UT)	NIRIS Zamanı (UT)	HMI Zamanı (UT)
1	AR12384	14/07/2015	S18W19	17:52:02	17:52:09	17:52:30
2	AR12411	08/09/2015	N14E13	16:30:38	16:30:45	16:30:45
3	AR12565	14/07/2016	N04E30	16:41:25	16:41:24	16:41:15
4	AR12767	28/07/2020	S20W18	16:23:56	16:24:00	16:24:00
5	AR12770	08/08/2020	N23E11	17:18:02	17:18:09	17:18:00
6	AR12776	20/10/2020	S13W17	18:01:06	18:01:03	18:00:00
7	AR12902	30/11/2021	N18W03	16:35:57	16:35:52	16:35:15
8	AR12934	24/01/2022	S25E16	17:43:37	17:43:33	17:42:45
9	AR13046	06/07/2022	N18W05	18:32:03	18:32:10	18:32:15
10	AR13053	12/07/2022	N16W20	20:02:43	20:02:50	20:03:00
11	AR12717	01/08/2018	S07E15	16:48:46	16:48:48	13:14:15
12	AR12720	25/08/2018	N08W38	17:04:47	17:04:48	17:05:15
13	AR13147	20/11//2022	S12E20	17:50:28	17:50:26	17:50:15

3.2.3.1. Birinci Yaklaşım (Manuel):

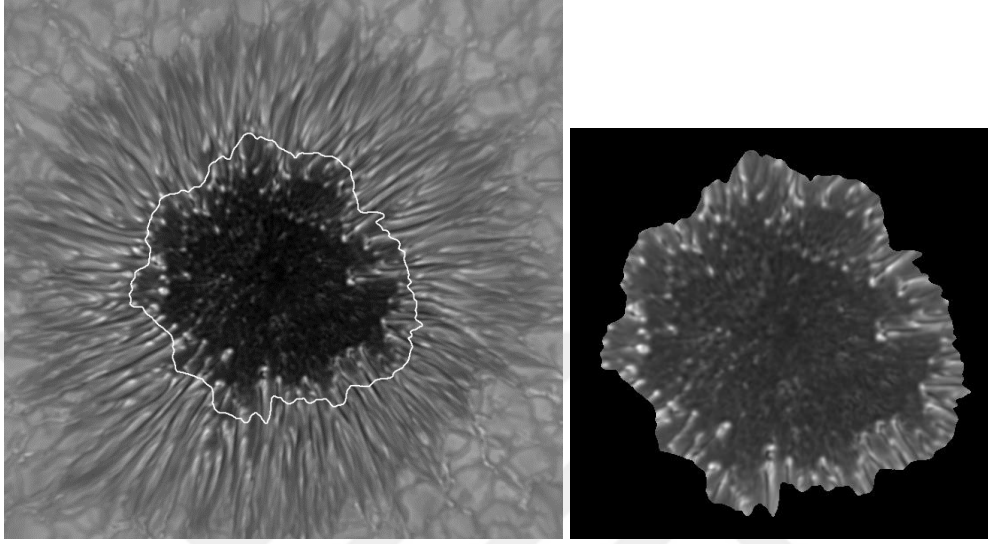
Seçilen eş zamanlı TiO görüntülerindeki gözlemsel ve atmosferik etkilerden kaynaklanan parlaklık farkları ve hataları ortadan kaldırmak için görüntülere FFT (Fast Fourier Transform) filtre uygulanmıştır (Kilcik vd. 2012). Bölüm 3.2.1’de sadece merkezi umbral noktalar (CUD) dahil edilmişti. Manyetik alan analizinde çevresel umbral noktalarda (PUD) dahil edilmiştir. Bu amaçla hem CUD ve hem de PUD’ları analizde kullanmak için öncelikle umbra penumbra ayırma katsayısı yeniden belirlenmiştir. Tüm lekeler için umbra, penumbra ve sakin Güneş bölgelerinden seçilen ve lekenin şekline bağlı olarak 50x50 piksel veya 100x100 piksel boyutlarında kutucuklar oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Bu kutucukların içinde kalan bölgelerin ortalama parlaklık değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.3’de tüm lekeler için seçilen bölgelerin ortalama şiddet değerleri sunulmuştur. İncelemeler sonucunda tüm lekelerde penumbra/sakin Güneş bölgesi oranının CUD ve PUD bölgelerini en iyi şekilde temsil ettiği tespit edilmiştir. Bu oranlar her Güneş lekesi için ayrı ayrı hesaplanmış ve hesaplanan orana göre umbra manuel olarak seçilmiş ve penumbradan ayrılarak elde edilen son görüntüler kaydedilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. NOAA AR 12384 Güneş lekesinde umbra, penumbra ve sakin Güneş bölgeleri için 50x50 piksellik kutucukların konumları

Belirtilmelidir ki, daha önce çift umbra şeklinde analiz edilen lekeler bu oranın kullanılmasıyla tek umbra halini almıştır. Toplamda 13 lekenin umbrası manyetik alan analizi için kullanılmıştır. Görüntülere, UD'lerin daha belirgin hale getirilip tespit edilmesini kolaylaştırmak için bölüm 3.2.1'de kullanılan bandpass filtresi uygulanmıştır. Kılçık vd. (2012; 2020) umbral noktaların fiziksel parametrelerini elde etme aşamasında görüntülerdeki gürültü seviyesini azaltmak için alçak geçirgenli bir bandpass filtresi uygulamışlardır. Bu çalışmada ise bandpass filtresi UD'leri belirgin hale getirmek ve manuel seçim işlemini kolaylaştırmak için başlangıçta uygulanmış ve analizlerin sonraki kısmında kullanılmamıştır. Analizler orijinal görüntü üzerinden yapılmıştır. Bandpass filtresi uygulandıktan sonra görüntüler üzerinden manuel seçim yapılarak tek tek UD'ler tespit edilmiştir (Şekil 3.9). Burada, seçim yaparken olabildiğince yuvarlak parlak noktalar dikkate alınmış olup görsel kontrol yapıldığında diğer yapıların UD olmadığı görülmüştür. 13 eş zamanlı TiO görüntüsü için UD'ler tespit edilip konumları (X center ve Y center) elde edilmiştir. Parlaklıkların hesaplanması için UD çapı görüntülerdeki en büyük UD çapından birkaç piksel daha büyük olacak şekilde yine 15 piksel olarak ayarlanmıştır. Böylece, manuel ve otomatik seçim karşılaştırılabilir hale getirilmiştir. Seçilen herhangi bir UD için bulunduğu konumda 15 piksellik bir kutucuk oluşturulup o bölge içindeki ortalama parlaklık değeri hesaplanmıştır. Her bir UD için bu işlemler yapıldıktan sonra tüm lekelerdeki eş zamanlı görüntülere uygulanmıştır. Hesaplanan ortalama parlaklık değeriyle birlikte

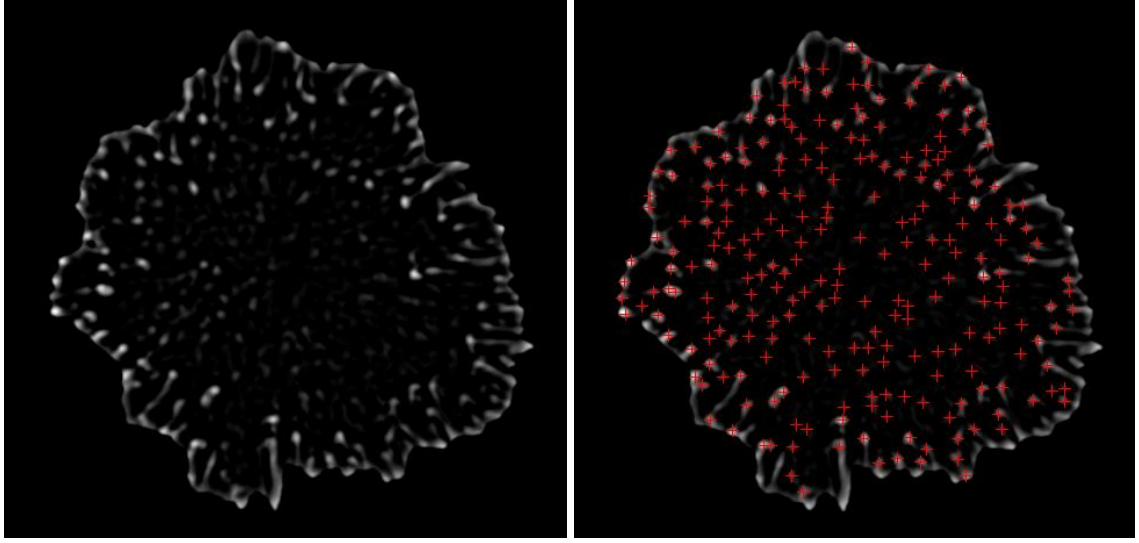
UD'ye karşılık gelen konum bilgileri kaydedilip her leke için veri setleri oluşturulmuştur. Ardından her bir UD'nin aynı konumuna karşılık gelen noktalar NIRIS ve HMI görüntüsünde belirlenmiştir (Şekil 3.11). UD'ların bulunduğu konumda 15 piksellik bir kutucuk oluşturulup o bölge içindeki ortalama manyetik alan şiddeti hem NIRIS hem de HMI için hesaplanmıştır.



Şekil 3.8. NOAA AR 12384 Güneş lekesi için hesaplanan oran kullanılarak umbranın seçimi (sol panel) ve seçilen bu kısmın tüm görüntüden çıkarılarak ayrılması (sağ panel)

Çizelge 3.3. Tüm lekeler için umbra, penumbra ve sakin Güneş bölgeleri parlaklık değerleri

No	NOAA Aktif Bölge Numarası	Sakin Güneş	Umbra	Penumbra	Penumbra/Sakin Güneş Oranı
		Ortalama parlaklık			
1	AR11818	6664.6	1919.75	5536.97	0.83
2	AR12177	6759.76	2832.23	5909.22	0.87
3	AR12313	7664.9	3363.05	6382.84	0.83
4	AR12384	7399.15	2530.05	6186.08	0.84
5	AR12411	7297.94	2815.28	6297.24	0.86
6	AR12565	7161.22	1763.87	5956.57	0.83
7	AR12670	6356.51	1604.52	5282.5	0.83
8	AR12706	7360.93	2568.64	6116.57	0.83
9	AR12717	5673.82	2694.01	4713.19	0.83
10	AR12720	6482.57	2779.27	5404.55	0.83
11	AR12767	6124.31	1528.93	5042.12	0.82
12	AR12770	5904.85	1707.17	4962.63	0.84
13	AR12776	6817.37	1932.66	5646.41	0.83
14	AR12902	7088.13	2853.89	5946.36	0.84
15	AR12934	6686.73	1895.42	5590.51	0.84
16	AR13046	6623.22	2195.06	5586.34	0.84
17	AR13053	6265.58	1865.09	5333.13	0.85
18	AR13147	39708	11521.4	33000.6	0.83

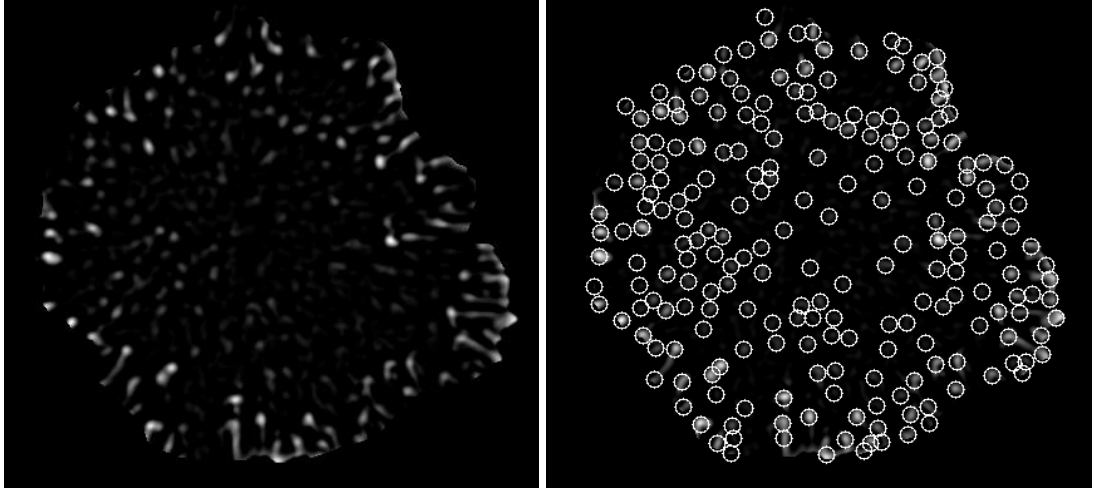


Şekil 3.9. NOAA AR 12384 Güneş lekesine bandpass uygulanması (sol panel) ve manuel olarak UD'lerin seçilmesi (sağ panel: kırmızı renkli artı işaretler)

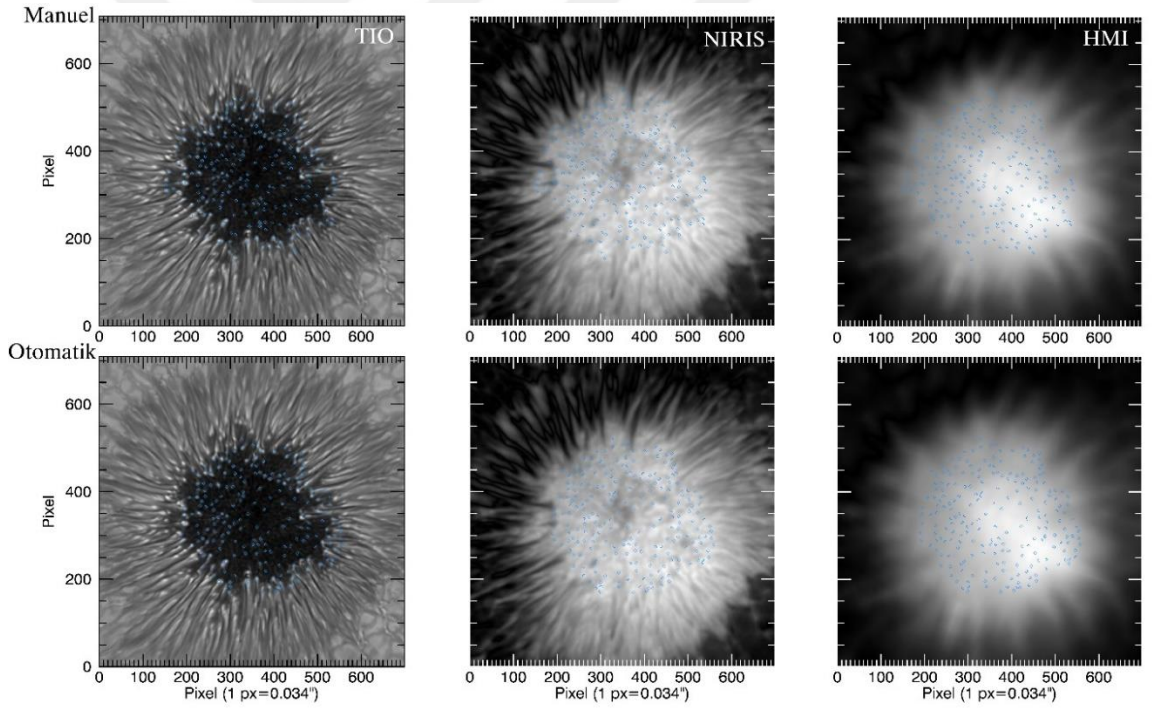
3.2.3.2. İkinci Yaklaşım (Otomatik):

Manuel yaklaşımdan farklı olarak otomatik kod umbranın kenarlarında bulunan sınırlardaki yapıların UD olup olmadığını net olarak algılayamamaktadır. Bu problemin önüne geçmek için umbra manuel seçilirken kenarlardan bir miktar içeriye girilerek ve görsel olarak yapıların UD olup olmadığı kontrol edilerek umbra sınırları belirlenip penumbradan ayrılmıştır. Otomatik yaklaşım ile manyetik alan analizi yapılırken benzer şekilde manuel yaklaşımda kullanılan eş zamanlı TiO görüntüleri üzerinden UD tespiti otomatik kod (Crocker ve Hoffman (2007) tarafından yazılmış ve tarafımızca modifiye edilmiş IDL kodları) kullanılarak yapılmıştır.

Kullanılan tüm görüntülere manuel yaklaşımdaki gibi ilk önce bandpass filtresi uygulanmıştır. Her lekeye ait eş zamanlı TiO görüntüleri kullanılarak UD'ler bölüm 3.2.2'de kullanılan otomatik takip kodu ile tespit edilip parlaklıkları hesaplanmıştır. Manuel yaklaşım ile sonuçların kıyaslanabilmesi için UD'lerin toplam parlaklığı yerine burada elips içindeki ortalama parlaklık kullanılmıştır. UD'ler yaklaşık eş zamanlı TiO görüntüsü üzerinden en büyük çap 15 piksel seçilerek otomatik IDL kodu kullanılarak tespit edilmiş ve parlaklıkları hesaplanmıştır. Şekil 3.10'da NOAA AR 12384 lekesi için kullanılan TiO görüntüsündeki UD'lerin tespiti gösterilmiştir. Otomatik kod ile elde edilen her bir UD için fiziksel parametreler kaydedilmiş (X center, Y center, parlaklık, çap, eksentrisite) ve tüm lekeler için bu işlem uygulanmıştır. NIRIS ve HMI görüntülerinde konumlandırıldıktan sonra aynı 15 piksellik bölge için ortalama manyetik alan şiddeti değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.10. NOAA AR 12384 Güneş lekesine bandpass uygulanması (sol panel) ve otomatik kodla UD'lerin seçilmesi (sağ panel: beyaz daireler)



Şekil 3.11. TiO (sol panel) görüntüsünden manuel olarak tespit edilen UD'lerin NIRIS (orta panel) ve HMI (sağ panel) görüntülerinde konumlandırılması. Üst panel manuel yaklaşım, alt panel ise otomatik yaklaşım sonuçlarını göstermektedir

3.2.4. UD'lerin CUD ve PUD olarak ayrılması

Merkezi umbral noktalar (CUD) ile çevresel umbral noktaların (PUD) manyetik alanla ilişkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda UD fiziksel parametrelerinin histogramları

incelenmiştir. Örnekte verilen NOAA AR 12770 Güneş lekesine ait şekil 3.5'deki histogramlara bakıldığında parlaklık histogramı çap ve eksentrisiteye göre daha belirgin yapıda çift pikli bir dağılım göstermektedir. Tüm lekelerin parlaklık histogramları incelendiğinde söz konusu çift pikli yapının tüm lekelerin parlaklık verisinde mevcut olduğu tespit edilmiş ve bu çift pikli yapının ara bölgesi CUD ve PUD ayrım sınırı bölgesi olarak kullanılmıştır. CUD ve PUD ayrımına yönelik olarak farklı kümeleme yöntemleri (Hiyerarşik kümeleme, K-Means ve K-Medoids, Yoğunluk tabanlı kümeleme, Gauss karışım modeli, Spektral kümeleme ve Bulanık kümeleme (Fuzzy C-Means, FCM)) denenmiş olup yöntemler arasında en iyi sonucu veren yöntemin FCM olduğu tespit edilmiştir. UD'lerin CUD ve PUD olarak ayrılması için ilk olarak yukarıda bahsedilen iki farklı yaklaşım sonucunda (manuel ve otomatik) elde edilen veri setleri kullanılmıştır. Her bir lekeye ait ortalama UD parlaklık parametresine FCM kümeleme yöntemi uygulanmıştır

FCM, makine öğreniminde kullanılan bulanık kümeleme algoritmasıdır. Veri setindeki her verinin belirli bir dereceye kadar her kümeye ait olduğu ve n adet kümeye gruplandırıldığı bir veri kümeleme tekniğidir. Örneğin, bir kümenin merkezine yakın olan bir veri noktasının o kümede yüksek derecede üyeliği olacaktır ve bir kümenin merkezinden uzakta bulunan başka bir veri noktasının o kümeye düşük derecede üyeliği olacaktır. Bu yöntem veri setindeki noktaların istenilen küme sayısına göre gruplandırmasını sağlamaktadır. Kümeleme işlemi yapmak için her bir lekeye ait sadece ortalama UD parlaklık değerlerini içerecek veri setleri oluşturulup kaydedilmiştir. Kümeleme işlemi yapabilmek için ilk olarak kümeleme algoritması ayarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, CUD ve PUD olmak üzere 2 küme elde etmek istediğimiz için FCM küme sayısı (N parametresi) 2 olarak belirlenmiştir. Diğer bir parametre ise kümeler arasındaki örtüşme derecesini kontrol eden bulanık ayırma matrisinin katsayısı (M) olup bu değer 1'den büyük olmalıdır. Parlaklık dağılım grafiğindeki CUD-PUD ara bölgesi görsel olarak kontrol edilip örtüşme miktarının en fazla olduğu değer bulanık ayırma matrisi katsayısı olarak seçilmiştir. Çalışma kapsamında en iyi uyumu veren değer yapılan denemeler sonucunda örneğin NOAA AR 12384 nolu leke için 4.74 ($M = 4.74$) olarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4). Eğer M değeri bir olarak seçilirse iki küme arasında örtüşen noktalar olmayacaktır. M değeri 1'den ne kadar büyük olursa örtüşme miktarı da o kadar artacaktır. FCM, belirlenen N ve M parametrelerine bağlı olarak okutulan veri setine göre kümeleme işlemi yapmaktadır. Küme merkezleri için rastgele bir ilk tahmin elde edilir ve bu, her bir kümenin ortalama konumudur. Ardından her veri noktasına belirtilen her küme için rastgele bir üyelik derecesi atanır. Küme merkezleri ve üyelik dereceleri M değerine bağlı olarak her bir veri noktası için yinelemeli olarak güncellenir. Bu yineleme ile herhangi bir veri noktasından o veri noktasının kümedeki üyeliği ile ağırlıklandırılmış küme merkezine olan mesafesi en aza indirilir. Daha sonra küme merkezleri veri kümesi içinde doğru konuma taşınır ve her veri noktası için iki kümedeki üyelik dereceleri bulunur ve en yüksek üyelik derecesine sahip olduğu

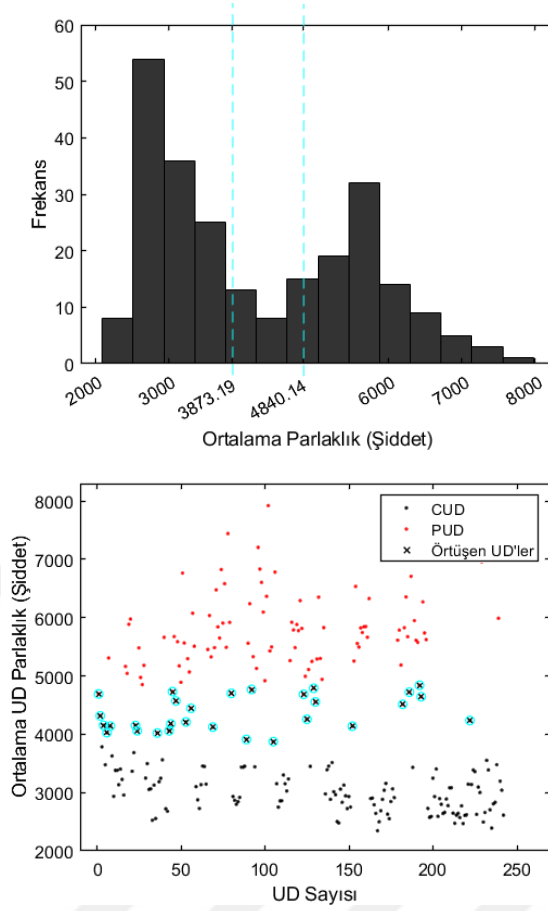
kümeye göre sınıflandırma yapılır. Burada maksimum üyelik değeri 0.6 olarak seçilmiş ve bu değerden küçük üyelik değerine sahip olan değerler örtüşen değerler olarak seçilir ve bu değer örtüşme miktarının en fazla olduğu nokta olarak belirlenmiştir (Şekil 3.12).

FCM yöntemi uygulanması sonucunda söz konusu lekenin umbrasına ait 242 UD'den 29 tanesi CUD-PUD arasındaki bölgede kalmaktadır ve Şekil 3.12'de bu değerler daire içine alınarak çarpı (x) işareti ile gösterilmiştir. Bu bölgenin minimum ve maksimum parlaklık değerleri sırasıyla 3873.19 ve 4840.14 olarak belirlenmiştir. Şekil 3.12'deki histogram grafiğine bakıldığında bu değerlerin ara bölgeyi en iyi şekilde temsil ettiği görülmektedir. FCM yöntemi ile tüm lekeler için ara bölgeler bulunmuş ve Çizelge 3.4'de elde edilen M değerleri, örtüşme bölgesi sınırları ve UD sayıları sunulmuştur. Bu kapsamda örtüşme bölgesi alt sınırından küçük olan parlaklık değerleri CUD, büyük ve eşit olan değerler ise PUD olarak kabul edilmiştir. Bu adımlar tüm lekeler için uygulanmıştır.

Ayrıca yukarıda bahsedilen iki farklı yaklaşım ile FCM yöntemi kullanılarak CUD ve PUD'lar arasında bir ayırma kriterinin olup olmadığı araştırılmıştır (Kilcik vd. 2024, dergiye gönderilmiştir). 18 leke analiz edilerek parlaklığa bağlı bir ayırma kriteri bulunmuş ve ayırma kriterinin denklemi türetilmiştir. Bu çalışma Solar Physics dergisine yayınlanmak üzere gönderilmiştir ve hakem aşamasındadır.

Çizelge 3.4. Manyetik alan analizinde kullanılan tüm lekelerle manuel yaklaşımda FCM yönteminin uygulanması sonucu elde edilen sınır değerleri

Güneş Lekeleri	M katsayısı	Örtüşme bölgesi alt sınır (Ortalama parlaklık)	Örtüşme bölgesi üst sınır (Ortalama parlaklık)	Manuel yaklaşım ile seçilen toplam UD sayısı	Örtüşme bölgesinde bulunan UD sayısı
AR12384	4.83	3873.19	4840.14	242	29
AR12411	5.89	4334.95	5477.76	158	38
AR12565	5.09	3311.5	4153.49	423	71
AR12767	4.03	3564.58	3884.27	80	9
AR12770	4.62	3903.23	4339.14	166	35
AR12776	4.85	2940.16	3665.52	200	35
AR12902	4.8	3363.45	3920.29	180	34
AR12934	5.16	3537.09	4350.27	200	37
AR13046	5.01	4259.18	4809.6	93	18
AR13053	3.35	3579.43	4038.86	256	27
AR12717	4.63	3977.32	4468.39	251	54
AR12720	4.1	2973.2	3439.63	231	34
AR13147	4.24	18707.6	22528.5	407	52

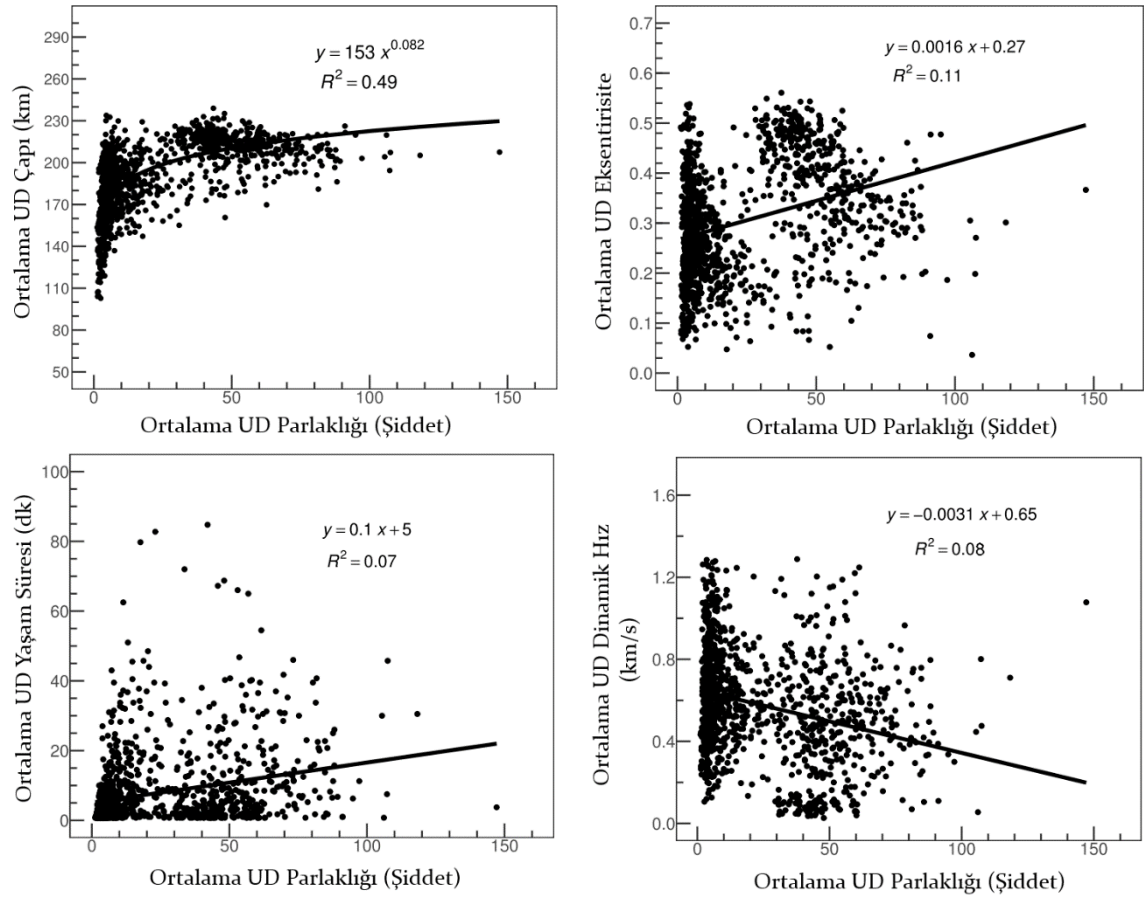


Şekil 3.12. Üst Panel: NOAA AR 12384 Güneş lekesi için UD parlaklık histogramı. Turkuaz çizgiler örtüşme bölgesinin alt-üst sınırını göstermektedir. Alt panel: NOAA AR 12384 Güneş lekesi için FCM yönteminin uygulanması sonucu elde edilen dağılım grafiğini göstermektedir (CUD:siyah noktalar, PUD:kırmızı noktalar, Örtüşme Bölgesi UD'ler: turkuaz daireler)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. UD'lerin Tespiti, Takibi ve Parametrelerinin Elde Edilmesi ve Birbirleriyle Karşılaştırılması

Bölüm 3.2.2 kapsamında analiz edilen Güneş lekelerine ait her Güneş lekesindeki UD'lerin sayısı, veri setinin uzunluğu, umbral alan, ortalama UD parametreleri ile bunların ortalama, maksimum ve minimum değerleri Çizelge 4.1'de listelenmiştir. Tüm lekelerde tespit edilen UD'lerin sayısı 481 ile 6882 arasında değişmektedir. UD'lerin fiziksel özellikleri şöyle özetlenebilir: En yüksek toplam şiddet 182.93 olarak bulunurken, en düşük şiddet 1.21'dir; maksimum / minimum çaplar sırasıyla 246.5 / 92.2 km'dir; en yüksek eksentrisite 0.65 iken, en düşük eksentrisite 0.02'dir; en uzun yaşam süresi 120.00 dakika iken, en kısa 0.75 dakikadır; ve son olarak, en yüksek dinamik hız 3.80 km/s, en düşük olanı ise 0.01 km/s'dir. Şekil 4.1'de, NOAA AR 12770 için bazı UD parametrelerinin dağılım grafikleri gösterilmektedir. Bu grafiklerde en iyi uyumlar ve bunlara karşılık gelen regresyon denklemleri de sunulmaktadır. Ortalama UD şiddeti ve çapı için en iyi uyum bir üstel eğri iken, diğer tüm çiftler için lineer fit seçilmiştir (Calisir vd. 2023).



Şekil 4.1. NOAA AR 12770'in büyük umbrada tespit edilen UD parametreleri arasındaki ilişkiler

Elde edilen ortalama UD parametreleri arasındaki ilişkilerin Pearson korelasyon analizi sonuçları (korelasyon katsayıları ve hataları) Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Bölüm 3.2.1 kapsamında analiz edilen tüm Güneş lekeleri için bulunan fiziksel parametreleri ve Maksimum (Maks), Ortalama (Ort) ve Minimum (Min) değerleri

Leke	UD Sayısı	Umbral Alan (Mm ²)	Veri Seti Süresi (dk)		Parlaklık (Şiddet)	Çap (km)	Eksentirisite	Yaşam Süresi (dk)	Dinamik Hız (km/s)
AR12384	2785	56.66	103.5	Ort	22.69	184.56	0.28	8.12	0.60
				Maks	182.93	246.53	0.59	79.75	1.25
				Min	1.26	92.17	0.04	0.75	0.03
AR12411	481	33.44	23	Ort	36.60	187.16	0.28	6.24	0.74
				Maks	172.91	232.00	0.61	23.00	1.57
				Min	2.81	106.85	0.05	0.75	0.12
AR12565 Büyük Umbral	6882	132.23	149.5	Ort	15.42	185.47	0.28	8.17	0.55
				Maks	110.98	244.26	0.58	120.00	1.22
				Min	1.40	98.09	0.03	0.75	0.02
AR12565 Küçük Umbral	1201	24.11	149.5	Ort	19.37	187.29	0.29	9.83	0.46
				Maks	140.34	236.90	0.60	83.50	0.99
				Min	1.98	110.58	0.04	0.75	0.01
AR12767	2847	62.50	115.5	Ort	26.24	184.61	0.28	9.21	0.52
				Maks	134.33	243.29	0.59	102.25	1.10
				Min	1.88	101.71	0.02	0.75	0.02
AR12770 Büyük Umbral	1167	27.92	95	Ort	24.60	189.87	0.31	7.92	0.58
				Maks	147.13	238.97	0.56	84.75	1.29
				Min	1.21	102.76	0.04	0.75	0.03
AR12770 Küçük Umbral	641	13.52	95	Ort	35.34	195.43	0.32	8.70	0.48
				Maks	139.55	238.53	0.61	81.75	1.10
				Min	1.89	104.70	0.03	0.75	0.02
AR12776	2291	58.43	74.25	Ort	24.42	189.03	0.29	6.34	0.85
				Maks	163.26	240.46	0.63	63.00	1.91
				Min	1.59	99.64	0.02	0.75	0.04
AR12902	2139	26.10	100	Ort	28.09	193.38	0.30	4.05	1.64
				Maks	144.43	233.15	0.59	49.25	3.80
				Min	1.44	93.03	0.05	0.75	0.07
AR12934	2127	80.01	58.25	Ort	24.34	184.29	0.28	7.78	0.62
				Maks	131.88	241.75	0.59	58.25	1.33
				Min	1.66	96.99	0.04	0.75	0.03
AR13046	1273	29.59	67.5	Ort	26.93	188.74	0.30	6.14	0.60
				Maks	122.14	239.06	0.58	55.50	1.28
				Min	1.37	97.90	0.04	0.75	0.04
AR13053	1838	38.80	83.5	Ort	28.02	183.96	0.28	6.96	0.60
				Maks	152.56	240.97	0.65	64.75	1.25
				Min	1.85	96.47	0.04	0.75	0.04

Çizelge 4.2. Ortalama UD parametreleri için hesaplanan korelasyon katsayıları. Çizelgede anlamsız korelasyon katsayıları italik ve farklı renkte (kırmızı) gösterilmiştir

Lekeler	AR12384	AR12411	AR12565 Büyük Umbra	AR12565 Küçük Umbra	AR12767	AR12770 Büyük Umbra
	Şiddet					
Çap	0.46±0.03	0.30±0.08	0.65±0.01	0.59±0.04	0.59±0.02	0.70±0.03
Eksentirisite	0.07±0.04	0.18±0.09	0.35±0.02	0.22±0.05	0.06±0.04	0.33±0.05
Yaşam Süresi	0.29±0.03	0.55±0.07	0.31±0.02	0.28±0.05	0.28±0.03	0.26±0.05
Dinamik Hız	0.09±0.04	0.29±0.08	0.13±0.02	0.13±0.06	0.12±0.04	0.28±0.05
	Çap					
Eksentirisite	0.49±0.03	0.40±0.08	0.62±0.01	0.62±0.04	0.44±0.03	0.55±0.04
Yaşam Süresi	0.11±0.04	0.16±0.09	<i>0.02±0.02</i>	<i>0.04±0.06</i>	0.05±0.04	<i>0.02±0.06</i>
Dinamik Hız	<i>0.03±0.04</i>	0.24±0.09	0.04±0.02	0.07±0.06	0.05±0.04	0.13±0.06
	Eksentirisite					
Yaşam Süresi	0.16±0.04	0.30±0.08	0.09±0.02	0.12±0.06	0.15±0.04	0.12±0.06
Dinamik Hız	<i>0.00±0.04</i>	0.20±0.09	<i>0.02±0.02</i>	<i>0.06±0.06</i>	0.06±0.04	0.16±0.06
	Yaşam Süresi					
Dinamik Hız	0.12±0.04	<i>0.08±0.09</i>	0.12±0.02	0.14±0.06	0.08±0.04	0.12±0.06
Lekeler	AR12770 Küçük Umbra	AR12776	AR12902	AR12934	AR13046	AR13053
	Şiddet					
Çap	0.65±0.05	0.67±0.02	0.79±0.02	0.62±0.03	0.64±0.03	0.50±0.04
Eksentirisite	0.09±0.08	0.21±0.04	0.40±0.04	0.10±0.04	0.16±0.05	0.08±0.05
Yaşam Süresi	0.25±0.07	0.32±0.04	0.26±0.04	0.33±0.04	0.27±0.05	0.35±0.04
Dinamik Hız	0.14±0.08	0.36±0.04	0.37±0.04	0.19±0.04	0.08±0.05	<i>0.01±0.05</i>
	Çap					
Eksentirisite	0.54±0.06	0.48±0.03	0.52±0.03	0.45±0.03	0.47±0.04	0.52±0.03
Yaşam Süresi	0.13±0.08	<i>0.00±0.04</i>	<i>0.03±0.04</i>	<i>0.01±0.04</i>	0.07±0.05	0.09±0.05
Dinamik Hız	0.16±0.08	0.12±0.04	0.17±0.04	<i>0.03±0.04</i>	<i>0.05±0.05</i>	0.07±0.05
	Eksentirisite					
Yaşam Süresi	0.17±0.08	0.12±0.04	0.17±0.04	0.14±0.04	0.18±0.05	0.18±0.04
Dinamik Hız	<i>0.08±0.08</i>	0.07±0.04	0.09±0.04	<i>0.02±0.04</i>	0.07±0.05	<i>0.04±0.05</i>
	Yaşam Süresi					
Dinamik Hız	0.20±0.08	<i>0.01±0.04</i>	0.07±0.04	<i>0.01±0.04</i>	0.19±0.05	0.12±0.05

Literatürde, UD'lerin yaşam süreleri kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve 1 - 65 dakika arasında değiştiği rapor edilmiştir (Watanabe vd. 2009; Hamedivafa 2011; Louis vd. 2012; Feng vd. 2015; Bharti vd. 2010; Kilcik vd. 2012; Yadav ve Mathew 2018b; Kilcik vd. 2020). Bu çalışmada, UD'lerin ortalama yaşam süresinin 7.6 dakika olduğu ve 0.75 ile 120 dakika arasında değiştiği sonucu elde edilmiştir. Bu daha önce literatürde rapor edilen UD yaşam süresi üst sınırının neredeyse iki katıdır. Tespit edilen tüm UD'lerin yaklaşık %85'inin yaşam süresi 15 dakikadan daha kısadır. Bu farkın, kullandığımız sürekli zaman serisinin uzunluğundan kaynaklandığı muhtemeldir çünkü bazı veri setleri 120 dakikadan daha uzundur. UD yaşam süresinin alt sınırı (0.75 dakika), uygulanan UD seçim kriterleri tarafından belirlenir. Bu nedenle UD yaşam süresinin alt sınırının 0.75 dakikadan daha az olabileceğine dikkat edilmelidir.

Daha önceki çalışmalarda, UD'lerin çapının 50 ila 750 kilometre arasında değiştiği rapor edilmiştir (Sobotka ve Hanslmeier 2005; Riethmüller vd. 2008; Watanabe vd. 2012; Kilcik vd. 2012; Feng vd. 2015; Yadav vd. 2018a; Kilcik vd. 2020; Ji vd. 2016). Ayrıca Yadav ve Mathew (2018b) Hinode teleskobunun çözünürlük limitinden (0.21") daha küçük bir çapı olan UD'lerin var olabileceğini belirtmişlerdir, ancak bunları tespit etmek için daha yüksek çözünürlüklü gözlemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, 0.1" çözünürlüğe sahip veriler analiz edilerek tespit edilen UD'lerin ortalama çaplarının 92.17 ile 246.53 km arasında değiştiği bulunmuştur. Bu bulgular, önceki çalışmaları doğrulamakta ve UD çapının alt sınırını daha da belirginleştirmektedir.

Schüssler ve Vögler (2006), simüle edilmiş UD'lerin yatay olarak uzanmış şekillere sahip olduğunu bulmuştur. Kilcik vd. (2012) istisnasız tüm gözlenen UD'lerin uzanmış şekillere sahip olduğunu, bunun da bir eksantriklik parametresi kullanılarak ölçülebileceğini ve ortalama eksantriklik değerinin 0.29 - 0.75 arasında olduğunu belirtmişlerdir (Kilcik vd. 2012; Feng vd. 2015; Kilcik vd. 2020). Bu çalışmada tespit edilen UD'lerin eksentrisitesinin 0.02 ile 0.65 arasında değiştiğini ve ortalama değerinin 0.29 olduğu bulunmuştur.

UD'lerin hızını daha doğru bir şekilde tanımlamak için Kilcik vd. (2020) bir UD'nin toplam yer değiştirmesini değil, hareket ettiği yolun uzunluğunu dikkate alarak UD hızını ifade eden dinamik hız tanımını literatüre kazandırmışlardır. Ortalama dinamik hızı 0.76 km/s ve en yüksek değerin 3.84 km/s olduğunu rapor etmişlerdir. Bu değerler, Watanabe vd. (2009) ile Feng vd. (2015) tarafından rapor edilen rakamların neredeyse iki katıdır. Bu çalışmada, ortalama dinamik hızın 0.68 km/s olduğu ve en yüksek hızın 3.80 km/s olduğu bulunmuştur. En yüksek dinamik ve ortalama hızlar NOAA AR 12902'deki büyük umbrada ölçülmüştür. Tamamen gelişmiş Güneş lekelerine kıyasla, küçük veya tam gelişmemiş Güneş lekelerindeki manyetik alanlar daha zayıftır ve bu nedenle oradaki konvektif hareketler daha az baskılanır, bu da orada ölçülen daha yüksek dinamik hızı açıklayabilir.

Farklı UD parametreleri arasındaki ilişkiler geniş kapsamda incelenmiş olmasına rağmen, bu ilişkiler farklı yazarlar tarafından farklı yorumlanmıştır. Bazı çalışmalarda (Bharti vd. 2010; Ji vd. 2016; Yadav ve Mathew 2018b; Deng 2019; Kilcık vd. 2020), daha büyük UD'lerin daha parlak ve daha uzun ömürlü olduğu bildirilmiştir, ancak diğer çalışmalarda bu ilişki bulunamamıştır (Kilcık vd. 2012; Hashem 2020). Kilcık vd. (2020) çap ve hızın güçlü bir ilişki gösterdiğini rapor etmiştir. Ayrıca UD parlaklığının yaşam süresiyle ilişkili olduğu bulunmuştur (Ji vd. 2016; Deng 2019; Yadav ve Mathew 2018b), ancak Hamedivafa (2020) bu korelasyonu bulamamıştır. Kilcık vd. (2020) UD parlaklığı ve dinamik hızın iyi bir korelasyona sahip olduğunu rapor etmişken, Deng (2019) şiddet ve hızın ilişkili olmadığını veya negatif bir ilişki gösterdiğini belirtmiştir. Son olarak Kilcık vd. (2020) yaşam süresi ile dinamik hız arasında anlamlı bir ilişki bulamamıştır. Bu çalışmada parlaklık-çap ve çap-eksentrisite çiftleri en yüksek korelasyonu gösterirken, en düşük korelasyon çap-yaşam süresi ilişkileri için elde edilmiştir (Çizelge 4.2).

Şu ana kadar UD eksentrisitesi ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır. Kilcık vd. (2020) UD çapının eksentrisite ile diğer ilişkilere göre çok daha yüksek bir korelasyon sergilediğini bildirmiştir. Yazarlar genel olarak UD fiziksel parametreleri arasındaki ilişkilerin küçük değerlerde daha belirgin olduğunu, daha büyük değerlerde ise çok az ilişkili veya hiç ilişkili olmadığını belirtmişlerdir. Tek bir ilişkide (çap ile eksentrisite) bunun tersi olduğu ve daha büyük UD'lerin daha eksantrik olduğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışmada, çap ile eksentrisite arasında yüksek bir korelasyon gözlemlenirken, eksentrisite ile dinamik hız arasında düşük bir korelasyon bulunmuştur. İncelenen tüm parametreler arasındaki tutarsızlıkların nedeni, gözlenen lekelerin özellikleri, verilerin mekansal çözünürlüğündeki farklılıklar ve ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar olabilir. Genel olarak, çap-eksentrisite ilişkisinde korelasyon katsayılarının birbirine çok yakın olduğunu tespit edilmiştir. UD'lerin hareket hızının, daha önce rapor edilenden neredeyse iki kat daha hızlı olduğu (Watanabe vd. 2009; Feng vd. 2015) ve verilerin mekansal ve zamansal çözünürlüğü arttıkça, boyutları ve ömürlerinin azaldığı tespit edilmiştir.

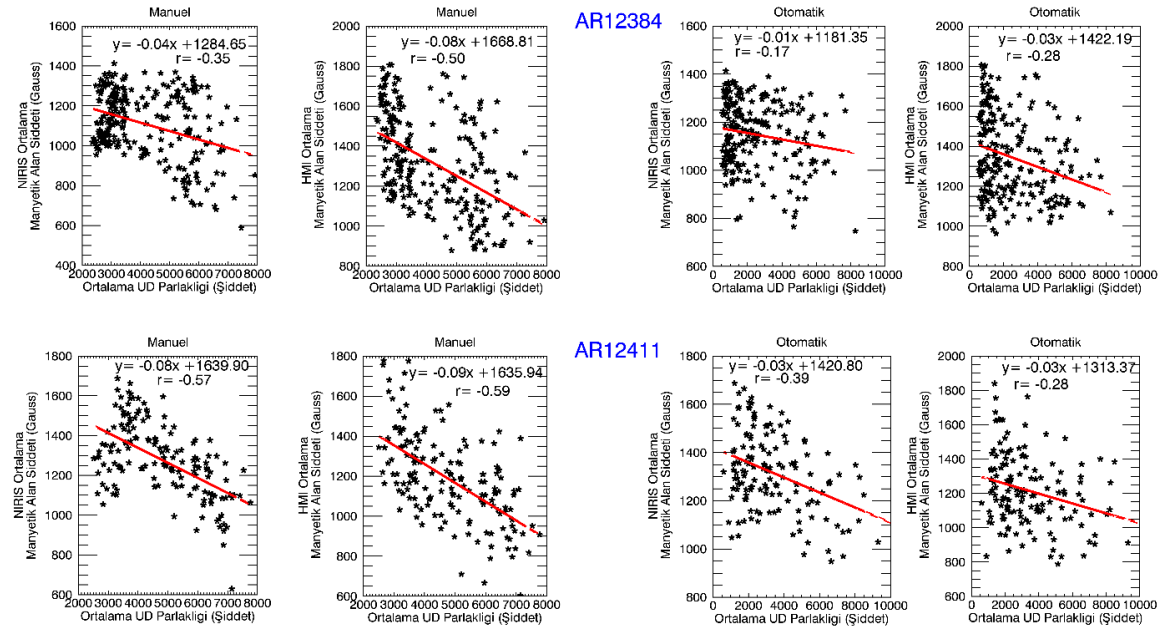
4.2. UD Fiziksel Parametrelerinin Lekenin Manyetik Alanı ile İlişkisi

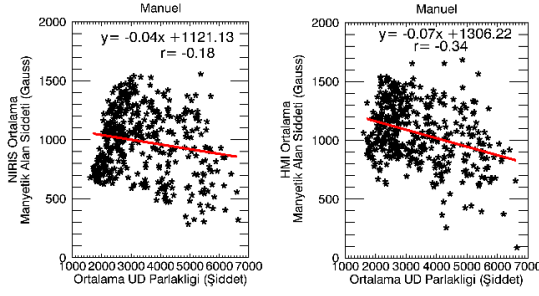
Manyetik alan ve UD fiziksel parametreleri arasındaki muhtemel ilişkileri ortaya koymak için manuel ve otomatik olmak üzere iki farklı yaklaşım kullanılarak yaklaşık eş zamanlı TiO görüntülerindeki ortalama UD parlaklıkları 13 leke için elde edilmiştir. Ardından tespit edilen UD'ler NIRIS ve HMI manyetik alan görüntülerinde konumlandırılarak lekelerdeki ortalama UD manyetik alan şiddetleri hesaplanmıştır. Analizde kullanılan lekeler için manuel ve otomatik yaklaşım için ortalama UD parlaklıkları ve aynı konumdaki ortalama manyetik alan şiddetleri (NIRIS ve HMI için) Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Çalışma kapsamında kullanılan Güneş lekelerine ait manuel ve otomatik yaklaşım sonucu elde edilen ortalama UD parlaklığı ve aynı konumdaki ortalama manyetik alan (NIRIS ve HMI) şiddetleri

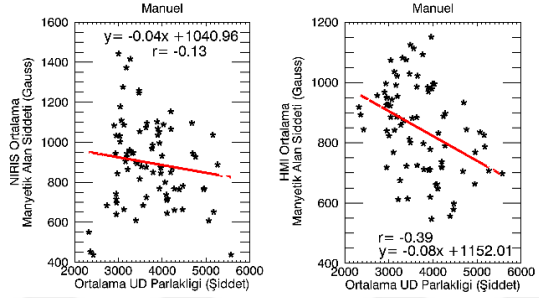
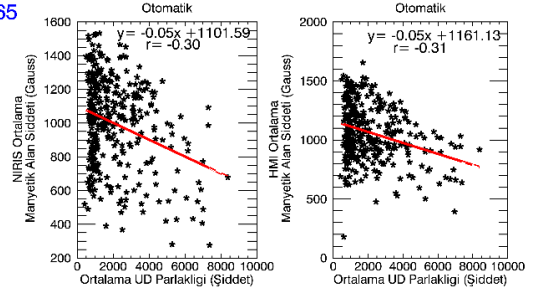
NOAA Aktif Bölge Numarası	Manuel Yaklaşım				Otomatik Yaklaşım			
	Tespit Edilen UD Sayısı	TIO (Ortalama UD Parlaklığı-Şiddet)	NIRIS (Ortalama manyetik alan şiddeti-Gauss)	HMI (Ortalama manyetik alan şiddeti-Gauss)	Tespit Edilen UD Sayısı	TIO (Ortalama UD Parlaklığı-Şiddet)	NIRIS (Ortalama manyetik alan şiddeti-Gauss)	HMI (Ortalama manyetik alan şiddeti-Gauss)
AR12384	242	4190.38	1107.42	1318.98	216	2516.39	1148.02	1343.01
AR12411	158	4786.27	1278.70	1186.49	140	3421.60	1314.41	1215.25
AR12565	423	3361.08	986.21	1064.11	342	2089.83	997.07	1063.90
AR12767	80	3714.61	897.04	845.91	63	2577.51	917.30	847.54
AR12770	166	3971.75	1215.15	1048.61	163	3321.86	1214.21	1046.04
AR12776	200	3211.28	1349.69	1291.39	177	2229.86	1337.81	1277.53
AR12902	180	3527.76	1141.61	1166.39	174	1705.06	1224.81	1277.75
AR12934	200	3668.93	1310.42	1278.20	149	1715.95	1322.62	1284.93
AR13046	93	4378.97	1165.17	1068.28	73	1820.85	1208.99	1089.43
AR13053	256	3644.81	1237.10	1275.41	165	3727.29	1220.90	1248.53
AR12717	251	4214.64	1175.77	1285.24	191	1882.95	1213.10	1311.55
AR12720	231	3264.46	1391.73	1233.85	187	1998.82	1375.52	1211.76
AR13147	407	19085.77	1366.25	1301.07	324	10924.34	1361.32	1266.38

Parlaklık ile manyetik alan verileri arasındaki muhtemel ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. İki farklı yaklaşım ile her bir lekenin ortalama UD parlaklığı-ortalama NIRIS manyetik alan şiddeti ve ortalama UD parlaklığı-ortalama HMI manyetik alan şiddeti değerleri arasında Pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Bu parametrelerin birbirlerine göre değişim grafikleri ve uygulanan doğrusal fitler Şekil 4.2’de sunulmuştur.

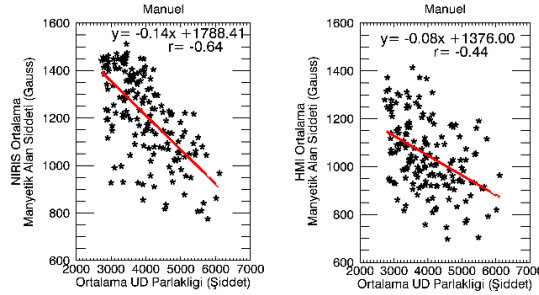
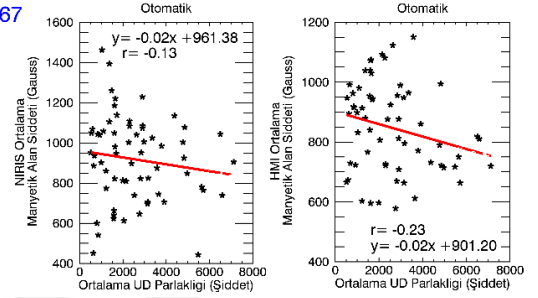




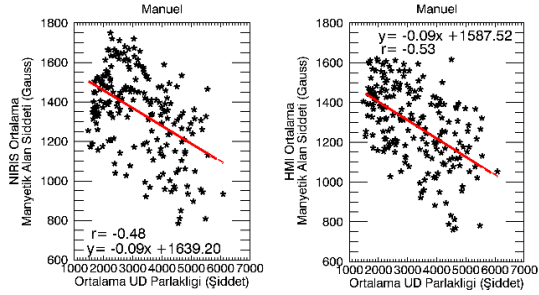
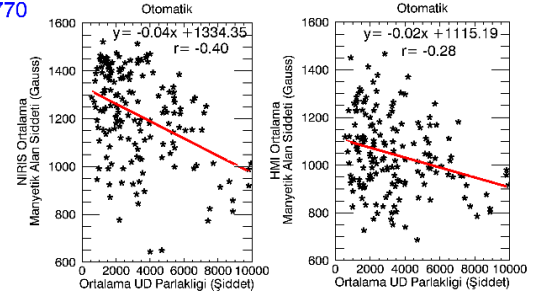
AR12565



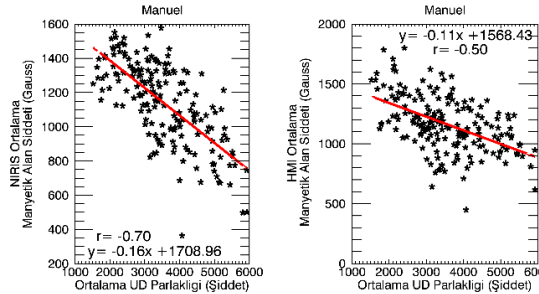
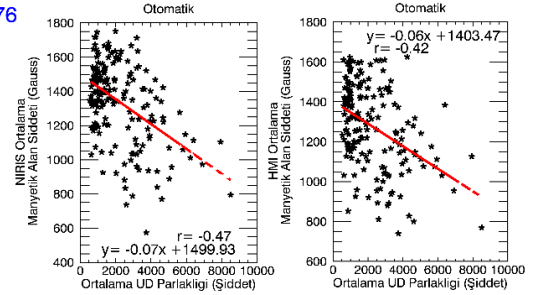
AR12767



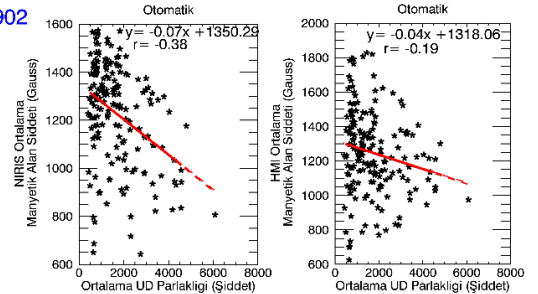
AR12770

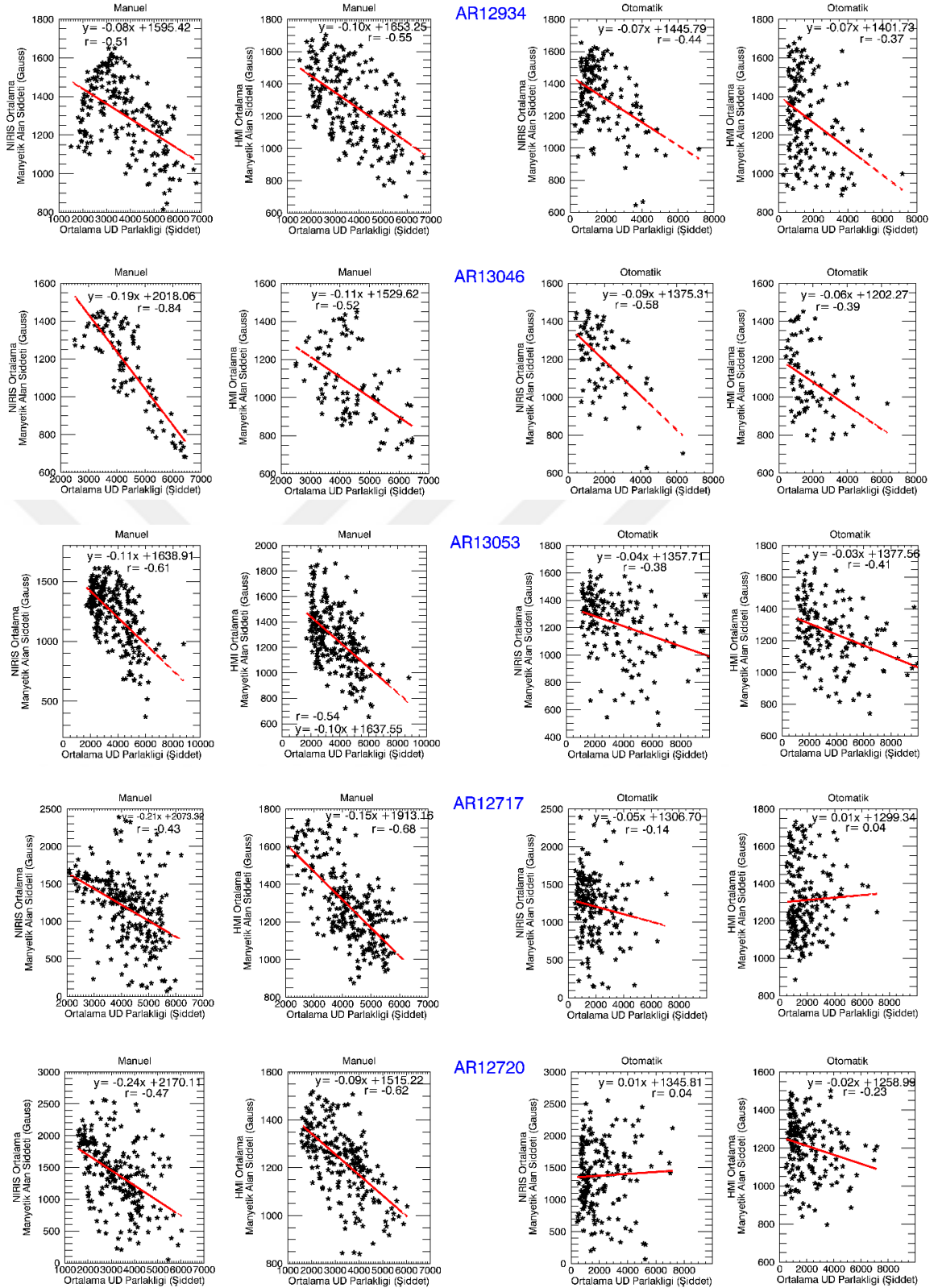


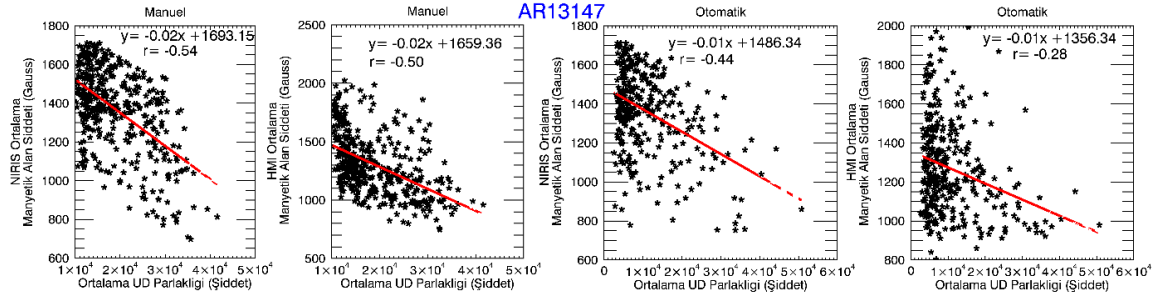
AR12776



AR12902





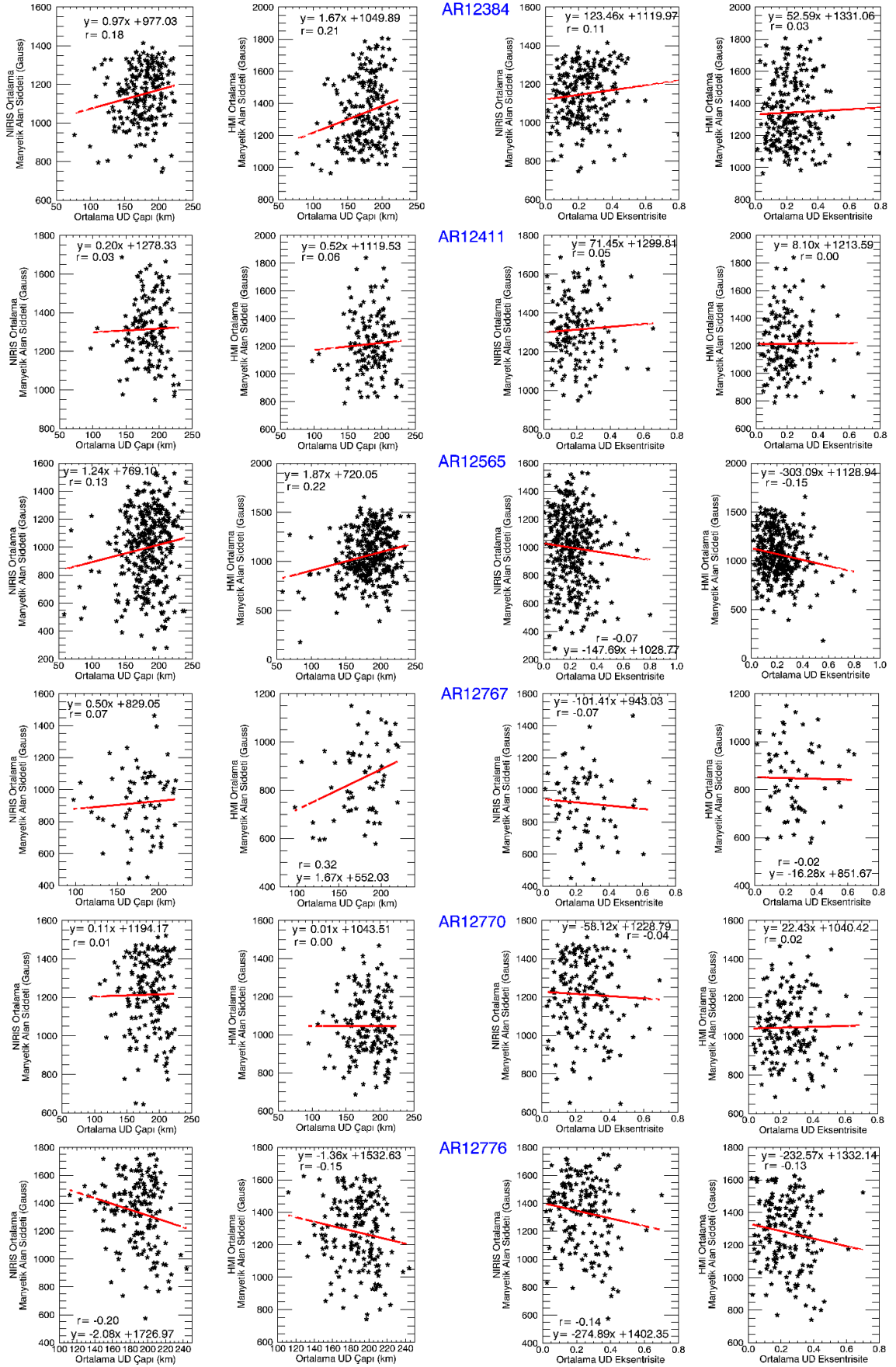


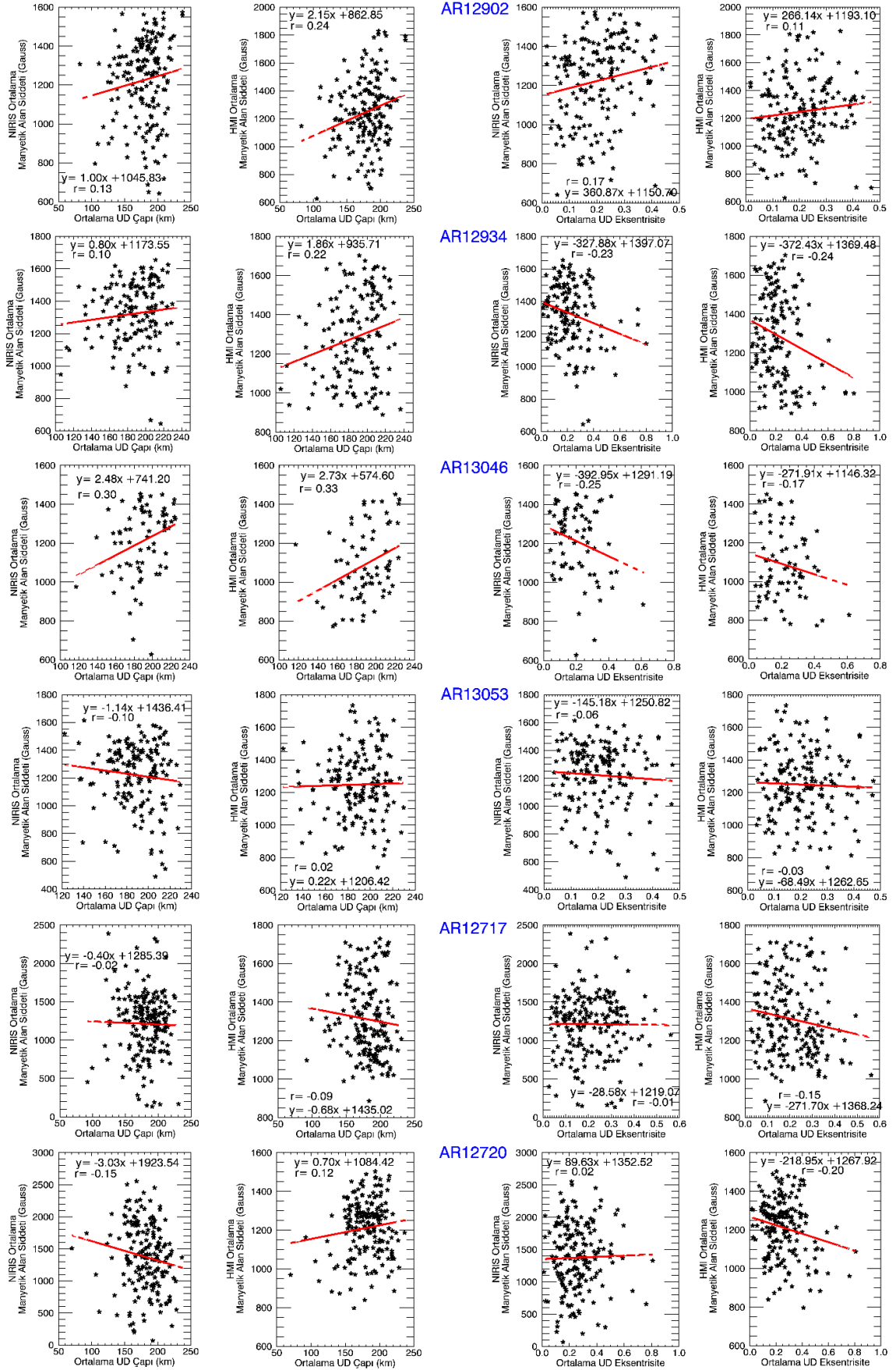
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan tüm lekeler için manuel ve otomatik yaklaşım kullanılarak ortalama UD parlaklığı ile aynı konumdaki ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS ve HMI için) arasındaki ilişkiler

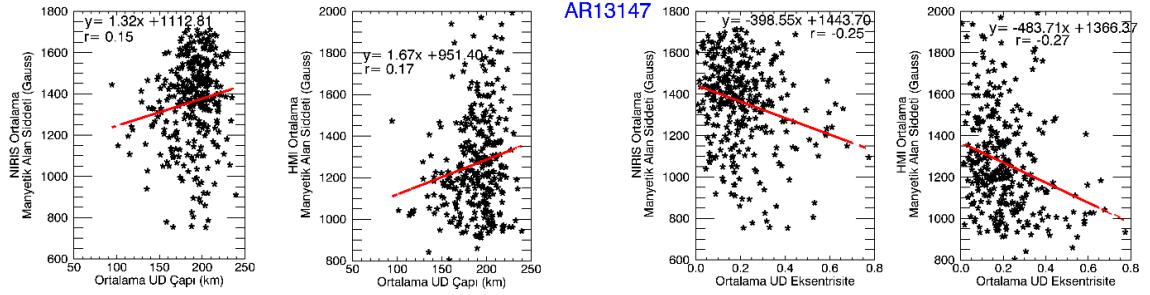
Çizelge 4.4. Manuel/otomatik yaklaşımla elde edilen ortalama UD parlaklığı ile aynı konumdaki ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS-HMI) arasındaki korelasyonlar

NOAA Aktif Bölge Numarası	Manuel Yaklaşım		Otomatik Yaklaşım	
	Ortalama UD Parlaklığı – Ortalama NIRIS Şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı – Ortalama HMI Şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı – Ortalama NIRIS Şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı – Ortalama HMI Şiddeti
AR12384	-0.35	-0.50	-0.17	-0.28
AR12411	-0.57	-0.59	-0.39	-0.28
AR12565	-0.18	-0.24	-0.30	-0.31
AR12767	-0.13	-0.39	-0.13	-0.23
AR12770	-0.64	-0.44	-0.40	-0.28
AR12776	-0.48	-0.53	-0.47	-0.42
AR12902	-0.70	-0.50	-0.38	-0.19
AR12934	-0.51	-0.55	-0.44	-0.37
AR13046	-0.84	-0.52	-0.58	-0.39
AR13053	-0.61	-0.54	-0.38	-0.41
AR12717	-0.43	-0.68	-0.14	0.04
AR12720	-0.47	-0.62	-0.04	-0.23
AR13147	-0.54	-0.50	-0.44	-0.28

Belirtilmelidir ki, manuel yöntem ile UD'lerin sadece ortalama parlaklık değerleri hesaplanabilmektedir. Otomatik yaklaşımda ise parlaklıkla beraber UD'lerin ortalama çapı ve eksentrisitesi de hesaplanabilmektedir. Şekil 4.2 ve Çizelge 4.4 incelendiğinde istisnasız tüm lekeler için hem NIRIS hem de HMI manyetik alan şiddetlerinin aynı konumda gözlenen UD'lerin parlaklıkları ile ters korelasyon gösterdiği açıkça görülmektedir. Buradan, bir Güneş leke umbrasında manyetik alanın şiddeti arttıkça aynı konumda gözlenen UD parlaklıklarının azaldığı sonucu elde edilmiştir. Otomatik yaklaşım ile ilgili olarak, TiO verilerinde otomatik yöntemle tespit edilen UD'lere ait parlaklık değerleri eş zamanlı NIRIS ve HMI görüntülerinde aynı konumda hesaplanan ortalama manyetik alan şiddeti UD çap-eksentrisite verileriyle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.3).



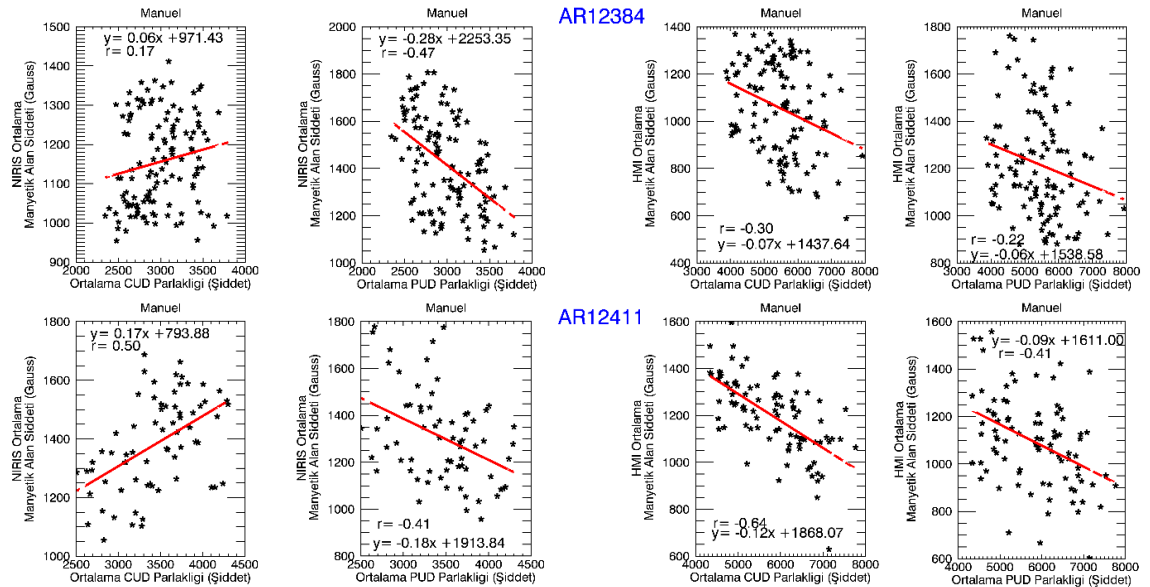


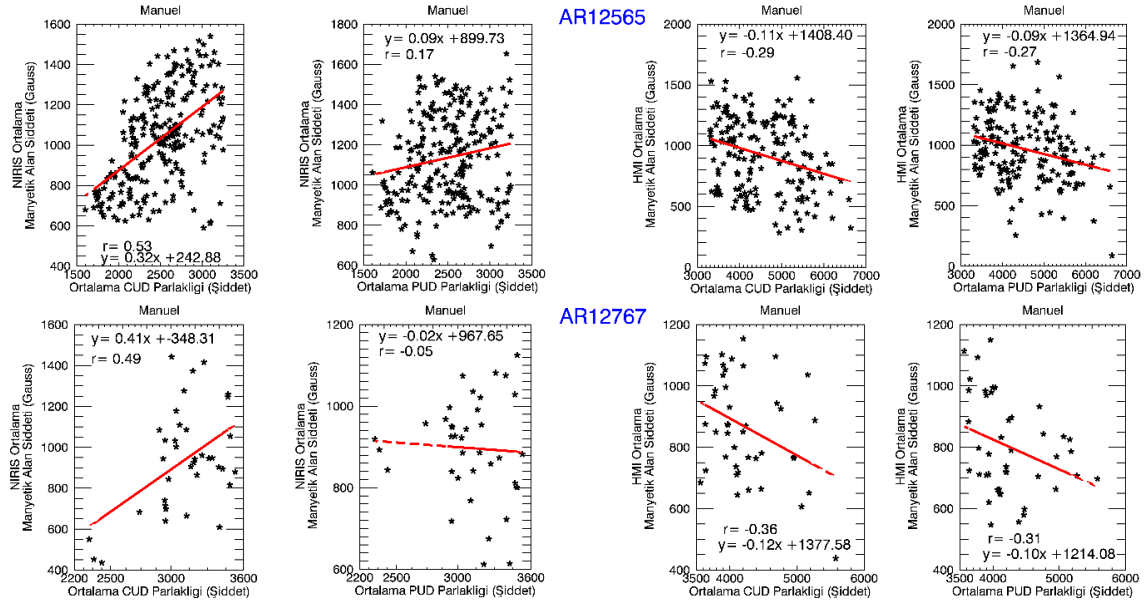


Şekil 4.3. Ortalama UD çapı/eksantirisitesi ile ortalama manyetik alan şiddeti (NIRIS ve HMI) verilerinin birbirine göre değişimi

Şekil 4.3 incelendiğinde UD çap ve eksantirisite değerlerinin hem NIRIS hem de HMI verilerinde aynı konumdaki manyetik alan ile belirgin bir ilişki göstermediği ve bir ilişkinin varlığından bahsetmenin mümkün olmadığı görülmektedir sonucu elde edilmiştir.

Fuzzy C-Means kümeleme yöntemi ve iki farklı yaklaşım (manuel ve otomatik) kullanılarak TIO görüntüsünden tespit edilen UD'ler CUD ve PUD olarak iki kategoriye ayrılmış ve her iki grubun manyetik alanla ilişkileri araştırılmıştır (Çizelge 4.5). Hem NIRIS hem de HMI manyetik alan şiddet değerlerinde ortalama CUD manyetik alan şiddetinin, ortalama PUD manyetik alan şiddetinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.2'deki NIRIS şiddet-manyetik alan dağılım grafikleri incelendiğinde çoğu grafikte iki farklı bölgede kümeleşme olduğu görülmektedir. Bu kümeleşme UD'lerin CUD ve PUD olarak iki kategoriye ayrıldığını düşündürmektedir. Bu durumu anlamak için Şekil 4.4'de analiz edilen ilk dört leke (AR12384, AR12411, AR12565, AR12767) için CUD ve PUD'ların manyetik alanla ilişkileri sunulmuştur.





Şekil 4.4. CUD ve PUD'ların manyetik alanla ilişkisi (NIRIS ve HMI için)

Çizelge 4.5'de tüm manyetik alan verisi mevcut olan lekeler için manuel yaklaşımla tespit edilen CUD ve PUD'ların ortalama parlaklık ve manyetik alan şiddetleri sunulmuştur. Çizelge incelendiğinde CUD'ların gözlemlendiği bölgedeki manyetik alan şiddetlerinin hem NIRIS hem de HMI verilerinde PUD'lara göre belirgin şekilde yüksek olduğu açıkça görülmektedir. CUD ve PUD parlaklıkları ise bunun tam tersi bir davranış sergilemektedir. Söz konusu veriler arasındaki korelasyon katsayıları Çizelge 4.5'de listelenmiştir. Bu sonuçlar, önermiş olduğumuz CUD-PUD ayırım kriterinin lekelerin manyetik alanıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Kilcik vd. 2024).

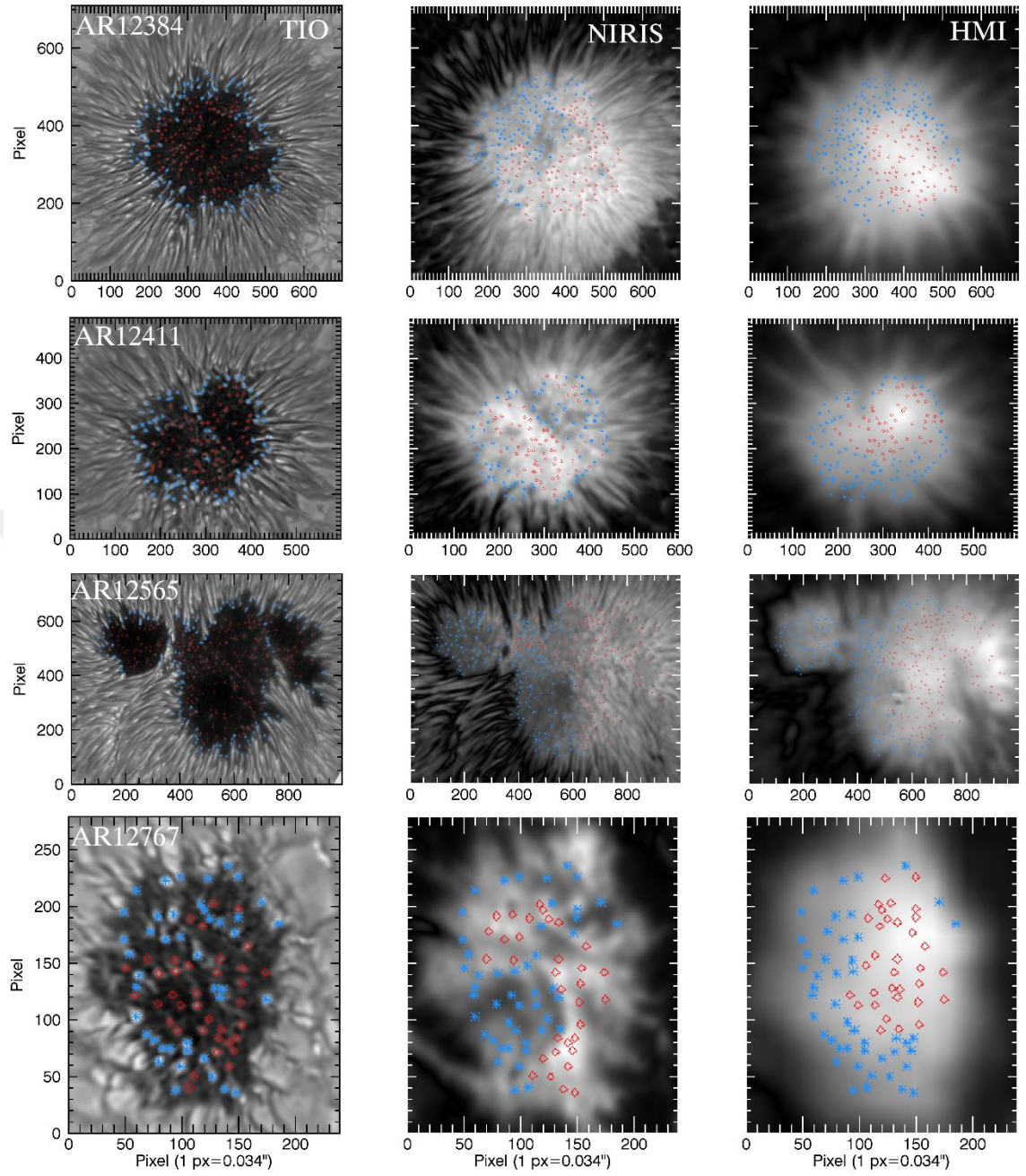
Çizelge 4.5 incelendiğinde PUD-CUD ayırımının manyetik alan verilerinde de mevcut olduğu ancak bu ayırımın UD'lerin parlaklıkları gibi bir ayırım kriteri olarak kullanılamayacağı görülmektedir. Her ne kadar lekelerin büyük çoğunluğunda net bir ayırım olsa da bazı lekelerde durum oldukça karmaşıktır. Bunun sebebinin manyetik alan verilerinin TiO verilerine göre düşük çözünürlüğü (TiO: **0.034''**, NIRIS: **0.083''** ve HMI: **0.5''**) veya manyetik alan verilerinin üretilmesi aşaması olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında UD'ler bölüm 3.2.3'teki manuel yaklaşım ile NIRIS ve HMI görüntüsü üzerinden UD manyetik alan şiddetleri kullanılarak da CUD ve PUD olmak üzere iki kategoriye ayrılmaya çalışılmıştır (Şekil 4.5, 4.6 ve 4.7).

Çizelge 4.5. Manuel yaklaşımla tespit edilen CUD ve PUD’ların ortalama parlaklık ve manyetik alan şiddetleri

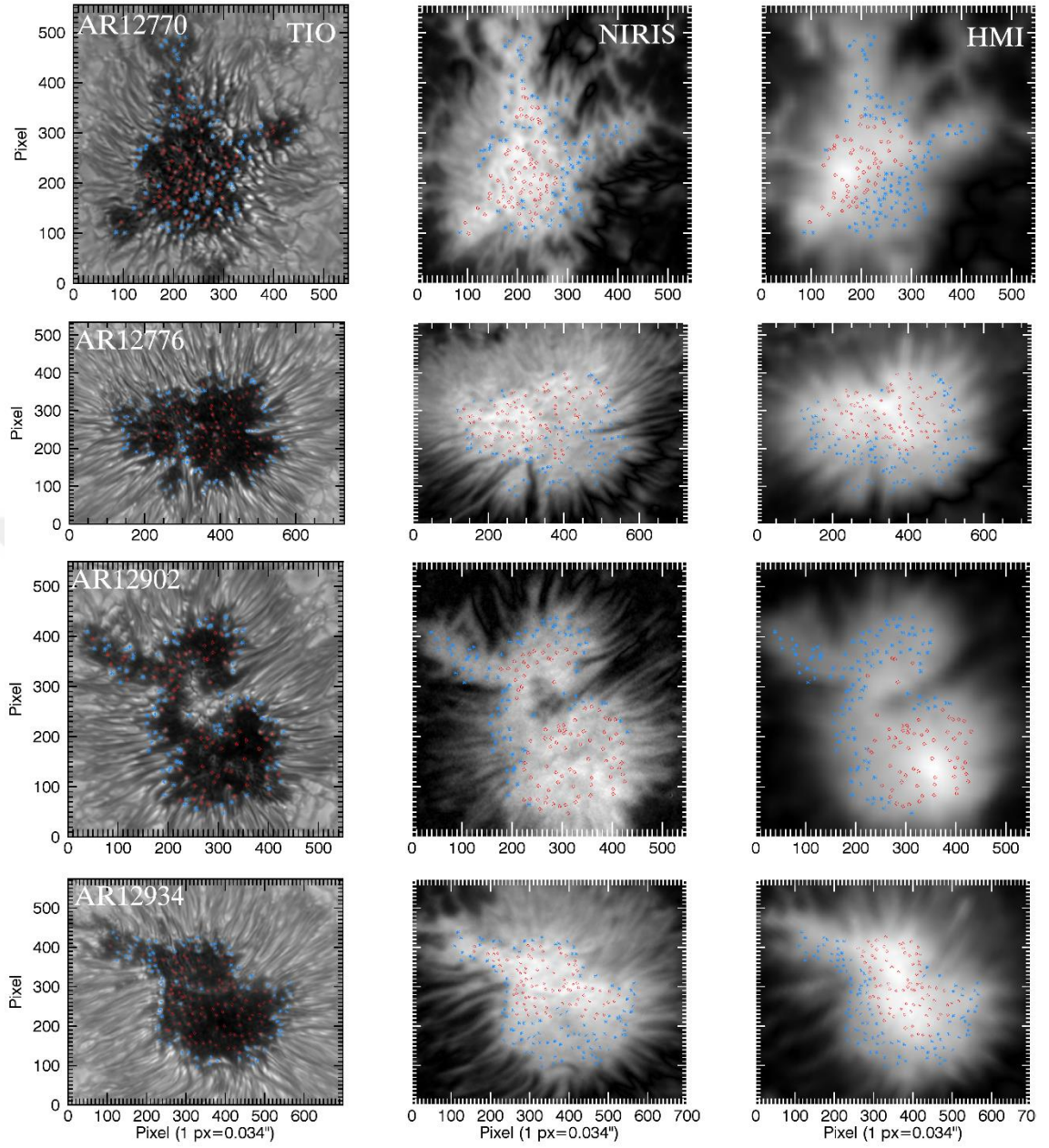
NOAA Aktif Bölge Numarası	CUD				PUD			
	CUD Sayısı	TIO (Ortalama UD Parlaklığı- Şiddet)	NIRIS (Ortalama UD manyetik alan şiddeti- Gauss)	HMI (Ortalama UD manyetik alan şiddeti- Gauss)	PUD Sayısı	TIO (Ortalama UD Parlaklığı- Şiddet)	NIRIS (Ortalama UD manyetik alan şiddeti- Gauss)	HMI (Ortalama UD manyetik alan şiddeti- Gauss)
AR12384	124	2988.43	1155.43	1417.21	118	5453.45	1056.97	1215.75
AR12411	69	3450.2	1384.08	1306.92	89	5822.1	1197.01	1093.13
AR12565	244	2495.21	1031.71	1135.28	179	4541.38	924.187	967.091
AR12767	37	3101.44	934.156	897.204	43	4242.22	865.102	801.78
AR12770	83	3314.59	1315.74	1110.17	83	4628.92	1114.55	987.046
AR12776	96	2211.4	1436.27	1386.85	104	4134.25	1269.78	1203.27
AR12902	87	2672.35	1278.58	1256.45	93	4327.98	1013.48	1082.14
AR12934	104	2674.52	1399.34	1381.8	96	4746.21	1214.1	1165.96
AR13046	50	3662.55	1299.77	1143.39	43	5212.01	1008.65	980.954
AR13053	132	2561.21	1355.54	1379.13	124	4798.32	1111.02	1164.99
AR12717	92	3233.2	1411.35	1443.17	159	4782.51	1039.46	1193.86
AR12720	97	2278.04	1649.74	1318.2	134	3978.51	1204.96	1172.79
AR13147	238	14111.3	1445.61	1387.12	169	26091.2	1254.49	1179.89

Çizelge 4.6. Manuel yaklaşımla tespit edilen CUD ve PUD’ların ortalama parlaklık ve manyetik alan şiddetleri arasındaki korelasyon katsayıları

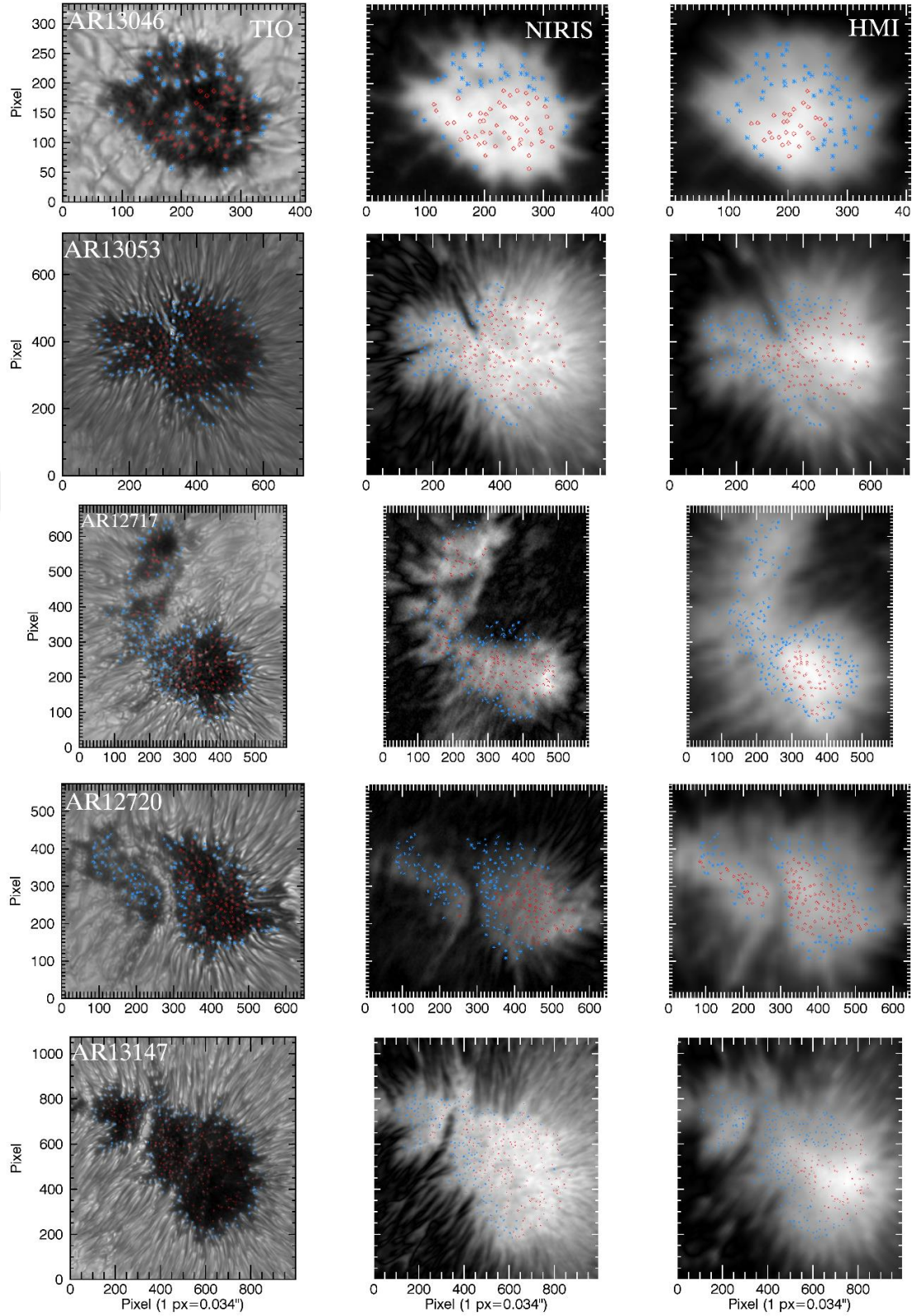
NOAA Aktif Bölge Numarası	CUD		PUD	
	Ortalama UD Parlaklığı & NIRIS Ortalama UD manyetik alan şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı & HMI Ortalama UD manyetik alan şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı & NIRIS Ortalama UD manyetik alan şiddeti	Ortalama UD Parlaklığı & HMI Ortalama UD manyetik alan şiddeti
AR12384	0.17	-0.30	-0.47	-0.22
AR12411	0.50	-0.64	-0.41	-0.41
AR12565	0.53	-0.29	0.17	-0.27
AR12767	0.49	-0.36	-0.05	-0.31
AR12770	-0.10	-0.55	-0.21	-0.21
AR12776	0.26	-0.51	-0.23	-0.31
AR12902	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41
AR12934	-0.55	-0.55	-0.55	-0.55
AR13046	-0.51	-0.51	-0.51	-0.51
AR13053	-0.27	-0.27	-0.27	-0.27
AR12717	-0.18	-0.21	-0.54	-0.32
AR12720	-0.25	-0.23	-0.25	-0.47
AR13147	-0.05	-0.53	-0.42	-0.32



Şekil 4.5. CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir



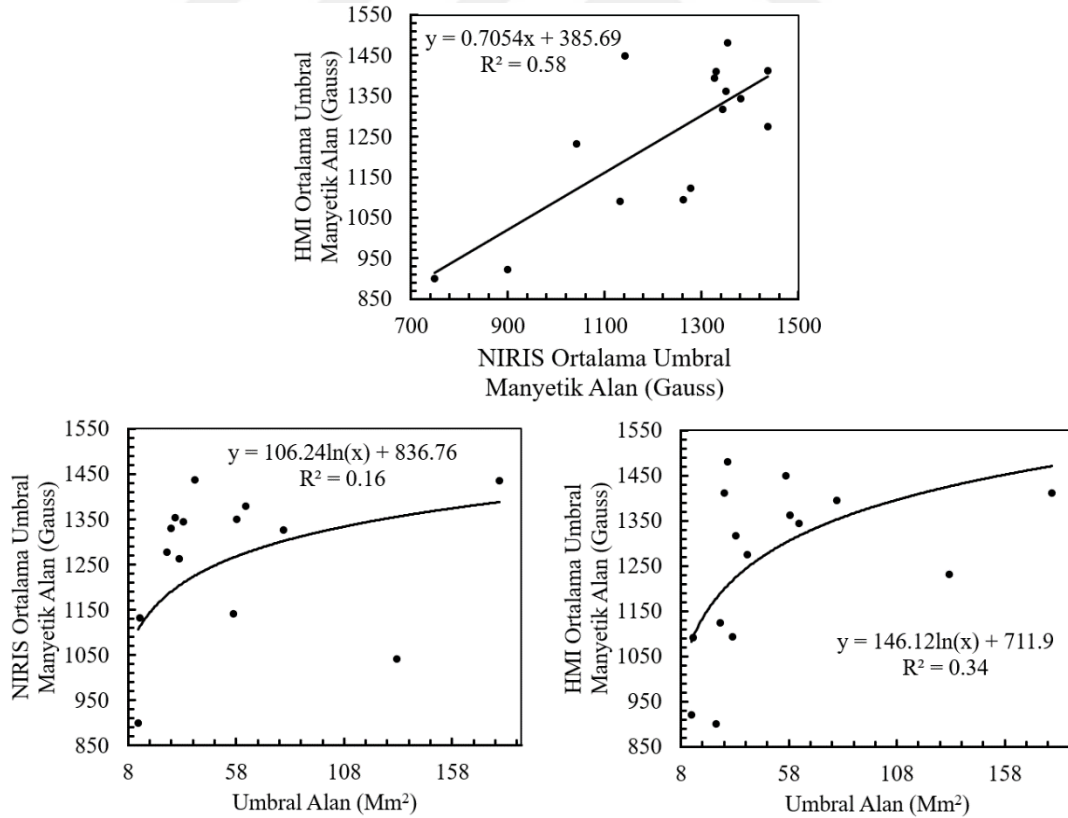
Şekil 4.6. Şekil 4.5'in devamı (CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir)



Şekil 4.7. Şekil 4.5'in devamı (CUD-PUD ayrımının TIO (Sol panel), NIRIS (Ortal panel) ve HMI (Sağ panel) görüntülerine uygulanması sonucu elde edilen performanslar. Mavi asteriksler PUD'ları, kırmızı diamond sembolleri de CUD'ları temsil etmektedir)

Manyetik alanın şiddeti lekenin boyutuna ve şekline bağlı olarak değişkenlik gösterir; simetrik ve büyük lekelerde manyetik alanın şiddeti yüksek iken küçük ve parçalanmış (birden fazla umbral merkez içeren) umbraya sahip lekelerde manyetik alanın şiddeti daha düşüktür. Bu sonuç Pevtsov vd. (2014) sonuçlarını doğrulamaktadır. Bir Güneş leke umbrası genellikle dikey bir manyetik alana sahip iken penumbraya doğru alan çizgileri eğilerek burada büyük ölçüde yatay bir hal alır (Rempel vd. 2009; Borrero ve Ichimoto 2011).

Güneş leke manyetik alanları, lekeyi ve etrafında bulunduğu bölgeyi etkisi altına alır ve etki alanındaki bölgede fiziksel koşulları kontrol eder. UD'ler, umbral flaşlar, ışık köprüleri gibi çeşitli yapıların oluşumuna katkı sağlar. Bu nedenle, UD'lerin sayısı ve fiziksel özellikleri (parlaklık, çap, eksentrisite, yaşam süresi, dinamik hız) bulundukları bölgedeki manyetik alanın şiddetiyle ilişkili olmalıdır. Fakat, UD'ler ile manyetik alan arasındaki ilişkiye dair bugüne kadar yapılan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Bu çalışmalarda UD parametrelerinin lekenin manyetik alanıyla olan ilişkisi açıkça belirlenememiştir (Watanabe vd. 2009; Yadav ve vd. 2018). Bu tez kapsamında çalışmada incelenen lekelerdeki (13 leke) UD parametrelerinin umbral manyetik alan ile ilişkisi araştırılmıştır. Belirtilmelidir ki, iki lekede çift umbra olduğu için toplam veri sayısı 15 olarak alınmıştır. Bu kapsamda incelenen lekeler Çizelge 4.7'de listelenmiştir.



Şekil 4.8. Çalışmada kullanılan lekelerde ölçülen NIRIS ve HMI manyetik alan verilerinin birbirleri (üst panel) ve umbral alan ile karşılaştırılması (alt panel).

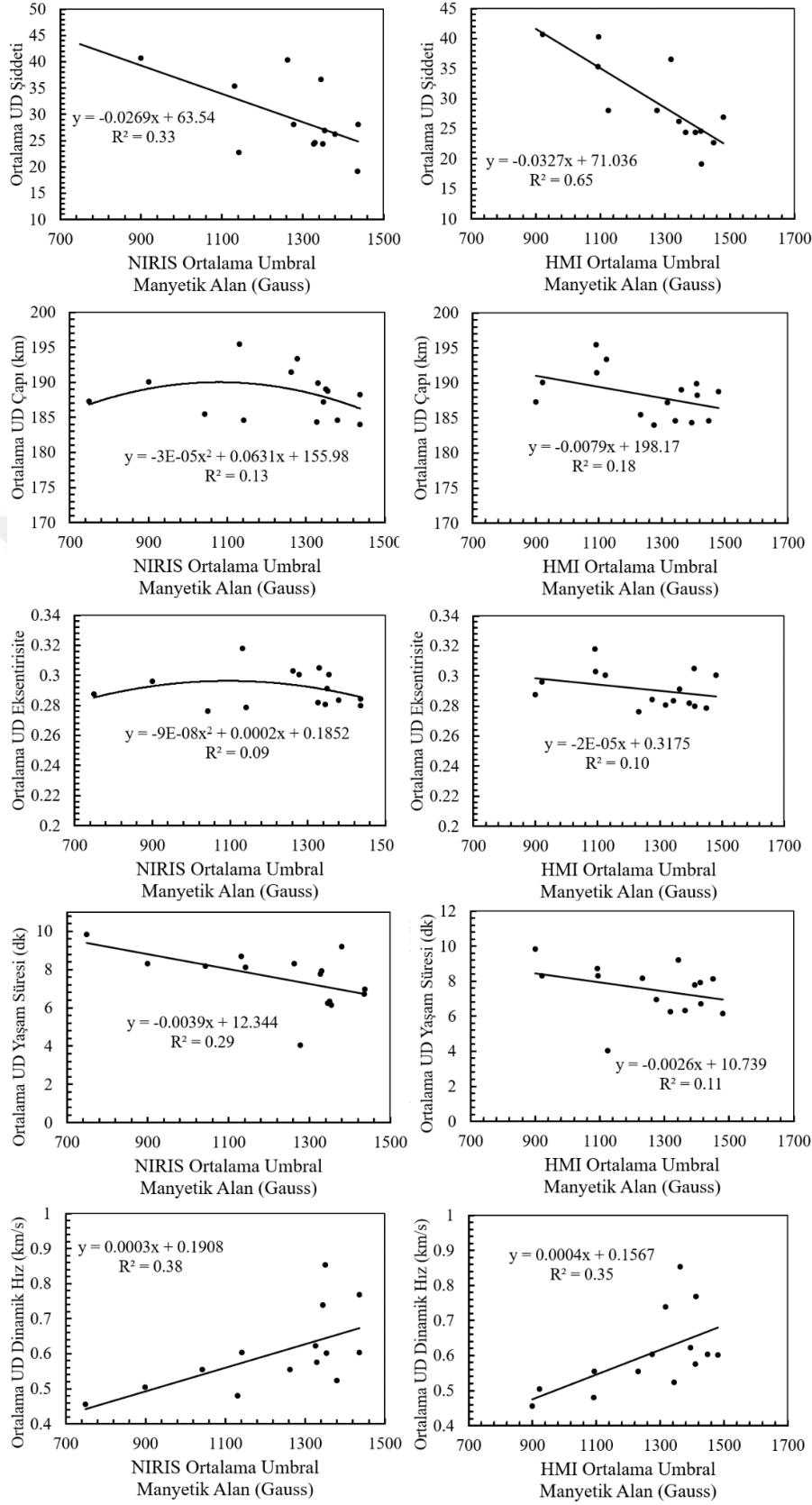
Çizelge 4.7. Manyetik alan analizinde kullanılan Güneş lekeleri listesi ve karşılaştırılan UD parametreleri

NOAA Aktif Bölge Numarası	Gözlem Tarihi	Ortalama Manyetik alan şiddeti NIRIS, G	Ortalama Manyetik alan şiddeti HMI, G	Ortalama UD şiddeti	Ortalama UD çap, km	Ortalama UD eksentrisite	Ortalama UD yaşam süresi, dk	Ortalama UD dinamik hızı, km/s
AR12384	14/07/2015	1141.20	1449.48	22.69	184.56	0.28	8.12	0.60
AR12411	08/09/2015	1344.43	1317.57	36.60	187.16	0.28	6.24	0.74
AR12565 (büyük umbra)	14/07/2016	1042.00	1231.61	15.42	185.47	0.28	8.17	0.55
AR12565 (küçük umbra)	14/07/2016	748.99	900.04	19.37	187.29	0.29	9.83	0.46
AR12717	01/08/2018	899.65	921.41	40.74	190.07	0.30	8.30	0.50
AR12720	25/08/2018	1262.70	1093.72	40.32	191.42	0.30	8.32	0.56
AR12767	28/07/2020	1380.16	1343.45	26.24	184.61	0.28	9.21	0.52
AR12770 (büyük umbra)	08/08/2020	1330.00	1411.08	24.60	189.87	0.31	7.92	0.58
AR12770 (küçük umbra)	08/08/2020	1131.44	1091.41	35.34	195.43	0.32	8.70	0.48
AR12776	20/10/2020	1350.17	1362.58	24.42	189.03	0.29	6.34	0.85
AR12902	30/11/2021	1276.92	1123.54	28.09	193.38	0.30	4.05	1.64
AR12934	24/01/2022	1326.98	1394.37	24.34	184.29	0.28	7.78	0.62
AR13046	06/07/2022	1354.46	1480.63	26.93	188.74	0.30	6.14	0.60
AR13053	12/07/2022	1436.62	1275.62	28.02	183.96	0.28	6.96	0.60
AR13147	20/11/2022	1436.22	1411.54	19.15	188.20	0.28	6.72	0.77

Çalışma kapsamında NIRIS ve HMI performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla incelenen lekelerde ölçülen manyetik alan şiddetlerinin ve her iki alet ile ölçülen manyetik alanların umbral alan ile ilişkisi Şekil 4.8’de sunulmuştur.

Şekilde görüldüğü gibi incelenen lekelerdeki NIRIS ve HMI manyetik alan ölçümleri birbiri ile oldukça iyi uyum göstermektedir ($r = 0.76$). İki ölçümü umbral alan ile karşılaştırdığımızda her iki aletle de yapılan ölçümlerde leke alanı arttıkça manyetik alanın arttığı görülmektedir. HMI ölçümleri umbral alan ile NIRIS ölçümlerine göre daha iyi uyum göstermektedir. İki ölçüm arasındaki bu farkın asıl sebebinin aletlerin çözünürlük farkından kaynaklandığını düşünüyoruz ki NIRIS HMI’den yaklaşık 6 kat daha yüksek çözünürlüğe sahiptir (NIRIS: **0.083''** ve HMI: **0.5''**).

Çalışma kapsamında son adım olarak leke umbrasında ölçülen ortalama manyetik alan şiddet değerlerinin umbrada gözlenen UD’lerin fiziksel parametreleri ile ilişkisi araştırılmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Çalışmada kullanılan tüm lekelerde gözlenen ortalama UD parametrelerinin söz konusu umbralarda ölçülen ortalama manyetik alan ile ilişkisi

Şekilde görüldüğü gibi ortalama UD şiddeti, ortalama UD yaşam süresi ve ortalama UD dinamik hız ortalama umbral manyetik alan ile ilişkili görülmektedir. Ortalama UD şiddeti ve yaşam süresi manyetik alanla ters ilişki gösterirken ortalama dinamik hız manyetik alan arttıkça artmaktadır. Her ne kadar UD yaşam süresi ve dinamik hız beklentinin tersi sonuç verse de her iki aletten elde edilen sonuçların birbiri ile uyumlu olması elde edilen sonucun doğruluğunu güçlendirmektedir. Ayrıca, 13 leke üzerinden elde edilen bu sonuç konunun daha detaylı araştırılması gerektiğini de ortaya koymaktadır.

Öte yandan, ortalama UD parametreleri ile ortalama HMI (sağ panel) manyetik alan şiddeti verileri NIRIS (sol panel) manyetik alan şiddeti verilerine göre daha iyi uyum göstermektedir. Bu sonucun iki sebebi olacağı düşünülmektedir; 1) NIRIS'in yüksek çözünürlüğü, bu durumda elde edilen sonuçlar mevcut bilgilere önemli yenilik getirecektir, 2) NIRIS manyetik alan ölçümünde bazı problemlerin olabileceğidir ki, bu durumda da sonuçlarımız söz konusu problemlerin giderilmesine katkı sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, Güneş lekelerinin umbrasında gözlenen UD'lerin ortalama fiziksel parametreleri, birbirleri arasındaki ilişkileri ve UD parametrelerinin manyetik alanla ilişkisi ayrıntılı bir şekilde araştırılmıştır. Bu amaçla 18 adet Güneş leke verisi incelenerek elde edilen sonuçlar aşağıda ayrıntılı olarak sunulmuştur.

UD fiziksel parametreleri ve birbirleri arasındaki ilişkiler:

- Bölüm 3.2.1'de GST gözlenen 10 farklı AR'de 12 umbra analiz edilmiştir. Bu AR'ler, 2015'teki 24. Güneş çevriminin maksimumundan 2022'nin Kasım ayına kadar olan zaman dilimini kapsamaktadır. Toplamda 25.672 UD tespit edilmiş ve bunların fiziksel parametreleri ölçülmüştür. Ardından, UD parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmak için Pearson korelasyon analizi yöntemi kullanılmıştır.
- UD fiziksel parametrelerinin aralıkları: çap 92.17 - 246.53 km, eksentirisite: 0.02 - 0.65, yaşam süresi: 0.75 - 120.00 dakika ve dinamik hız: 0.01 - 3.80 km/s olarak bulunmuştur.
- Şiddet-çap ve çap-eksentirisite çiftleri en yüksek korelasyon gösterirken, en düşük korelasyon çap-yaşam süresi ilişkileri için elde edilmiştir (Çizelge 4.2).
- Tespit edilen UD'lerin sayısı, Güneş lekесinin boyutuna bağlı olarak 481 ile 6882 arasında değişmektedir. Çizelge 4.1'deki veriler ayrıca tespit edilen UD'lerin sayısının umbral alanla ($r = 0.91$) ilişkili olduğunu ve gözlemlerin süresiyle ($r = 0.56$) zayıf bir şekilde ilişkili olduğunu göstermektedir.
- Tüm Güneş lekесi umbraları için tüm fiziksel parametrelerinin maksimum, minimum ve ortalama değerleri birbirine oldukça yakındır, ancak NOAA AR 12902'deki dinamik hız için bu durum geçerli değildir. Bu AR'deki UD'ler diğer AR'lere kıyasla çok daha hızlı hareket etmektedir. En yüksek dinamik ve ortalama hızlar NOAA AR 12902'deki büyük umbrada ölçülmüştür. Tamamen gelişmiş Güneş lekelerine kıyasla, bu lekedeki manyetik alan daha zayıftır ve bu nedenle konvektif hareketler daha az baskılanır, bu da orada ölçülen daha yüksek dinamik hızı açıklayabilir. Ayrıca, ortalama yaşam süresi diğer AR'lere kıyasla daha kısadır.
- Şu ana kadar yapılan çalışmalarda UD eksentirisitesi ile diğer parametreler arasındaki ilişkiler kapsamlı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu çalışmada, çap ile eksentirisite arasında yüksek bir korelasyon gözlemlenirken, eksentirisite ile dinamik hız arasında düşük bir korelasyon bulunmuştur.
- UD'lerin hareket hızının, daha önce rapor edilenden neredeyse iki kat daha hızlı olduğunu (Watanabe vd. 2009; Feng vd. 2015) ve verilerin mekansal ve zamansal çözünürlüğü arttıkça, boyutları ve ömürlerinin azaldığı tespit edilmiştir. İncelenen tüm parametreler arasındaki tutarsızlıkların bir nedeni, verilerin mekansal çözünürlüğündeki ve ölçüm yöntemlerindeki farklılıklar

olabilir. Bu yüzden daha yüksek çözünürlüklü verilerin üretilmesi ciddi önem arz etmektedir. Bölüm 3.2.1 ve 3.2.2 kapsamında elde edilen tüm sonuçlar Solar Physics dergisinde yayınlanmıştır (Calisir vd. 2023).

UD fiziksel parametrelerinin leke manyetik alanıyla ilişkisi:

- Parlaklık ile manyetik alan verileri arasındaki muhtemel ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. İstisnasız tüm lekeler için hem NIRIS hem de HMI manyetik alan şiddetlerinin aynı konumda gözlenen UD'lerin parlaklıkları ile anlamlı ters korelasyon gösterdiği bulunmuştur. Buradan, bir Güneş leke umbrasında manyetik alanın şiddeti arttıkça aynı konumda gözlenen UD parlaklıklarının azaldığı sonucu elde edilmiştir.
- Çap, eksentrisite ile manyetik alan verileri arasındaki muhtemel ilişkiyi belirlemek için Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. UD çap ve eksentrisite değerlerinin hem NIRIS hem de HMI verilerinde aynı konumdaki manyetik alan ile belirgin bir ilişki göstermediği sonucu elde edilmiştir.
- Hem NIRIS hem de HMI manyetik alan şiddet değerlerinde ortalama CUD manyetik alan şiddetinin, ortalama PUD manyetik alan şiddetinden yüksek olduğu tespit edilmiştir. CUD ve PUD parlaklıkları ise bunun tam tersi bir davranış sergilemektedir. Ayrıca NIRIS şiddet-manyetik alan dağılım grafikleri incelendiğinde çoğu grafikte iki farklı bölgede kümeleşme olduğu görülmektedir. Bu kümeleşme UD'lerin CUD ve PUD olarak iki kategoriye ayrıldığını desteklemektedir ve parlaklığa bağladığımız CUD-PUD ayrımı lekelerin manyetik alanıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Kilcik vd. 2024).
- PUD-CUD ayrımının manyetik alan verilerinde de mevcut olduğu ancak bu ayrımın UD'lerin parlaklıkları gibi bir ayrım kriteri olarak kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Lekelerin büyük çoğunluğunda net bir ayrım olsa da bazı lekelerde bu yapı oldukça karmaşıktır. Bunun sebebinin manyetik alan verilerinin düşük çözünürlüğü veya manyetik alan verilerinin üretilmesi aşaması olduğu düşünülmektedir. Manyetik alan çalışmalarında daha hassas ve yüksek çözünürlüklü üretilen verilerin kullanılması ciddi önem arz etmektedir.
- Şekil 4.8 incelendiğinde NIRIS ve HMI manyetik alan ölçümleri birbiri ile oldukça iyi uyum göstermektedir. İki ölçümü umbral alan ile karşılaştırdığımızda her iki aletle de yapılan ölçümlerde leke alanı arttıkça manyetik alanın arttığı görülmektedir. HMI ölçümleri NIRIS ölçümlerine göre daha iyi uyum göstermektedir. İki ölçüm arasındaki bu farkın asıl sebebinin aletlerin çözünürlük farkından kaynaklandığını düşünüyoruz.
- Şekil 4.9 incelendiğinde UD şiddeti, ortalama UD yaşam süresi ve ortalama UD dinamik hızı ortalama umbral manyetik alan ile ilişkili görülmektedir. Ortalama UD şiddeti ve yaşam süresi manyetik alanla ters ilişki gösterirken ortalama dinamik hız manyetik alan arttıkça artmaktadır. Her ne kadar UD yaşam süresi ve dinamik hız beklentinin tersi sonuç verse de her iki aletten elde edilen

sonuçların birbiri ile uyumlu olması yapılan çalışmayı güçlendirmektedir. Ayrıca, 13 leke üzerinden elde edilen bu sonuç konunun daha detaylı araştırılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

- Bölüm 3.3.3 kapsamında “Umbral Dot Parametrelerinin Güneş Leke Manyetik Alanı İle İlişkisi” üzerine elde edilen sonuçlar yüksek etki faktörlü bir dergide yayınlanmak üzere hazırlanmaktadır.



7. KAYNAKLAR

- Abramenko, V., Yurchyshyn, V., Goode, P., Kilcik, A. 2010. Statistical Distribution of Size and Lifetime of Bright Points Observed with the New Solar Telescope. *The Astrophysical Journal Letters*, Volume 725, Issue 1, pp. L101-L105.
- Babcock, H. W. 1961. The topology of the Sun's magnetic field and the 22-year cycle. *Astrophys J* 133:572–587.
- Berdyugina, S.V., Solanki, S.K., Frutiger, C. 2003. The molecular Zeeman effect and diagnostics of solar and stellar magnetic fields II. Synthetic Stokes profiles in the Zeeman regime. *Astronomy and Astrophysics*, v.412, p.513-527.
- Bharti, L., Beeck, B., Schüssler, M. 2010. Properties of simulated sunspot umbral dots. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 510, id.A12.
- Borrero, J. M., Ichimoto, K. 2011. Magnetic Structure of Sunspots. *Living Reviews in Solar Physics*, Volume 8, Issue 1, article id. 4, 98 pp.
- Bhowmik, P., Jiang, J., Upton, L., Lemerle, A., Nandy, D. 2023. Physical Models for Solar Cycle Predictions. *Space Sci Rev* 219, 40.
- Calisir, M.A., Yazici, H.T., Kilcik, A., Yurchyshyn, V. 2023. Relationships Between Physical Parameters of Umbral Dots Measured for 12 Sunspot Umbras with the Goode Solar Telescope. *Solar Phys.* 298, 103.
- Crocker, J.C., Hoffman, B.D. 2007. Multiple-Particle Tracking and Two-Point Microrheology in Cells. *Methods in Cell Biology* Volume 83, 2007, Pages 141-178.
- Crocker, J.C., Grier, D.G. 1996. Methods of digital video microscopy for colloidal studies. *J. Colloid Interface Sci.* 179(1), 298.
- Charbonneau, P. 2020. Dynamo models of the solar cycle. *Living Rev Sol Phys* 17:4.
- Choudhuri, A. R., 1986. The Dynamics of Magnetically Trapped Fluids. I. Implications for Umbral Dots and Penumbral Grains. *Astrophysical Journal* v.302, p.809.
- Dekking, F.M. 2005. *A Modern Introduction to Probability and Statistics*. Springer. pp. 234–238. ISBN 1-85233-896-2.
- Deng, L. 2019. New Vacuum Solar Telescope Observations of Solar Fine-Scale Magnetic Structures in the Lower Atmosphere. *Solar Polarization Workshop 8*. ASP Conference Series, Vol. 526, Astronomical Society of the Pacific, 2019, p.229.
- Ebadi, H., Abbasvand, V., Pourjavadi, H. 2017. The study of umbral dots in sunspots based on SOT/Hinode observations. *Astronomische Nachrichten*, Volume 338, Issue 6, pp. 662-670.
- Fan, Y. 2021. Magnetic fields in the solar convection zone. *Living Rev Sol Phys* 18, 5.
- Feng, S., Zhao, Y., Yang, Y., Ji, K., Deng, H., Wang, F. 2015. Identifying and Tracking of Peripheral and Central Umbral Dots. *Solar Physics*, Volume 290, Issue 4, pp.1119-1133.
- Frigge, M., Hoaglin, D., Iglewicz, B. 1989. Some implementations of the boxplot.

- American Statistician, 43(1):50–54.
- Gokhale, M.H. and Zwaan, C., 1972. The Structure of Sunspots. I: Observational Constraints:Current Sheet Models. Solar Phys., 26, 52–75.
- Hale, GE. 1908a. On the probable existence of a magnetic field in Sun-spots. Astrophys J 28:315.
- Hale, GE. 1908b. The Zeeman effect in the Sun. Publ Astron Soc Pac 20(123):287.
- Hale, GE., Ellerman, F., Nicholson. SB., 1919. The magnetic polarity of Sun-spots. Astrophys J 49:153.
- Hamedivafa, H. 2011. Kinematics of Umbral Dots: Their Typical Area,Brightness and Lifetime. Solar Physics, Volume 270, Issue 1, pp.75-88.
- Hamedivafa, H., Sobotka, M. 2004. Observational evidence of Joule heating in some umbral dots. Astron.Astrophys. 428, 215.
- Hamedivafa, H. 2020. Comparative Study of a Sunspot at Two Different Instances of Time. Solar Physics, Volume 295, Issue 4, article id.60.
- Hyndman, R., Fan, Y. 1996. Sample quantiles in statistical packages. American Statistician, 50(4):361–365.
- Ji, K., Jiang, X., Feng, S., Yang, Y., Deng, H., Wang, F. 2016. Investigation of Umbral Dots with the New Vacuum Solar Telescope. Solar Physics, Volume 291, Issue 2, pp.357-369.
- Kilcik, A., Sarp, V., Yurchyshyn, V., Rozelot, J.P., Ozguc, A. 2020. Physical Characteristics of Umbral Dots Derived from a High Resolution Observation. Solar Physics, Volume 295, Issue 4, article id.58.
- Kilcik, A., Yurchyshyn, V., Rempel, M., Abramenko, V., Kitai, R., Goode, P. R., Cao, W., Watanabe, H. 2012. Properties of Umbral Dots as Measured from the New Solar Telescope Data and MHD Simulations. The Astrophysical Journal, Volume 745, Issue 2, article id. 163, 14 pp.
- Kilcik, A., Chowdhury, P., Sarp, V., Yurchyshyn, V., Donmez, B., Rozelot, J. P., Ozguc, A. 2020. Temporal and periodic variation of the MCMESI for the last two solar cycles; Comparison with the number of different class X-ray solar flares. Solar Physics, 295, 1-17.
- Louis, R.E., Mathew, S.K., Bellot Rubio, L.R., Ichimoto, K., Ravindra, B., Raja Bayanna, A. 2012. Properties of umbral dots from stray light corrected Hinode filtergrams. The Astrophysical Journal, Volume 752, Issue 2, article id. 109, 10 pp.
- Mathew, S. K., Martínez Pillet, V., Solanki, S. K., Krivova, N. A. 2007. Properties of sunspots in cycle 23. I. Dependence of brightness on sunspot size and cycle phase. Astronomy and Astrophysics, Volume 465, Issue 1, April I 2007, pp.291-304.
- Meyer, F., Schmidt, H.U., Wilson, P.R. and Weiss, N.O., 1974. The growth and decay of sunspots. Mon. Not. R. Astron. Soc., 169, 35–57.
- Meyer, F., Schmidt, H.U. and Weiss, N.O., 1977. The stability of sunspots. Mon. Not.

- R. Astron.Soc., 179, 741–761.
- Parker, E.N., 1979. Sunspots and the physics of magnetic flux tubes. IX. Umbral dots and longitudinal overstability. *Astrophys. J.*, 234, 333–347.
- Pevtsov, A. A., Bertello, L., Tlatov, A. G., Kilcik, A., Nagovitsyn, Y. A., Cliver, E. W. 2014. Cyclic and Long-Term Variation of Sunspot Magnetic Fields. *Solar Physics*, Volume 289, Issue 2, pp.593-602.
- Rempel, M., Schüssler, M., Knölker, M. 2009. Radiative Magnetohydrodynamic Simulation of Sunspot Structure. *The Astrophysical Journal*, Volume 691, Issue 1, pp. 640-649.
- Riethmüller, T. L., Solanki, S. K., Zakharov, V., Gandorfer, A. 2008. Brightness, distribution, and evolution of sunspot umbral dots. *Astronomy and Astrophysics*, Volume 492, Issue 1, 2008, pp.233-243.
- Riethmüller, T. L., Solanki, S. K., & Lagg, A. 2008a. Stratification of sunspot umbral dots from inversion of Stokes profiles recorded by Hinode. *The Astrophysical Journal Letters*, 678(2), L157.
- Rousseuw, P. J., Ruts, I., Tukey, J. W. 1999. The bagplot: A bivariate boxplot. *The American Statistician*, 53:382–387.
- Schüssler, M., & Vögler, A. 2006. Magnetoconvection in a sunspot umbra. *The Astrophysical Journal Letters*, 641(1), L73.
- Sobotka, M., Brandt, P. N., & Simon, G. W. 1997. Fine structure in sunspots. I. Sizes and lifetimes of umbral dots. *Astronomy and astrophysics*, 328, 682-688.
- Sobotka, M., Hanslmeier, A. 2005. Photometry of umbral dots, *Astronomy and Astrophysics*, Volume 442, Issue 1, pp.323-329.
- Sobotka, M., Brandt, P. N., & Simon, G. W. 1997. Fine structure in sunspots. II. Intensity variations and proper motions of umbral dots. *Astronomy and Astrophysics*, v. 328, p. 689-694.
- Solanki, S. K. 2003. Sunspots: an overview. *The Astronomy and Astrophysics Review*, 11(2-3), 153-286.
- Tukey, J. W. 1970. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Limited Preliminary Edition
- Tukey, J. W. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Massachusetts
- Thomas, J. H., Weiss, N. O., 2004. Fine Structure in Sunspots. *Annual Review of Astronomy & Astrophysics*, vol. 42, Issue 1, pp.517-548.
- Thomas, J. H., Weiss, N.O., (Eds.), 1992b. *Sunspots: Theory and Observations*, Kluwer, Dordrecht
- Thomas, J. H., Weiss, N. O., Tobias, S. M., Brummell, N. H. 2002a, *Astron. Nachr.*, 323, 383, 2002b, *Nature*, 420, 390
- Valio, A., Spagiar, E., Marengoni, M., Selhorst, Caius L. 2020. Correlations of Sunspot Physical Characteristics during Solar Cycle 23. *Solar Physics*, Volume 295, Issue 9, article id.120.

- Yadav, Rahul., Louis, Rohan E., Mathew, Shibu K. 2018a Investigating the Relation between Sunspots and Umbral Dots. *The Astrophysical Journal*, Volume 855, Issue 1, article id. 8, 10 pp.
- Yadav, Rahul., Mathew, Shibu K. 2018b. Physical Properties of Umbral Dots Observed in Sunspots: A Hinode Observation. *Solar Physics*, Volume 293, Issue 4, article id. 54, 18 pp.
- Yurchyshyn, V., Abramenko, V., & Kilcik, A. 2015. Dynamics in sunspot umbra as seen in New Solar Telescope and interface region imaging spectrograph data. *The Astrophysical Journal*, 798(2), 136.
- Zhou, Z. 2023. A Study of Solar Rotation and Differential Rotation. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 11, 3782-3788.
- Watanabe, H., Bellot Rubio, L. R., de la Cruz Rodríguez, J., Rouppe van der Voort, L. 2012. Temporal Evolution of Velocity and Magnetic Field in and around Umbral Dots. *The Astrophysical Journal*, Volume 757, Issue 1, article id. 49, 26 pp.
- Watanabe, H., Kitai, R., Ichimoto, K. 2009. Characteristic Dependence of Umbral Dots on Their Magnetic Structure. *The Astrophysical Journal*, Volume 702, Issue 2, pp. 1048-1057.
- Weiss, Nigel O., Thomas, John H., Brummell, Nicholas H., Tobias, Steven M. 2004. The Origin of Penumbral Structure in Sunspots: Downward Pumping of Magnetic Flux. *The Astrophysical Journal*, Volume 600, Issue 2, pp. 1073-1090.

ÖZGEÇMİŞ

MUHAMMED ALİ ÇALIŞIR

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2020-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
2013-2017	Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Niğde

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Calisir, M.A., Yazici, H.T., Kilcik, A., Yurchyshyn, V. 2023, “Relationships Between Physical Parameters of Umbral Dots Measured for 12 Sunspot Umbras with the Goode Solar Telescope”, Solar Phys. 298, 103., doi:10.1007/s11207-023-02198-3

Yayımlanmak için gönderilen hakem aşamasında olan makaleler

1- Kilcik, A., Calisir, M.A., Yurchyshyn, V. 2024, “A New Approximation for Central and Peripheral Umbral Dots Separation”, Solar Phys, 11 February 2024, PREPRINT (Version 1), doi:10.21203/rs.3.rs-3940033/v1

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve poster/sunumlar

1- Kilcik A., Calisir M. 2024, “Relationship Between Physical Parameters of Umbral Dots Measured in Twenty-one Sunspot Umbras and the Solar Cycle”, The 16th workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere, Book of Abstracts, Sixteenth Workshop, 2024, doi: 10.31401/WSoz.2024.abs

2- Kilcik A., Calisir M. 2023, “Solar Cycle Dependencies of Sunspot Umbral Dot Parameters”, The 15th workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere, Book of Abstracts, Fifteenth Workshop, doi: 10.31401/WSoz.2023.abs

3- Calisir M.A., Ozmen O., Kilcik A. 2023, “Prediction of the Solar Cycles 25 and 26 Using the Machine Learning Method (SARIMA)”, The 15th workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere, Book of Abstracts, Fifteenth Workshop, doi: 10.31401/WSoz.2023.abs

4- Calisir M.A., Kilcik A. 2022, “Relationship between Solar Energetic Particles and Solar Flares during the 24th Solar Cycle”, The 14th workshop Solar Influences on the Magnetosphere, Ionosphere and Atmosphere, Book of Abstracts, Fourteenth Workshop, doi: 10.31401/WSoz.2022.abs

