İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

GÜNEŞ DİSK MERKEZİNE YAKIN SAKİN OLMAYAN BİR BÖLGENİN İKİ BOYUTLU SPEKTROSKOPİSİ

Asuman GÜLTEKİN
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman
Doç. Dr. Nurol AL ERDOĞAN

Kasım, 2010

İSTANBUL

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

GÜNEŞ DİSK MERKEZİNE YAKIN SAKİN OLMAYAN BİR BÖLGENİN İKİ BOYUTLU SPEKTROSKOPİSİ

Asuman GÜLTEKİN
Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı
Astronomi ve Uzay Bilimleri Programı

Danışman
Doç. Dr. Nurol AL ERDOĞAN

Kasım, 2010

İSTANBUL

Bu çalışma 26/11/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Astronomi ve Uzay Bilimleri Anabilim Dalı Astronomi ve Uzay Bilimleri programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç.Dr. Nurol AL ERDOĞAN
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

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

Prof.Dr. Zeki EKER
Akdeniz Üniversitesi
Fen Fakültesi

Prof.Dr. A. Talat SAYGAÇ
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Doç.Dr. Günay TAŞ
Ege Üniversitesi
Fen Fakültesi

ÖNSÖZ

Son yıllarda gözlem ve görüntü işleme tekniklerindeki gelişmelerle Güneş üzerinde sakin ve aktif bölgelerde görülen küçük boyutlu yapıların ayrıntılı incelenmesi mümkün olmaktadır. Bu tez çalışmasıyla, Güneş'te yarı aktif bir bölgede, yüksek ayırma gücüyle gözlenen hem yaşam süreleri hem de boyutları küçük olan yapılara ait özellikler, iki boyutlu spektroskopinin sağladığı olanaklarla ve çeşitli yöntem ve modellerle ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır.

Bu hedef doğrultusunda tezin şekillenmesinde büyük emeği geçen, gerek bilgi ve birikimlerini paylaşarak gerek çalışma ortamını sağlayarak gösterdiği yakınlık ve desteklerden dolayı danışmanım Doç. Dr. Nurol Al Erdoğan'a çok teşekkür ederim.

Tez izleme komitesi üyelerinden Prof. Dr. M. Türker Özkan'a, hem tez konusunda hem de çalışma olanaklarıyla verdiği desteklerden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yine tez izleme komitesi üyelerinden Prof. Dr. Zeki Eker'e ve Prof. Dr. Adnan Ökten'e önerileri ve yönlendirmeleri için çok teşekkür ederim.

Fikirleriyle ve programlar konusunda bilgilerini paylaşarak bana destek olan arkadaşım Dr. Z. Funda Bostancı Güver'e, sorularım karşısında yardımlarını esirgemeyen Doç. Dr. Selçuk Bilir'e ve destekleriyle Prof. Dr. Talat Saygaç'a, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölüm Başkanlığına ve emeği geçen bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Varlığı benim için bir lütuf olan ağabeyim Timuçin Gültekin'e ve çok değerli aileme her türlü destekleriyle her zaman yanımda oldukları için çok teşekkür ederim.

Ekim 2010

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **i**

İÇİNDEKİLER ..... **ii**

ŞEKİL LİSTESİ ..... **iv**

TABLO LİSTESİ ..... **vi**

SEMBOL LİSTESİ ..... **vii**

ÖZET ..... **ix**

SUMMARY ..... **x**

1. GİRİŞ **1**

2. GENEL KISIMLAR **4**

2.1. GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ **4**

2.2. FOTOSFERDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR **9**

2.3. KROMOSFERDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR **11**

3. MALZEME VE YÖNTEM **13**

3.1. İKİ BOYUTLU SPEKTROSKOPİ **14**

3.2. GÖZLEM VERİLERİ VE İNDİRGEMELER **15**

3.2.1. Geniş Bant Verileri İçin Spekl Yöntemi **18**

3.2.2. Dar Bant Verileri İçin Spekl Yöntemi **20**

3.3. YEREL BAĞLANTI TAKİBİ **22**

3.4. ŞİDDET VE DOPPLER HIZ GÖRÜNTÜLERİNİN OLUŞTURULMASI **25**

3.4.1. Lambdametre Yöntemi **25**

3.4.2. Merkezî Şiddet ve Doppler Hız Görüntülerinin Oluşturulması **27**

3.5. FOTOSFERDEKİ PARLAK NOKTALARIN İNCELENMESİ **30**

3.6. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILARIN TAKİBİ **30**

3.7. GÜÇ SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI **31**

3.8. STANDART BULUT MODELİ **31**

3.8.1. Bulut Modeli'yle Bulunan Parametrelere İlişkin Bağıntılar 32

4. BULGULAR 35

4.1. SPEKL YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLEN VERİLER 35

4.2. FARKLI YÖNTEMLERLE OLUŞTURULAN MERKEZÎ HIZ GÖRÜNTÜLERİ 38

4.3. UFUKSAL HIZ HARİTASI..... 39

4.4. GRANÜLLER ARASINDAKİ KÜÇÜK PARLAK NOKTALAR..... 40

4.5. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILAR VE PLAZMA HAREKETLERİ .. 43

4.6. KROMOSFERDE GÖZLENEN PERİYOTLAR..... 50

4.7. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILARA AİT FİZİKSEL PARAMETRELER..... 55

5. TARTIŞMA VE SONUÇ 57

5.1. YARI AKTİF BÖLGEDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR: FİBRİLLER.. 59

5.1.1. Fibrillere Ait Periyodik Özellikler..... 60

5.1.2. Fibrillere Ait Fiziksel Özellikler 62

KAYNAKLAR 65

ÖZGEÇMİŞ 72

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Güneş diski üzerinde granüller. 5
Şekil 2.2 : Bir Güneş lekesi görüntüsü 6
Şekil 2.3 : Kromosfer tabakasının 11 Ağustos 1999'daki tam Güneş tutulmasında çekilen görüntüsü ve Hα filtresiyle alınmış disk görüntüsü. 7
Şekil 2.4 : TRACE (Transition Region and Coronal Explorer) uydusundan 171 Å'luk dalgaboyunda alınmış korona görüntüsü. 8
Şekil 2.5 : Sıcaklığın Güneş atmosferinde yükseklikle değişimini ve tayf çizgilerinin atmosferdeki oluşum yüksekliğini veren grafik. 8
Şekil 2.6 : Akı tüpü yaklaşımı 10
Şekil 2.7 : Fibrillere dair bir çizim 12
Şekil 3.1 : Tenerife'de Almanlara ait Vakum Kule Teleskopu 13
Şekil 3.2 : Tayfölçerin ana ışık yollarının basit gösterimi 14
Şekil 3.3 : Hα çizgi profilinin 18 dalgaboyu adımı. 16
Şekil 3.4 : Ortalama kara akım ve ortalama düz alan görüntüsü 17
Şekil 3.5 : Yedinci taramanın dokuzuncu görüntüsünün kara akım ve düz alan düzeltmelerinden önce ve sonraki görünüşü 17
Şekil 3.6 : Örnek tarama için spekl yöntemiyle yeniden oluşturulan alt alanlar ... 20
Şekil 3.7 : Örnek tarama için 48 alt alanın birleştirilmesiyle elde edilen 350 × 249 piksel'lik spekl görüntüsü ile spekl yöntemi uygulanmadan önceki aynı taramanın en iyi görüntüsü 20
Şekil 3.8 : Yedinci dar bant taramasının 10. dalgaboyu konumundaki sekiz adet ham verinin ortalama görüntüsü (384 × 286 piksel) ile aynı dalgaboyu için yeniden oluşturulmuş dar bant görüntüsü 22
Şekil 3.9 : *x* ve *y* hız bileşenlerine ilişkin haritalar ve Gauss filtresi 24
Şekil 3.10 : Bileşke hız görüntüsü ve hız vektörleri 25
Şekil 3.11 : Yedinci taramaya ait ortalama çizgi profili ile taramadaki bir piksele ait çizgi profili 26
Şekil 3.12 : Yedinci taramanın 0.2 - 0.6 - 1.0 - 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet görüntüleri. 27
Şekil 3.13 : Yedinci taramanın 0.2 - 0.6 - 1.0 - 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları için elde edilen hız görüntüleri 27
Şekil 3.14 : Yedinci taramadaki bir piksel için çizilen çizgi profili ve profil merkezinden ± 0.25 Å uzaklığa karşılık gelen şiddet değerleri 29
Şekil 3.15 : Yedinci taramanın Hα ± 0.25 Å, Hα ± 0.50 Å ve Hα ± 0.75 Å'daki şiddet görüntüleri ile aynı dalgaboylarına karşılık gelen hız görüntüleri 29
Şekil 3.16 : 60 adet fotosfer görüntüsü içinde görüş kalitesi bakımından en iyi tarama olan yedinci taramaya ait 30″.6 × 16″.7'lik görüntü ve aynı taramaya ait Hα + 0.8 Å'daki mavi kanat görüntüsü 30
Şekil 4.1 : Zaman serisi içerisinde yedinci taramaya ait ortalama çizgi profili ve spekl yöntemiyle yeniden oluşturulmuş dar bant görüntüleri. 36
Şekil 4.2 : Dar bant zaman serisindeki yedinci taramanın 18 adet dalgaboyu konumuna ait 330 × 230 piksel boyutlarındaki spekl tekniği ile iyileştirilmiş görüntüler 37

Şekil 4.3 : Zaman serisinin yedinci taraması için birinci yöntem ve ikinci yöntemle elde edilmiş merkezî hız görüntüleri 38
Şekil 4.4 : Yedinci tarama için oluşturulan merkezî şiddet görüntüsü 38
Şekil 4.5 : Bütün zaman serisindeki şiddet değerlerine karşılık gelen hız değerlerini gösteren grafik 39
Şekil 4.6 : Ufuksal hız haritası. 40
Şekil 4.7 : Mezogranül hücrelerinin görünür olduğu ufuksal hız haritası 40
Şekil 4.8 : Örnek bir geniş bant görüntüsü üzerinde yerleri 20 × 20 piksel'lik kutucuklarla işaretlenmiş parlak noktalar ile eş zamanlı merkezî şiddet görüntüsü 41
Şekil 4.9 : Tek bir nokta şeklinde görülmeye başlanan parlak bir noktanın iki bileşene ayrılmasına örnek 42
Şekil 4.10 : Şekil 4.9'da verilen taramalardaki parlak noktanın şiddet değişimi ve zamanla görüş alanındaki yer değişimi 42
Şekil 4.11 : 25. ve 41. taramalar arasında izlenen parlak nokta. 43
Şekil 4.12 : Şekil 4.11'de verilen taramalardaki parlak noktanın şiddet değişimi ve zamanla görüş alanındaki yer değişimi 43
Şekil 4.13 : Bir fibril üzerindeki bir noktaya ait çizgi profili 43
Şekil 4.14 : Merkezî şiddet görüntülerinin ortalaması 44
Şekil 4.15 : Yedinci taramaya ait merkezî şiddet görüntüsü 44
Şekil 4.16 : 9. ve 16. taramalar arasında gözlenen fibrilin farklı dalgaboylarında elde edilen görüntüsünün zamanla değişimi. 46
Şekil 4.17 : Şekil 4.16'daki fibrilin uzunluğunun zamanla değişimin gösterimi. ... 47
Şekil 4.18 : Birinci ve dördüncü taramalar arasında gözlenen fibrilin zamanla değişimi. 47
Şekil 4.19 : Şekil 4.18'deki fibrilin uzunluğunun zamanla değişiminin gösterimi. 48
Şekil 4.20 : Görüş alanının 150 × 110 piksel'lik bir kısmında seçilen üç fibril ve fibriller boyunca seçilen pikseller (beyaz noktalar) ve farklı eş şiddet doğruları için bulunan hız değerlerinin fibriller üzerinde seçilen bu noktalarla değişimini veren grafik 49
Şekil 4.21 : Bütün zaman serisindeki merkezî hızlarla 0.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızların ve merkezî hızlarla 1.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızların karşılaştırılması 50
Şekil 4.22 : Merkezî hız görüntüleri ile farklı eş şiddet doğruları için elde edilen hız görüntülerinin güç spektrumunun farklı frekans aralıklarındaki ortalamasıyla oluşturulan görüntüler. 52
Şekil 4.23 : Merkezî şiddet görüntüleri ile farklı eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet görüntülerinin güç spektrumunun farklı frekans aralıklarındaki ortalamasıyla oluşturulan görüntüler. 53
Şekil 4.24 : Ortalama kromosfer görüntüsü ve en iyi taramaya ait fotosfer görüntüsü ile bu görüntülerde belirlenen A, B ve C bölgesindeki 50 × 25 piksel'lik alanlardaki merkezî şiddet ve merkezî hızlara ait ortalama güç spektrumları 54
Şekil 4.25 : Bulut Modeli ile zaman serisindeki fibrillere ait kaynak fonksiyonu, optik derinlik, Doppler genişliği ve hız histogramları 55
Şekil 5.1 : Ortalama vektörel hız haritası 58
Şekil 5.2 : Yedinci taramaya ait beyaz ışık görüntüsü ve üzerinde parlak noktaların izlendiği küçük kare alanlar ile merkezi hızın 2.4 - 4 mHz'lik frekans aralığındaki ortalama güç spektrumu 62

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1 : Zaman serisinde bulunan farklı eş şiddet doğruları için bulunan Doppler hızlarının en büyük ve ortalama değerleri. 50

Tablo 4.2 : Bulut Modeli ile 60 tarama için hesaplanan koyu kromosferik yapılara ait parametrelerin standart sapmalarıyla birlikte verilen ortalama değerleri..... 56

Tablo 4.3 : Bulut Modeli parametrelerinden elde edilen ve farklı d kalınlığı için bulunan ikinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu (N_2), elektron sayı yoğunluğu (N_e), hidrojenin toplam parçacık sayı yoğunluğu (N_H), gaz basıncı (p), toplam kolon kütlesi (M) ve kütle yoğunluğu (ρ)'na ait ortalama değerler ve standart sapmaları. 56

Tablo 5.1 : Koyu kromosferik yapılara ait hesaplanan fiziksel parametrelerin ortalama değerlerinin Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)'nin bulduğu sonuçlarla karşılaştırılması..... 63

Tablo 5.2 : Bu çalışmada ve Alissandrakis ve diğ. (1990)'nin çalışmasında bulunan Bulut Modeli parametrelerine ait ortalama değerler 64

SEMBOL LİSTESİ

B	: Manyetik alan
c	: Işık hızı
$C(\vec{\delta},\vec{x})$	: Çapraz korelasyon
$C(\lambda)$	: Kontrast profili
d	: Kalınlık
D	: Teleskopun açıklığı (Ana ayna çapı)
F_i	: i. görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümü
F_o	: Gerçek görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümü
G	: Gauss filtresi
H	: Gürültü filtresi
Hα	: Hidrojen tayfı, Balmer serisi, birinci çizgi
H_b	: Basınç yükseklik ölçeği
I	: Şiddet
I_0	: Art alan şiddeti
i	: Kaynağın gözlemlerden elde edilen görüntüsünün şiddet dağılımı
k	: Boltzmann sabiti
m	: Atom kütlesi
M	: Toplam kolon kütlesi
N_2	: İkinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu
N_e	: Elektron yoğunluğu
N_H	: Hidrojenlerin toplam parçacık yoğunluğu
N_T	: Toplam parçacık yoğunluğu
o	: Kaynağın gerçek görüntüsünün şiddet dağılımı
p	: Gauss profilinin yarı maksimumdaki tam genişliği
p_d	: Akı tüpü dışındaki gaz basıncı
p_i	: Akı tüpü içindeki gaz basıcı
p_m	: Manyetik basınç
P	: Gaz basıncı
$\vec{r}$	: Görüntü düzleminin iki boyutlu koordinatları
R	: Yarıçap
$R_\odot$	: Güneş'in yarıçapı
$\mathcal{S}$	: Teleskop ve atmosferden oluşan sistemin nokta dağılım fonksiyonu
S	: Kaynak fonksiyonu
S_i	: Nokta dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümü
T	: Sıcaklık
v	: Hız
v_x	: x eksenindeki hız bileşeni
v_y	: y eksenindeki hız bileşeni
z	: Geometrik yükseklik
α	: Teleskopun ayırma gücü (λ/D)

x_H	: Hidrojenin iyonizasyon derecesi
δx	: x doğrultusundaki yer değiştirme miktarı
δy	: y doğrultusundaki yer değiştirme miktarı
$\Delta\lambda$	: Dalgaboyu farkı
$\Delta\lambda_{\mathrm{D}}$	: Doppler genişliği
Δt	: Zaman farkı
λ	: Dalgaboyu
λ_{piksel}	: Bir profilin en küçük şiddet değerine karşılık gelen dalgaboyu
λ_{c}	: Merkezî dalgaboyu
ρ	: Kütle yoğunluğu
τ	: Optik kalınlık
τ_0	: Merkezî dalgaboyundaki optik kalınlık
ξ_t	: Mikrotürbülans hızı
$\otimes$	: Girişim işlemcisi

ÖZET

GÜNEŞ DİSK MERKEZİNE YAKIN SAKİN OLMAYAN BİR BÖLGENİN İKİ BOYUTLU SPEKTROSKOPİSİ

Bu çalışmanın amacı Güneş'in sakin olmayan bir bölgesini içeren görüş alanı içinde, farklı tabakalarda yer alan ince yapıları araştırmak, bu yapılara dair çeşitli fiziksel parametreleri belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda, Güneş disk merkezi yakınındaki bir bölgenin H-alfa çizgisindeki gözlemleri kullanılmıştır. Gözlemler, iki boyutlu spektrometreyle yapılan H-alfa çizgi taramalarıyla farklı dalgaboyu konumlarında alınan dar bant görüntüleri ile bunlarla eş zamanlı olarak kaydedilen geniş bant görüntülerini içermektedir.

Dar bant zaman serisinde fibril denilen koyu ince yapılar ve geniş bant zaman serisinde, granüller arasında yer alan küçük beyaz parlak noktalar incelenmiştir. Parlak noktaların, şiddet değişimleri ve yer değiştirmelerinden itibaren hesaplanan hızlarıyla birlikte yaşam süreleri boyunca izledikleri yörüngeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Lambdametre Yöntemi'yle oluşturulan şiddet ve hız görüntüleri kullanılarak, kromosferde gözlenen ince yapıların görüş doğrultusundaki hızları hesaplanmış, madde hareketinin yapı boyunca ve derinlikle değişimi incelenmiştir. Ayrıca bu görüntülerden yola çıkarak kromosferik ince yapıların periyodik davranışları belirlenmeye ve sebepleri anlaşılmaya çalışılmıştır. Görüş doğrultusundaki hızlarla birlikte kaynak fonksiyonu, Doppler genişliği, optik derinlik gibi yapılara ait parametrelerin elde edilmesinde kullanılan "Bulut Modeli" yarı aktif bölgedeki ince yapılara uygulanarak, sıcaklık, parçacık sayı yoğunlukları, gaz basıncı, toplam kolon kütlesi gibi fiziksel özellikleri niteleyen diğer paremetrelere de ulaşılmıştır.

SUMMARY

TWO-DIMENSIONAL SPECTROSCOPY OF A SEMI-ACTIVE REGION NEAR SOLAR DISK CENTER

The aim of this thesis is to study fine structures, which were observed in different atmospheric layers within the field of view including a semi-active region of the sun, and to determine various physical parameters of them. For these purposes, observations of a small region in the H-alpha line near the solar disk center have been carried out. During the observations, broad-band images were taken simultaneously with narrow-band images at different wavelength positions by scanning through H-alpha profile using the two dimensional spectrometer.

The small scale dark structures called fibrils and the small scale bright points located in intergranular lanes are observed in the narrow-band and the broad-band time series, respectively. Intensity variations and velocities calculated from displacements of bright points as well as trajectories during their lifetime were determined. Using the intensity and velocity images which were generated by the lambdameter method, the line of sight velocities of the fine structures in the chromosphere were calculated. Variations of mass motions along these structures with atmospheric height were examined. The periodic behavior of chromospheric fine structures were also analyzed and their causes were tried to be investigated. The physical parameters such as source function, the Doppler width, optical depth at the line center as well as line of sight velocity were derived by applying the cloud model to the fine structures in the semi-active region. Thus, by using these values other parameters such as temperature, particle number densities, gas pressure and mass density were determined.

1. GİRİŞ

Güneş yüzeyindeki yapılar incelenirken gözlenen bölgeler, aktif ve sakin olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif bölge ve sakin bölge sırasıyla atmosfer tabakalarında manyetik alanın güçlü ve zayıf olduğu bölgeler olarak tanımlanır. Aktif bölgelerdeki pek çok dinamik olay, temel olarak manyetik alanla ilişkilidir. Güneş'in fotosfer tabakasının derinliklerinden yüzeye yükselen manyetik alan çizgileri konvektif hareketlerle bir araya gelir ve yoğunlaşırlar. Manyetik alanın bu şekilde belli bölgelerde yoğunlaşması sonucunda konveksiyon bölgesinin üstündeki fotosferde ve daha üstteki kromosfer tabakasında birbirinden farklı yapılar oluşur. Fotosferde bu aktif bölge elemanları, faküla, por, Güneş lekesi ve filigri olarak gözlenirken, kromosferde filamentler, geniş plaj alanları bu alanların civarında yer alan Güneş parlamaları, yay filament sistemleri, Ellerman bombaları ve fibriller şeklinde kendini gösterir. Güneş rüzgârları, koronal madde atımları, manyetik fırtınalar gibi Arz atmosferini ve çevresini etkileyen pek çok olay Güneş'in konveksiyon bölgesindeki süreçlerin bir uzantısıdır.

Yüksek ayırma güçlü Güneş teleskoplarıyla gözlem yapıldığında, fotosfer tabakasında Güneş lekeleri gibi aktif bölgeler civarında ya da süpergranül ağ sınırlarında boyutları 1″ nin altında küçük parlak yapılar görülmektedir. Fotosferde gerek Güneş diski kenarında gözlenen ve parlak manyetik alan bölgeleri olan fakülaları gerekse disk üzerinde granüller arasında gözlenen küçük ince filigrileri oluşturan bu küçük ölçekli parlak noktalar, fakülar parlak nokta olarak tanımlanırken, sakin fotosferik ağdaki parlak noktalar, ağyapı parlak noktaları olarak isimlendirilmektedir (Berger ve diğ. 1995). Kromosferde plaj bölgeleri gibi aktif alanların civarında özellikle hidrojenin Balmer alfa (Hα - 6562.8 Å) çizgisine ayarlanmış dar bant filtre ile yapılan gözlemlerde koyu ipliksi oluşumlar gözlenmektedir (Sterling ve Hollweg, 1989; Marsh, 1976; Foukal, 1971; Bray ve Loughhead, 1974). Hα'da görülen bu koyu ipliksi yapılar, zıt kutuplu alanları birleştirecek şekilde uzun, yay biçiminde olabildikleri gibi, hem boyutları hem de yaşam süreleri bakımından daha kısa özelliklere de sahip olabilmektedirler. Bu yapılar için genel olarak "fibril" terimi kullanılmaktadır. Diğer

yandan bu çalışmanın odak noktalarından biri olan ince yapılar, küçük boyutlara sahip dinamik özellikteki fibrillerdir. Bunların görünümlerini ve hareketlerini belirleyen unsurun manyetik alan olduğu ve daha alt tabakadaki manyetik parlak noktalarla ilişkili olduğu düşünülmekle birlikte bu ince yapıların doğasını anlamak için ayrıntılı gözlem ve incelemeler gerekmektedir. Bunların dışında yine Hα'da sakin Güneş'te disk kenarında ya da disk üzerinde gözlenen ve spikül, koyu benek (mottle) olarak isimlendirilen ince yapılar da bulunmaktadır. Aktif bölgede gözlenen dinamik fibrillerle sakin bölgede gözlenen bu ince yapılar arasında bir bağlantı olup olmadığı tartışılsa da (Sterling, 2000; Hansteen ve diğ., 2006) mevcut bilgiler kesin bir yargıya varılması için yetersizdir.

Kromosferdeki ince yapıların ve diğer Güneş gözlemlerinin önemli bir kısmında oldukça geniş bir soğurma çizgisi olan Hα tayf çizgisi kullanılmaktadır. Bu çizginin merkez bölgesi kromosfer tabakasında, kanatları ise üst fotosfer tabakasında oluşur. Bu özelliğinden yola çıkılarak Hα çizgi profilini tarama işlemiyle, belli bir görüş alanında Güneş atmosferinin farklı yüksekliklerine karşılık gelen iki boyutlu görüntüler diğer bir deyişle belli bir görüş alanında dalgaboyu (λ) ile birlikte yüzey koordinatları (x,y)'na bağlı üç boyutlu görüntüler elde edilebilmektedir. Güneş üzerinde iki boyutlu bir bölgenin belli ardışık dalgaboylarında, dar bir geçirgenlik bandında gözlem yapılmasını gerektiren bu yöntem, "İki Boyutlu Spektroskopi (tayfölçümü)" olarak isimlendirilmektedir.

Farklı atmosfer tabakalarındaki dinamik olayların doğasının anlaşılabilmesi için bir başka önemli konu, tayfsal uzaysal ve zamansal çözünürlüğü yüksek gözlemler yapmaktır. Günümüzdeki yer konuşlu teleskoplar teorik olarak Güneş'in atmosfer tabakalarındaki bu küçük boyutlu yapıları gözleyecek ayırma gücüne sahip olsa da Arz atmosferinin bozucu etkisinden dolayı görüntü kalitesi istenen seviyede olamamaktadır. Bunun üstesinden gelmek için uyarlanabilir optik (adaptive optics) (Soltau ve diğ., 1997; Balthasar ve diğ., 2007; Wöger ve diğ., 2008) gibi düzenekler ile spekl görüntüleme (von der Lühe ve Dunn, 1987), çoklu görüntü ters evrişimi (multi-frame blind deconvolution) ve faz değiştirme (phase diversity) (Paxman ve diğ., 1996; van Noort ve diğ., 2006; Tritschler ve Schmidt, 2002) gibi görüntü işleme teknikleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada Spekl Yöntemi kullanılarak iyileştirilen yüksek

çözünürlüklü gözlemlerden yola çıkılarak, fotosferde ve kromosferde, aktif bir bölge yakınında gözlenen ince yapıların morfolojik ve dinamik özeliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. İki boyutlu spektroskopi ile gözlenen ince yapıların yükseklikle değişiminin ve farklı tabakalarda gözlenen yapıların birbiriyle bağlantısı olup olmadığının araştırılması, hedeflenen konulardan biridir. Genel Kısımlarda tez konusu olan Güneş'e ve fotosfer ile kromosferde gözlenen ince yapılara dair genel özellikler verilmektedir. Malzeme ve Yöntem bölümünde, gözlemler ve alınan verilerle ilgili bilgiler yer almakta, verilerin indirgenmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili metotlar, incelenen yapılara ait özelliklerin belirlenmesi amacıyla kullanılan yöntemler açıklanmaktadır. Bulgular bölümünde indirgemeler sonucunda elde edilen sonuçlar, incelenen yapıların morfolojisine ve dinamik özelliklerine dair ulaşılan değerler, Tartışma bölümünde de bu değerlerin daha önceden yapılmış çalışmalarda bulunanlarla karşılaştırılması ve yorumlanmasına yer verilmektedir.

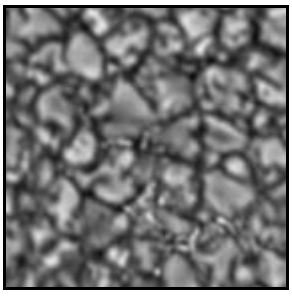
2. GENEL KISIMLAR

2.1. GÜNEŞ'İN GENEL ÖZELLİKLERİ

Güneş, etkin sıcaklığı 5778 K olan bir anakol yıldızıdır. Kimyasal kompozisyon olarak Güneş kütlesi (1.98×10^{30} kg)'nin % 74'ü hidrojenden, % 24'ü helyumdan ve geriye kalan % 2'lik kısmı da periyodik cetveldeki diğer elementlerden oluşmaktadır. Güneş'in gerek iç yapısını gerekse atmosferini anlamak için çeşitli varsayımlar altında modeller geliştirilmiştir. Günümüzde kabul edilen Standart Güneş Modeli'ne göre Güneş, gaz basıncı ile çekim kuvvetinin birbirini dengelediği hidrostatik denge durumundadır. Termodinamik yasalara göre, bir yıldızın içerisinde enerji aktarımı, ışınım (radyasyon), taşınım (konveksiyon) ve iletim (kondüksiyon) yoluyla gerçekleşir. Güneş'te enerji, merkezi iç bölgelerde ışınım yoluyla, daha dış bölgede taşınım ile iletilmektedir. Güneş yüzeyinden uzaya ışınım yolu ile yayılan enerjiyi dengeleyen enerji kaynağı ise Güneş çekirdeğindeki termonükleer tepkimelerdir. Buna göre Güneş, üretilen enerji ile yayınlanan enerjinin dengelendiği termal (ısısal) denge durumundadır. Sonuç olarak standart Güneş modelinden yola çıkarak Güneş'in iç katmanları; nükleer füzyon ile enerjinin üretildiği çekirdek, enerjinin ışınım ile iletildiği ışınım bölgesi ve enerjinin taşınım ile iletildiği taşınım bölgesi şeklinde üç bölgeye ayrılmaktadır. Güneş'in yarıçapının ¼'ünü kapsayan çekirdekte sıcaklık 1.565×10^{7} K ve yoğunluk 1.53×10^{2} $g\cdot cm^{-3}$ tür (Stix, 2002). Bu sıcaklık ve yoğunluk değerleri altında hidrojen çekirdekleri dörder dörder birleşip helyum çekirdeklerine dönüşür. Güneş'teki termonükleer süreçlerin % 97'si proton-proton tepkimeleri, geriye kalan ise CNO çevrimi olarak gerçekleşir. Daha üst tabakalara doğru yoğunluk azalmakla birlikte kalınlığı yaklaşık 0.5 $R_{\odot}$ olan ışınım bölgesinde fotonlar, iyonlar tarafından sürekli soğurulup tekrar salınırlar. Işınım bölgesinin üstündeki taşınım bölgesinde adyabatik sıcaklık gradyentinin mutlak değeri, radyatif sıcaklık gradyentinin mutlak değerinden küçük olduğundan bölge, konvektif bakımdan kararsızdır. Kararsız denge ortamında bir kabarcığın herhangi bir sebeple radyal doğrultuda yer değiştirmesiyle birlikte taşınım başlar. Taşınım, enerjinin ışınım yolu ile transferinin yetersiz kaldığı bölgeye gelmiş bir

takviye gibi davranır ve enerji transferine yardım eder. Taşınım aynı zamanda çevresine göre sıcak olan gazın yükselmesi, soğuk olan gazın alçalması şeklinde de tasvir edilir. Güneş yarıçapının yüzeye yakın % 25'lik bölgesi konveksiyon bakımından kararsızdır ve fotosfer tabakasında gözlenen, granülasyon (bulgurlanma) denilen tanecikli yapı, süregelen bir taşınımın göstergesidir.

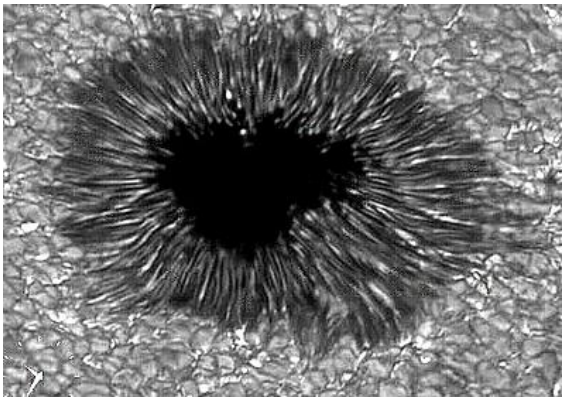
Güneş atmosferi, fotonların uzaya kaçabildiği bölge olarak tanımlanır ve genel olarak üç kısma ayrılmaktadır; *fotosfer* (*ışık küre*), *kromosfer* (*renk küre*), *korona* (*taç*). Ayrıca kromosfer ve korona arasında ince bir *geçiş bölgesi* yer almaktadır. Bu katmanlardaki ayırım, Şekil 2.5'te gösterildiği gibi Vernezza ve diğ. (1981)'nin yarı deneysel olarak uç morötesi ve diğer tayf çizgilerinin şiddetlerinin gözlemlerinden türettiği modelden elde edilen ve farklı çizgilerin oluşum yüksekliği ile atmosferdeki sıcaklık tabakalaşmasını veren grafikte de görülmektedir. Buna göre Güneş'in yaklaşık 500 km kalınlığındaki en alt atmosfer tabakası fotosferdir. Güneş ışınımının büyük bir kısmı bu tabakadan yayınlandığı için Güneş'in yüzeyi olarak da tanımlanmaktadır. Fotosfer, sıcaklığın en düşük olduğu yüksekliğe kadar uzanır. Bu tabakada 100 km'lik küçük ölçekli manyetik elemanlardan birkaç 10 000 km'lik Güneş lekelerine kadar farklı büyüklüklerde değişik yapılar gözlenebilmekle beraber her yerde homojen şekilde görünen oluşum granülasyondur (Şekil 2.1). Boyutları yaklaşık 1000 km, yaşam süreleri ortalama 3 ile 17 dakika arasında olan granüller, yukarıda da değinildiği gibi fotosferin altında 0.25 $R_\odot$ kalınlığındaki taşınım bölgesindeki sirkülâsyondan kaynaklanır.



Şekil 2.1: Güneş diski üzerinde granüller. Görüş alanı 140 × 140 piksel'dir.

Fotosferin aktif bölgelerinde, geniş bir alan kaplayan ve manyetik akının güçlü olduğu Güneş lekeleri gözlenmektedir (Şekil 2.2). Umbra ve penumbra şeklinde iki kısımdan oluşan (ya da penumbrasız olma durumunda por ismiyle anılan) lekeler, bulundukları bölgede leke manyetik alanının, enerji iletimini zayıflatması sebebiyle çevresine göre

1800-2000 K daha soğuktur. Etkin sıcaklıkları yaklaşık 4000 K'dir. Bundan dolayı Güneş diski üzerinde karanlık bölgeler olarak göze çarpmaktadır. Manyetik alan şiddeti ise lekenin merkezinde 3000 Gauss'a kadar çıkabilmektedir.

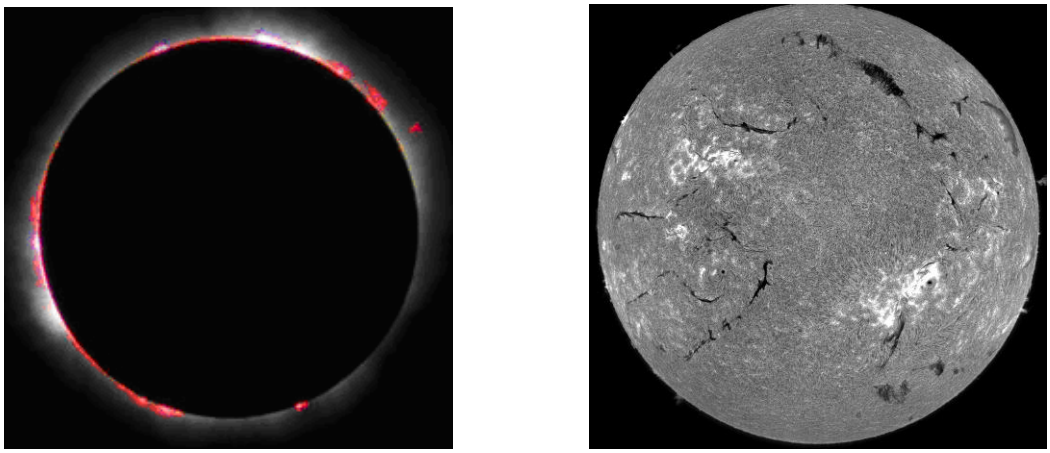


Şekil 2.2: Bir Güneş lekesi görüntüsü.

Bunlardan başka yine manyetik alanın şiddetli olduğu Güneş lekesinin civarında veya Güneş diski kenarında daha iyi görünen faküla (meşale) bölgeleri bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüklü gözlemlerle fakülaların aşağı yukarı 100 km çapında küçük parlak noktalardan (Berger ve diğ., 1995) oluştuğu anlaşılmaktadır. Granüller arasında da küçük parlak noktalar olarak görülen manyetik akı tüpleri yer almaktadır (Şekil 2.1). Manyetik basınçtan dolayı bu noktaların içindeki yoğunluk çevresine göre daha düşüktür. Bu sayede söz konusu manyetik elemanlara bakıldığında daha sıcak olan derin tabakalar gözlenmiş olduğundan bu yapılar çevresine göre daha parlak görünmektedir.

Güneş atmosferinde sıcaklık, alt fotosferden üst fotosfere doğru yükseklikle azalırken 4200 K olan en düşük sıcaklık bölgesinden sonra tekrar artmaya başlamaktadır. Sıcaklığın artmaya başladığı bu bölgeden itibaren yaklaşık 2000 km kalınlığındaki atmosfer tabakasına kromosfer denir. Kromosfer adı ilk kez tam Güneş tutulmasında örtülmeden biraz evvel ya da biraz sonra tutulma diski etrafında görülen (Şekil 2.3) ve Hα salmasından kaynaklanan kırmızımsı renkten dolayı bir Güneş fizikçisi olan J. N. Lockyer (1836-1920) ile kimyager E. Frankland (1825-1899) tarafından teklif edilmiştir (Bhatnagar ve Livingston, 2005). Kromosferde sıcaklık yükseklikle beraber adım adım artarak üst kromosferde 10 000 K mertebesine yükselirken yoğunluk azalmaktadır. Yoğunluk, fotosferin yoğunluğuna göre çok düşük olduğundan, süreklilikte

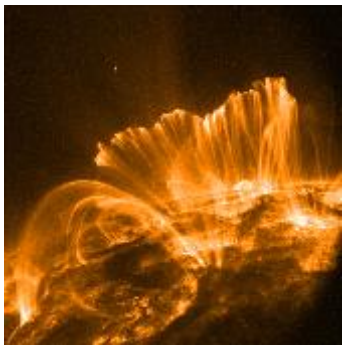
bakıldığında kromosfer görülememekle birlikte CaII K (3934 Å), CaII H (3969 Å), NaD_2 (5890 Å) ya da Hα (6562.8 Å) gibi tayf çizgilerinde gözlenebilmektedir. Kromosfer de fotosfer gibi disk üzerinde ve disk kenarında, aktif ya da sakin bölgelerde olmak üzere plaj alanı, surge, filament, prominens, spikül, 3 dakikalık salınım, şok dalgaları gibi yapılar ve olaylar bakımından çeşitlilik göstermektedir. Şekil 2.3'te de verildiği gibi kromosfer Hα filtresiyle gözlendiğinde aktif kromosferde disk üzerinde filament denilen uzun koyu ipliksi öğeler görülmektedir. Bunun yanı sıra disk kenarında sakin Güneş yapıları olarak spiküller gözlenmektedir.



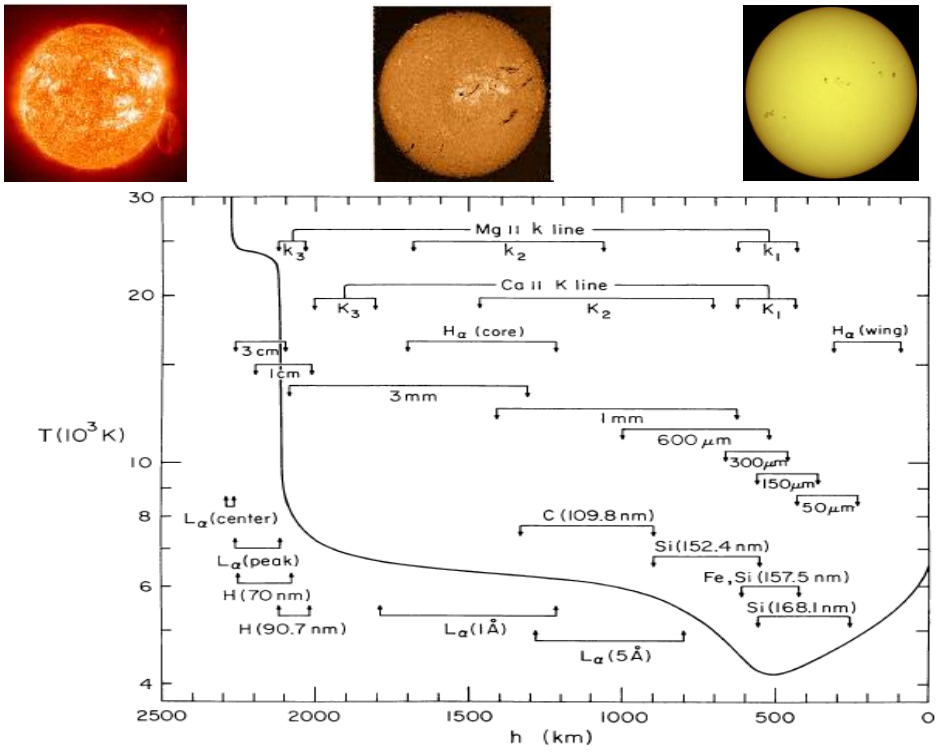
Şekil 2.3. (Solda) Kromosfer tabakasının 11 Ağustos 1999'daki tam Güneş tutulmasında çekilen görüntüsü, (sağda) Hα filtresiyle alınmış disk görüntüsü. Disk üzerinde uzun koyu ipliksi yapılar olan filamentler ve plaj alanları görülmektedir.

Gezegenlerarası ortama kadar uzanan korona tabakası, Güneş'te en düşük yoğunluğa sahip, en üst ve en sıcak atmosfer tabakası olmakla beraber, Güneş tutulmalarında ya da koronagraf ile gözlenebilmektedir. Kromosferde üst katmanlara doğru giderek artan sıcaklık, kromosferle korona arasındaki geçiş bölgesinde aniden yükselir ve koronada birkaç milyon Kelvin'e kadar ulaşır. Sıcaklığın bu derece artışı ile ilgili çeşitli görüşler olsa da sebepler halen tam anlaşılamamıştır. Gerek yeryüzünden gerekse YOHKOH, SOHO ve TRACE (Şekil 2.4) gibi uydulardaki X-ışın, morötesi ve uç morötesi teleskoplarıyla yapılan gözlemler, koronadaki yapıların oluşumunda ve dinamik özelliklerinde manyetik alanın büyük rol oynadığını göstermektedir. X-ışın teleskoplarıyla elde edilen görüntülerde, "koronal delikler" denilen koyu bölgeler ve yay şeklindeki "koronal ilmikler" olarak isimlendirilen parlak bölgeler görülmektedir. Koronal delikler, sıcak maddenin uzaya kaçtığı açık manyetik alan çizgilerine karşılık gelmektedir. Koronal ilmiklere şeklini veren ise fotosferin altındaki zıt kutupları

birleştiren kapalı manyetik alan çizgileridir. Sıcak plazma bu alan çizgileri boyunca hareket ederek ilmik yapılar ortaya çıkar. Ayrıca Güneş'in alt atmosfer tabakalarında oluşan manyetik enerjinin birkaç dakikalık zaman dilimi içinde şiddetli bir şekilde salıverilmesiyle gözlenen "parlamalar" da koronada plazma ile güçlü manyetik alanın etkileşmesine başka bir örnektir.



Şekil 2.4: TRACE (Transition Region and Coronal Explorer) uydusundan 171 Å'luk dalgaboyunda alınmış korona görüntüsü (TRACE, 2010). Bu salmaya karşılık gelen sıcaklık 10^6 K'dir.



Şekil 2.5: Sıcaklığın Güneş atmosferinde yükseklikle değişimini ve tayf çizgilerinin atmosferdeki oluşum yüksekliğini veren grafik (Vernezza ve diğ., 1981). Sıcaklık, fotosferde minimum sıcaklık bölgesine doğru gidildikçe düşer. Kromosferde tekrar yükselmeye başlar ve geçiş bölgesinde ani bir artışla milyon mertebesine yükselir.

2.2. FOTOSFERDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR

Güneş'in fotosfer tabakasının yüksek çözünürlüklü gözlemleri, granüller arasında küçük, beyaz, parlak noktalar ve bu noktaların zincir şeklinde dizilimleri olduğunu göstermektedir. Varlığı ilk kez Dunn ve Zirker (1973) ve Mehltretter (1974) tarafından bildirilen bu parlak noktaların genişliği -teleskopların ayırma gücüne bağlı oarak- 0″.5 veya daha küçük olabilmektedir. Bir Güneş lekesi ya da plaj alanı gibi manyetik yapılar civarında ve ağyapı bölgelerinde (Muller ve diğ., 1994) görülen bu parlak noktalar, aktif bölgede gözlendiğinde faküler parlak nokta (faküla)", sakin bölgede gözlendiğinde ise "ağyapı parlak noktalar" şeklinde isimlendirilmektedir. Bu yapılar, tayfın sürekli bölgesinde, fotosferde oluşan çizgilerde ve Hα, CaII H-K gibi güçlü tayf çizgilerinin kanatlarında gözlenebilmektedirler. Muller ve Roudier (1984) küçük boyutlu parlak elemanların merkezi 4305 Å dalgaboyunda olan CH molekülünün G bandında çok daha belirgin gözlendiğini tespit etmiştir. Bu bant daha sonra günümüze değin pek çok çalışmada da kullanılmıştır (Title ve Berger, 1996; Wiehr ve diğ., 2004; Rouppe van der Voort ve diğ., 2005). Bu küçük boyutlu yapıların manyetik alan bölgeleriyle bağlantısı olduğu ve bunların küçük ancak güçlü manyetik alan elemanları olduğu kabul edilmektedir. Fotosferik parlak noktalar genellikle, konveksiyon bölgesinden fotosfer tabakasına doğru uzanan ve yükseklikle genişleyen manyetik akı tüpleri olarak düşünülmektedir (Spruit,1976; Stenflo ve Harvey, 1985; Berger ve diğ., 1995).

Güneş atmosferine gömülü ince, silindirik, düşey bir akı tüpü ele aldığımızda, z Güneş merkezinden itibaren radyal uzaklıkla artan geometrik yükseklik, p_m manyetik basınç, p_i tüp içindeki gaz basıcı ve p_d tüpün dışındaki gaz basıncı olmak üzere manyetohidrostatik denge gereği tüpün içindeki ve dış ortamdaki basıncın eşitliği şu şekilde yazılabilir;

$$p_m + p_i(z) = p_d(z) \tag{2.1}$$

B manyetik alan şiddeti için, manyetik basınç yerine $B(z)^2/8\pi$ yazılırsa 2.1 eşitliği şu hali alır,

$$B(z)^2/8\pi + p_i(z) = p_d(z) \tag{2.2}$$

Tüpün içindeki ve dışındaki gaz basıncının yükseklikle eksponansiyel olarak değişimi,

$$p_i(z) = p_{i0} \exp(-z/H_b) \tag{2.3}$$

$$p_d(z) = p_{d0} \exp(-z/H_b) \tag{2.4}$$

şeklinde yazılabilir. Burada p_{i0} ve p_{d0} sırasıyla $z = 0$ yüksekliğindeki iç ve dış basınç, H_b ise basınç yükseklik ölçeğidir. 2.3 ve 2.4 eşitliklerini, 2.2 eşitliğinde yazarsak manyetik alanın da yükseklikle exponansiyel olarak değiştiği sonucuna varırız ve B_0, $z = 0$ yüksekliğindeki manyetik alan şiddeti olmak üzere yüksekliğe bağlı manyetik alan,

$$B(z) = B_0 \exp(-z/2H_b) \tag{2.5}$$

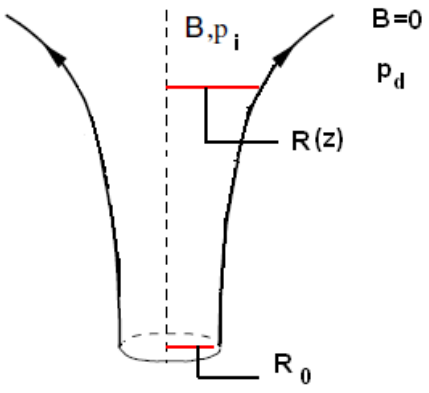
şeklinde yazılır. R yarıçaplı bir akı tüpünün içindeki manyetik akının korunumundan,

$$\pi R_0^2 B_0 = \pi R(z)^2 B(z) \tag{2.6}$$

dir. $B(z)$'nin yerine 2.5 eşitliğindeki karşılığı yazılırsa tüpün yarıçapının yükseklikle değişimi,

$$R(z) = R_0 \exp(z/4H_b) \tag{2.7}$$

ile bulunabilir. 2.5 ve 2.7 eşitliklerine göre artan yükseklikle tüp içerisindeki manyetik alan zayıflar ve tüpün çapı büyür (Şekil 2.6). Bunun sonucunda manyetik alan kromosfere doğru genişleyerek zayıflar. Silindir tüp yaklaşımı, tüpün çapı, basınç yükseklik ölçeğinden küçük olduğu durumda geçerlidir.



Şekil 2.6: Akı tüpü yaklaşımının şematik gösterimi.

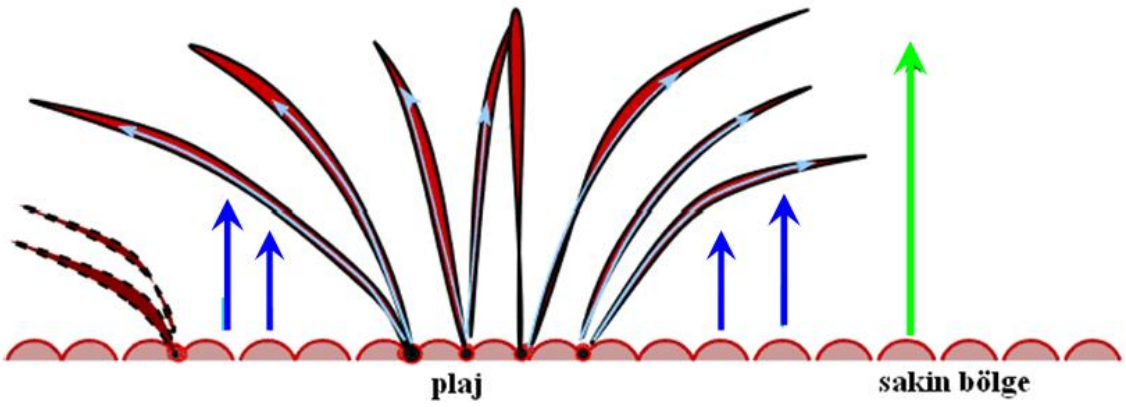
Günümüzde Güneş kromosferinin ve koronasının ısıtılması hâlâ tam olarak anlaşılmayan konulardan biridir. Koronanın ısıtılması ile ilgili mekanizmalardan biri, konveksiyon bölgesinde oluşturulan ses dalgalarıydı. Ancak ses dalgalarıyla elde edilen akının çok düşük olduğu gözlenmiştir (Athay ve White, 1978; Mein ve Schmieder, 1981). Bunun dışında koronanın ısıtılması konusunda manyetik akı tüplerinin taban noktalarının hareketinden kaynaklanan manyetik mekanizma üzerinde durulmaktadır (Spruit, 1981; Ulmschneider ve diğ., 1991; Choudhuri ve diğ., 1993; Muller ve diğ., 1994; van Ballegooijen ve diğ., 1998). Dolayısıyla küçük boyutlu manyetik akı yoğunlaşmalarının bir göstergesi olan fotosferdeki parlak noktaların araştırılması, Güneş'in üst atmosfer tabakalarında enerjinin yayılımının anlaşılması için önem taşımaktadır.

2.3. KROMOSFERDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR

Kromosfer, homojen olmayan bir özelliktedir. Hα gibi güçlü tayf çizgisinin kullanıldığı gözlemlerde Güneş'in her yerinde ince, uzun, ipliksi, jet benzeri yapılar görülmektedir. Bunlar disk kenarında ve disk üzerinde bulunmalarına göre farklı isimler almaktadır. Disk kenarındaki gözlemlerde uzunluğu 5 - 9 Mm, ömürleri 3 - 15 dakika arasında değişen "spikül"ler gözlenirken, disk üzerinde Hα tayf çizgisinin kanatlarında "koyu mottle" adı verilen yapılar görülmektedir. Hα'nın merkezinde yapılan gözlemlerde, Güneş diski üzerinde aktif bölgelerde, yaşam süreleri kısa ve fotosferdeki parlak noktalarla bağlantısı olduğu düşünülen "fibril" adı verilen koyu jet benzeri yapılar gözlenmektedir. Bütün bu ipliksi yapıların gerek uzunluk, genişlik gibi görünümüne dair özellikleri gerekse periyodik davranışları ve ömürleri gibi dinamik özellikleri, manyetik alanın şekillenmesine bağlıdır. Fibriller, Hα çizgisinin yanı sıra CaII 8542 Å (Vecchio ve diğ., 2007,; Cauzzi ve diğ., 2008) ve Lyα 1216 Å (Patsourakos ve diğ., 2007) gibi diğer kromosferik çizgilerde de görülmektedir. Ayrıca aktif bölgelerdeki bu ipliksi yapılar CaII K çizgisinde parlak fibriller şeklinde de gözlenmektedir (Marsh, 1976; Pietarila ve diğ., 2009).

Aktif bölge fibrilleri uzun, eğimli olduğu gibi, boyutları daha kısa (1000 - 5000 km) ve yaşam süreleri daha az (3 - 6 dakika), zamanla hızlı değişen ve literatürde "dinamik fibril" olarak isimlendirilen koyu yapılar şeklinde de olabilmektedir. Dinamik fibriller

hakkındaki çalışmalar özellikle son yıllarda artış göstermektedir (De Pontieu ve diğ., 2003; De Wijn ve De Pontieu, 2006; Hansteen ve diğ., 2006; De Pontieu ve diğ., 2007). Hansteen ve diğ. (2006) ve De Pontieu ve diğ. (2007)'nin, Hα çizgi merkezi görüntülerinin yanı sıra sayısal simülasyonların da kullanıldığı çalışmalarıyla birlikte, Heggland ve diğ. (2007)'nin de simülasyonlara dayalı çalışması, dinamik fibrillerin, temeli, konvektif bölgeye ve fotosfer tabakasına bağlı olan salınımların, eğimli manyetik akı tüpleri boyunca kromosfere sızmasıyla oluşan manyetoses şoklarla yönetildiğini söylemektedir. Kromosferde sönümlenme periyodu 3 dakika olduğu için bundan daha uzun periyoda sahip olan fotosferik salınımlar bu tabakada yayılamazlar. Bununla birlikte söz konusu çalışmalara göre eğimli manyetik alan, ses dalgalarının sönümlenme frekansını, p-mod dalgaların yayılmasını sağlayacak kadar düşürmektedir. Şekil 2.7'de Pietarila ve diğ. (2008)'nin parlak fibriller ile ilgili çalışmasından alınan ve fibriller ile farklı periyotlardaki dalgaların yayılımını tasvir eden çizim gösterilmektedir. Buna göre 3 dakikalık dalgalar sakin bölgede gözlenmektedir. Plaj bölgesinin kenarında fotosferik salınımlar fibriller tarafından bastırılmakta ve o bölgede bir kanopi oluşmaktadır. Diğer yandan uzun periyotlu dalgaların fibriller boyunca kromosfere kadar yayılabildiği düşünülmektedir.



Şekil 2.7: Fibrillere dair bir çizim (Pietarila ve diğ., 2008). Siyah hatlar, fotosferdeki parlak noktalardan (kırmızı çemberler) çıkan manyetik alan çizgilerini; kırmızı çizgiler, manyetik alan çizgileri boyunca hareket eden fibrilleri göstermektedir. Sakin bölgede yayınlanan dalga (yeşil çizgi), fibrillerden etkilenmezken, plaj bölgesi kenarında, salınımlar (koyu mavi), fibriller tarafından bastırılır. Plaj bölgesinde ise fibriller, düşük frekanslı dalgaları (açık mavi) bir kanal şeklinde kromosfere iletirler.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada kullanılan veriler, 2 Mayıs 2002 tarihinde, Kanarya adalarından biri olan Tenerife'de deniz seviyesinden 2400 m yukarıda bulunan Alman Vakum Kule Teleskopu'yla yapılan gözlemlerden elde edilmiştir (Şekil 3.1). Söz konusu teleskopun açıklığı 70 cm ve odak uzaklığı 46 m'dir. Teleskopun difraksiyon sınırı $\alpha = \lambda/D$'ye göre görünür dalgaboyunda yaklaşık 0″.16'dir. Yüzeyin ısınmasından kaynaklanabilecek hava akımlarının yaratacağı türbülansa engel olmak için ana ayna ile yardımcı aynalar, içi 1 mbar'a kadar boşaltılan bir tankın içine konulmuştur. Teleskopun bulunduğu binanın en üstünde Güneş'i takip ederek ışınları kule içersine yönlendiren bir selyostat yer alır.

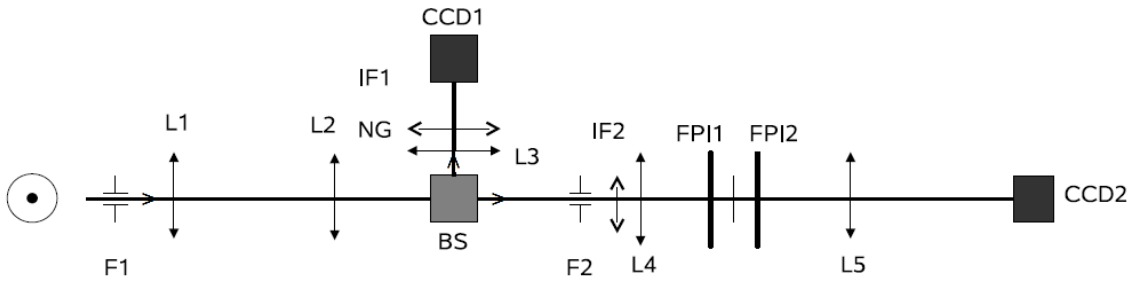
Güneş atmosferlerinde görünen yapıların incelenebilmesi için mümkün olduğunca yüksek uzaysal, zamansal ve tayfsal çözünürlüğe ihtiyaç vardır. Bu amaçla gözlemlerde bir iki-boyutlu tayfölçer (spektrometre) görevini gören 'Göttingen Fabry-Perot İnterferometresi' kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Tenerife'de Almanlara ait Vakum Kule Teleskopu.

Şekil 3.2'de Vakum Kule Teleskopu'ndaki tayfölçerin ana ışık yolları sadeleştirilmiş basit bir şema ile gösterilmektedir. Bendlin ve diğ. (1992), Bendlin ve Volkmer (1995), Bostancı (2004), Puschmann ve diğ. (2006)'nin çalışmalarında, tayfölçerin ışık yollarındaki parçalarla ilgili daha ayrıntılı açıklamalar bulunmaktadır.

Teleskopun ana odağından gelen ışınların % 5'i bir ışın yarıcı (BS - beam splitting cube) yardımıyla geniş bant kanalına, % 95'i dar bant kanalına yönlendirilir. Geniş bant kanalında yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 50 Å ve merkezî dalgaboyu 6563 Å olan bir girişim filtresi (IF1), bir nötral filtre (NG) ve CCD1 olarak adlandırılan geniş bant CCD alıcısı bulunmaktadır. Dar bant kanalında bulunan temel elemanlar ise yarı maksimumdaki tam genişliği 10 Å olan bir girişim filtresi (IF2), iki Fabry-Perot interferometresi (FPI1-FPI2) ve CCD2 olarak isimlendirilen bir CCD alıcısıdır. Şekil 3.2'de L1, L2, L3, L4 ve L5 akromatik mercekleri; F1, birincil odağı; F2, tayfölçer girişindeki odağı göstermektedir.



Şekil 3.2: Tayfölçerin ana ışık yollarının basit gösterimi.

Dar bant kanalında ayrıca ön filtrenin geçirgenlik eğrisinin ölçülmesi için veya FPI etalonlarının geçirgenlik maksimumlarının hizalanması için kullanılan 'sürekli kaynak ışık yolu' ile lazer ve fotokatlandırıcının bulunduğu bir ışık yolu da yer almaktadır.

3.1. İKİ BOYUTLU SPEKTROSKOPİ

Bu çalışmadaki gözlemlerde iki Fabry-Perot interferometresinden oluşan 'Göttingen Fabry-Perot İnterferometresi' kullanılmıştır. Bu tayfölçer Göttingen Üniversitesi Gözlemevi'nde geliştirilmiş (Bendlin ve diğ., 1992; Bendlin ve Volkmer, 1993; Bendlin ve Volkmer, 1995) ve sonra yeniden yapılandırılmıştır (Koschinsky ve diğ., 2001).

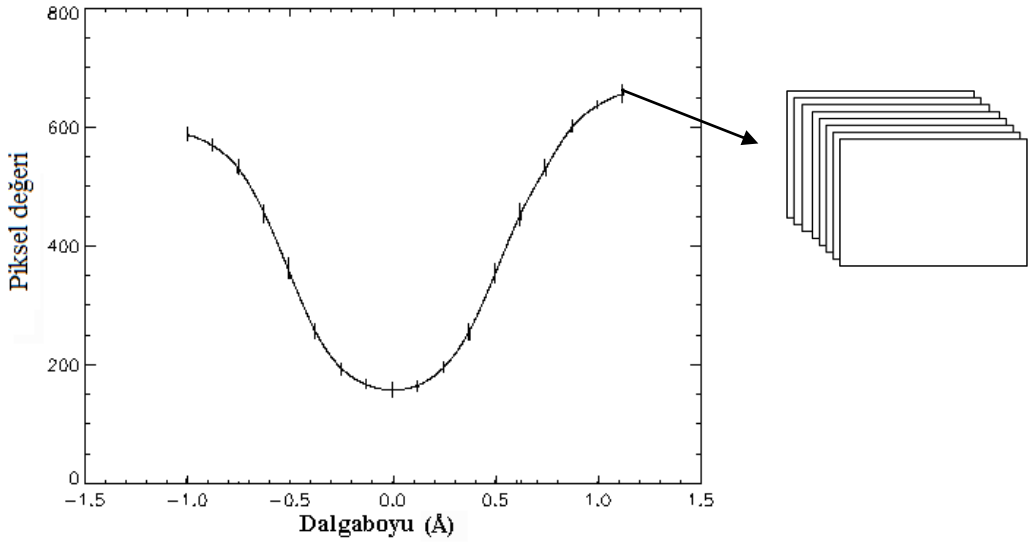
Temel olarak bu aletle belli bir dalgaboyunda ve dar geçirgenlik bandında yüksek uzaysal çözünürlüklü bir görüntü alınabilir. İki boyutlu spektroskopide, tayfölçer ile bir tayf çizgisinin farklı dalgaboyu konumlarında görüntü almak suretiyle gerçekleştirilen çizgi taramasıyla üç boyutlu görüntüler elde edilebilir (üçüncü boyut dalgaboyudur). Bu çalışmadaki veriler için kullanılan tayf çizgisi hidrojenin Balmer α çizgisi (6563 Å) olup, çizgi taramasındaki konum sayısı 18 tanedir. Eğer bir tayf çizgisi art arda taranırsa üç boyutlu görüntülerden oluşan bir zaman serisi elde edilebilir. Böylece belli bir görüş alanının, farklı atmosfer derinliklerine karşılık gelen iki boyutlu görüntüleri elde edilerek bu görüş alanı içersindeki yapıların hem zamana hem de atmosferik yüksekliğe bağlı değişimi incelenebilir.

Güneş'in kromosfer gözlemlerinde NaD_1 (5890 Å), NaD_2 (5896 Å), MgII, CaII K ve H (3934 Å ve 3969 Å) gibi farklı tayf çizgileri kullanılmaktadır. Bu dalgaboylarında alınan görüntüler, atmosferin farklı yüksekliklerine karşılık gelmektedir. Güneş'in kromosfer gözlemlerinin önemli bir kısmında kullanılan çizgilerden biri de Hα (6563 Å) çizgisidir. Güçlü ve geniş bir soğurma çizgisi olan Hα'nın merkez bölgesi kromosfer tabakasında (yaklaşık 1500 km civarında), kanatlar ise üst fotosfer tabakasında oluşur. Bu özelliğinden yola çıkarak Hα çizgi profilinin tamamı taranıp belirli dalgaboyu aralıklarında iki boyutlu görüntü alınarak, Güneş atmosferinde üst fotosferden orta kromosfere kadar uzanan çok geniş bir atmosfer aralığı incelenebilmektedir.

3.2. GÖZLEM VERİLERİ VE İNDİRGEMELER

Gözlemlerde iki FPI ile Hα çizgisinin 125 mÅ'luk adımlarla uzun dalgaboyundan kısa dalgaboyuna doğru taranmasıyla her adımda sekiz adet dar bant görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 3.3). Sonuç olarak Hα çizgi profilinin 18 dalgaboyu konumundan sekizer görüntünün alınmasıyla toplam 144 dar bant görüntüsü kaydedilmiş olur. Bu görüntülerle eş zamanlı olarak CCD1 ile her dar bant görüntüsüne karşılık gelen bir geniş bant (beyaz ışık) görüntüsü alınmıştır. Gerek geniş bant gerekse dar bant kanalından elde edilen taramaların sayısı 60'tır. Ardışık iki taramanın başlangıçları arasındaki zaman farkı 49 s'dir. Geniş bant ve dar bant görüntülerinin görüş alanı 384 × 286 piksel'dir. CCD'lerin çözünürlüğü ise piksel başına 0″.102 olup, bu da Güneş üzerinde yaklaşık 27.84 × 20.74 Mm^2 lik bir görüş alanına karşılık gelmektedir. Her bir

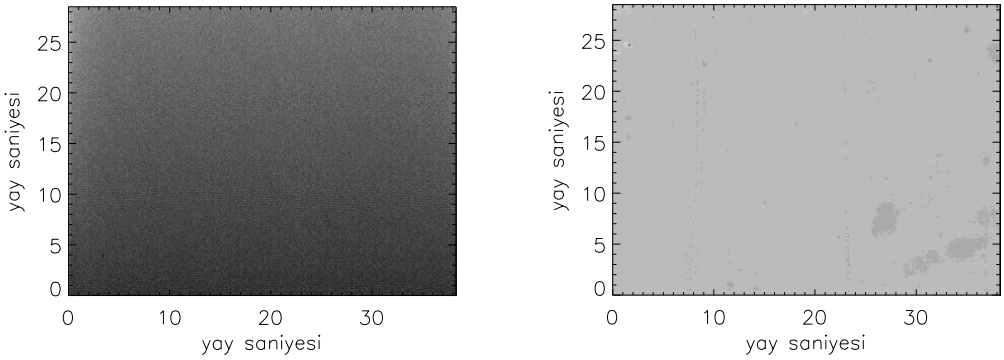
görüntü için verilen poz süresi 30 ms'dir. Ayrıca indirgemelerde kullanılmak üzere 20 adet 30 ms'lik poz süresi ile kara akım görüntüsü ve 144 adet düz alan görüntüsü alınmıştır. Kara akım görüntüleri, CCD'den kaynaklanan ve sıcaklığa bağlı olarak ortaya çıkan gürültüyü ön indirgemelerle verilerimizden gidermek amacıyla, gelen Güneş ışınlarının engellenmesiyle alınır. Optik düzenekteki toz taneciklerinden kaynaklanan kusurları gösteren ve CCD'ler üzerindeki piksellerin aynı ışık şiddetine karşı eş duyarlılıkta olmamasından kaynaklanan düz alan görüntülerinin elde edilmesi için de ışık kaynağı olarak Güneş ışığı kullanılmıştır. Ancak görüntülerin netliği, odak ayarı değiştirilerek Güneş'e ait herhangi bir yapı belli olmayacak şekilde bozulmuştur.



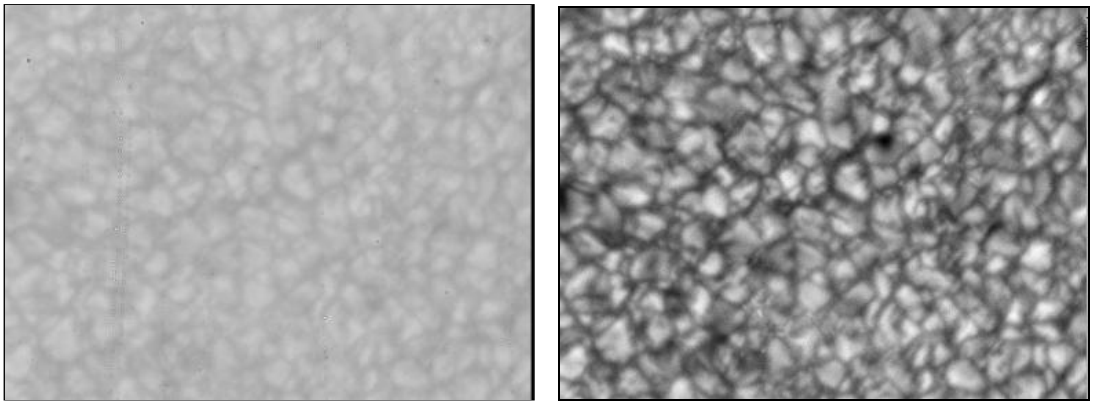
Şekil 3.3: Hα çizgi profilinin 18 dalgaboyu adımı. Her adımda sekiz görüntü ve bir taramada toplam 144 görüntü kaydedilir.

Vakum Kule teleskopunun teorik açısal ayırma gücü yaklaşık 0″.2'dir. Ancak Arz atmosferindeki türbülanslar teorik ayırma gücünü düşürerek görüntülerde bozulmalara ve bulanıklaşmaya neden olur. Görüntüleri iyileştirmek ve yeniden oluşturmak için ise spekl yöntemi kullanılır. Bu amaçla, atmosferin bozucu etkisinin olmadığı koşullarda elde edilebilecek görüntülere ulaşabilmek için geniş bant görüntülerine tayfsal oran tekniği ve spekl maskeleme yöntemi (Gültekin, 2004) uygulanmıştır. Dar bant görüntülerinin düzeltilmesi için ise Keller & von der Lühe (1992)'nin sunduğu metot kullanılmıştır (Bostancı, 2004).

Spekl yöntemiyle görüntülerin restorasyonuna geniş bant verilerinden başlanmaktadır, ancak öncelikle görüntüler birkaç ön indirgeme işlemine tâbi tutulmalıdır. İlk adımda, görüntüleri aletsel etkilerden arındırmak için kara akım ve düz alan düzeltmeleri yapılmıştır. Her bir geniş bant görüntüsünden 20 adet kara akım görüntüsünün ortalaması olan ortalama kara akım görüntüsü çıkarılmış ve sonuç, 144 adet düz alan görüntüsünün ortalaması ile ortalama kara akım görüntüsünün farkına bölünmüştür. Şekil 3.4'te kara akım ve düz alan görüntülerinin ortalamaları, Şekil 3.5'te de kara akım ve düz alan düzeltmesi sonucunda elde edilen örnek bir beyaz ışık taraması (yedinci tarama) verilmektedir.



Şekil 3.4: Solda ortalama kara akım, sağda ortalama düz alan görüntüsü.



Şekil 3.5: Yedinci taramanın dokuzuncu görüntüsünün kara akım ve düz alan düzeltmelerinden önce ve sonraki görünüşü.

Ham görüntülerde bir başka düzeltilmesi gereken durum, rüzgârın sebep olduğu ayna sarsıntılarından dolayı bir geniş bant taramasına ait görüntülerin birbirine göre

kaymasıdır. Bir taramadaki bütün geniş bant görüntülerinin aynı görüş alanını görmesini sağlamak için belirlenen bir referans görüntü ile diğer görüntüler arasında çapraz korelasyon kurularak ortak görüş alanı belirlenmektedir (Gültekin, 2004). İşlemler sonucunda 384 × 286 piksel (38″.4 × 28″.6) olan görüntülerin boyutları küçülerek her bir tarama seti için farklı büyüklükte olacaktır. Bu düzeltmeden sonra, görüntüler eş düzlem (isoplanar) alan denilen 64 × 64 piksel'lik küçük alt alanlara bölünmektedir. Bunun nedeni eş düzlem olmama (anisplanatizm) sorunudur. Arz atmosferindeki türbülans, görüntülerde küçük boyutlu görüntü bozulmalarına ve bulanıklaşmaya neden olmaktadır. Bunların üstesinden gelmek için görüntüler, arz atmosferinde kırılma indisinin aynı olduğu eş düzlem bölgelerin alanına eşit alt alanlara bölünmektedir. Spekl yöntemi de, söz konusu bu küçük alt alanlar üzerinde uygulanmaktadır. En son adımda restore edilen alt alanlar birleştirilerek görüntüler bir bütün hale getirilmektedir (bkz. Şekil 3.6). Yukarıda anlatılan ön indirgemeler ve düzeltmelerden sonra spekl yöntemine geçilmektedir.

3.2.1. Geniş Bant Verileri İçin Spekl Yöntemi

Gözlemlerden elde edilen bir görüntü, kaynağın ideal bir teleskopla alınan gerçek görüntüsü ile atmosfer ve teleskoptan oluşan sisteminin nokta dağılım fonksiyonunun girişimidir. Bu girişim aşağıdaki gibi verilir;

$$i(\vec{r}) = o(\vec{r}) \otimes s(\vec{r}) \tag{3.1}$$

$i(\vec{r})$: Kaynağın gözlemlerden elde edilen görüntüsünün şiddet dağılımı,

$o(\vec{r})$: Kaynağın gerçek görüntüsünün şiddet dağılımı,

$s(\vec{r})$: Teleskop ve atmosferden oluşan sistemin nokta dağılım fonksiyonu,

$\vec{r}$: Görüntü düzleminin iki boyutlu koordinatları,

$\otimes$: Girişim işlemcisidir.

Çözümler Fourier uzayında daha kolay gerçekleştirildiğinden 3.1 eşitliğindeki şiddet dağılımların Fourier dönüşümleri yapılarak çarpım,

$$F_i(\vec{s}) = F_o(\vec{s}) \cdot S_i(\vec{s}) \tag{3.2}$$

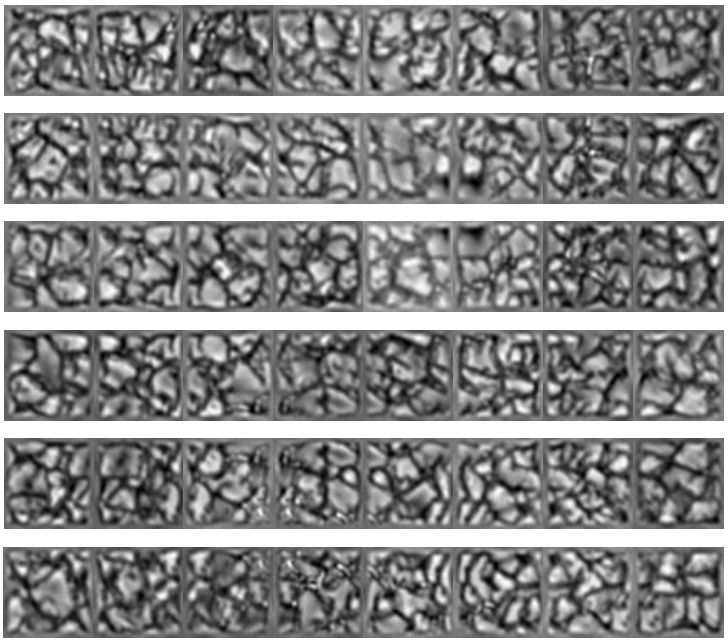
şeklini almaktadır. Amaç bu çarpımdan $F_o(\vec{s})$'yi elde etmektir. Ancak Fourier dönüşümleri yapılmadan önce söz konusu görüntülerin kenarlarındaki süreksizlikler Hanning fonksiyonu ile filtrelenmelidir. Yukarıdaki bağıntıda $\vec{s}$, iki boyutlu uzaysal frekansı; $F_i(\vec{s})$, N tane görüntüden oluşan bir serinin i. görüntüsünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü; $F_o(\vec{s})$, gerçek görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü; $S_i(\vec{s})$, i. görüntünün alındığı anda atmosfer ve teleskoptan oluşan optik sistemin nokta dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümünü (bir başka deyişle anlık optik transfer fonksiyonu OTF'yi) göstermektedir. OTF, kaynağın orijinal şiddet dağılımıyla karşılaştırıldığında odak düzlemindeki bir görüntüdeki bilgi kaybını belirler. Fourier genliğinin ($F_o(\vec{s})$) tespiti için N adet görüntüden oluşan serinin ortalama güç spektrumu hesaplanmaktadır. Güç spektrumlarının ortalaması yani Fourier dönüşümlerin mutlak değerlerinin karelerinin ortalaması aşağıdaki gibidir;

$$\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|F_i(\vec{s})\right|^2 = \left|F_o(\vec{s})\right|^2 \cdot \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|S_i(\vec{s})\right|^2 \tag{3.3}$$

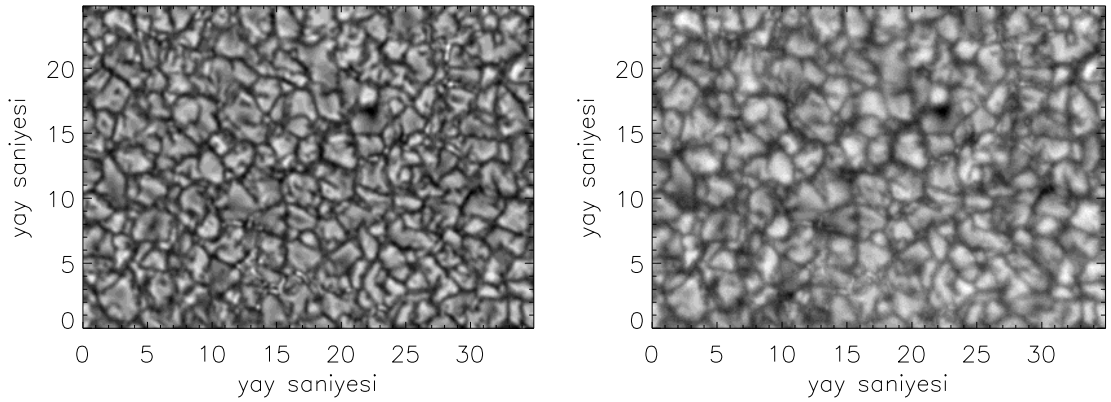
ya da

$$\left\langle \left|F(\vec{s})\right|^2 \right\rangle = \left|F_o(\vec{s})\right|^2 \cdot \left\langle \left|S(\vec{s})\right|^2 \right\rangle \tag{3.4}$$

Buradaki açılı parantezler ortalamayı göstermektedir. $\frac{1}{N}\sum\left|S_i(\vec{s})\right|^2$ terimine, yani anlık optik transfer fonksiyonunun güç spektrumuna, spekl transfer fonksiyonu (STF) denir. Spekl transfer fonksiyonu bilindiği takdirde $\left|F_o(\vec{s})\right|^2$, yani ortalama güç spektrumu ve $F_o(\vec{s})$ ile verilen Fourier genliği elde edilebilir. Fourier genlikleri elde edildikten sonra fazlar da spekl maskeleme yöntemiyle (Weigelt, 1977) yeniden oluşturulmaktadır. Sonuçta genlik ve fazların çarpımının ters Fourier dönüşümüyle yeniden oluşturulan geniş bant görüntüleri elde edilmektedir. Şekil 3.7'de spekl yöntemi ile yeniden oluşturulmuş bir beyaz ışık görüntüsü ile spekl yöntemi oluşturulmadan önce örnek taramadaki en iyi görüntü karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3.6: Örnek tarama için spekl yöntemiyle yeniden oluşturulan alt alanlar.



Şekil 3.7: Örnek tarama için 48 alt alanın birleştirilmesiyle elde edilen 350 × 249 piksel'lik spekl görüntüsü (solda), spekl yöntemi uygulanmadan önceki aynı taramanın en iyi görüntüsü (sağda).

3.2.2. Dar Bant Verileri İçin Spekl Yöntemi

Dar bant görüntülerin yeniden oluşturulmasında Keller ve von der Lühe (1992)'nin önerdiği yöntem kullanılmaktadır. Bir dar bant taramasında 18 dalga konumu olduğu ve her konum için sekiz görüntü kaydedildiği yukarıda belirtilmişti. Her bir dar bant görüntüsü ile birlikte aynı atmosferik koşullarda alınan bir geniş bant görüntüsü kaydedilmektedir. Dolayısıyla geniş bant taramaları için belirlenen optik transfer fonksiyonu dar bant görüntülerinin yeniden oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Kara

akım ve düz alan düzeltmeleri geniş bant verilerinde olduğu gibi dar bant görüntüleri için de yapılmaktadır; 20 adet kara akım görüntüsünün ortalaması alınarak oluşturulan bu görüntü bütün dalgaboyu konumlarındaki görüntülerden çıkarılmaktadır. Düz alan düzeltmesinde ise her bir dalgaboyu konumuna ait sekiz düz alan görüntüsünün ortalaması alınarak ortaya çıkan yeni görüntüden ortalama kara akım görüntüsü çıkarılmaktadır. Sonuçta her bir dar bant görüntüsü karşılık geldiği konumdaki fark görüntüsüne bölünmektedir. Bir geniş bant taramasındaki görüntülerin aynı görüş alanını görmesi için yapılan görüntü kayması düzeltmesi dar bant görüntüleri için de tekrarlanır. Bir geniş bant taraması içersindeki görüntüler için hesaplanan kayma değerleri karşılık geldikleri dar bant görüntülerine de uygulanmaktadır. Bir taramadaki hem geniş bant, hem de dar bant ve spekl görüntüsünün görüş alanları eşleştirildikten sonra dar bant görüntülerin yukarıda anlatıldığı şekilde eş düzlem alanlara bölünmesiyle spekl yeniden yapılandırma işlemine geçilmektedir.

Fourier uzayında dar bant görüntülerinin şiddet dağılımı 3.1'e benzer şekilde ifade edilmektedir;

$$F_i(\vec{s})_{darbant} = F_o(\vec{s})_{darbant} \cdot S_i(\vec{s}) \qquad (3.5)$$

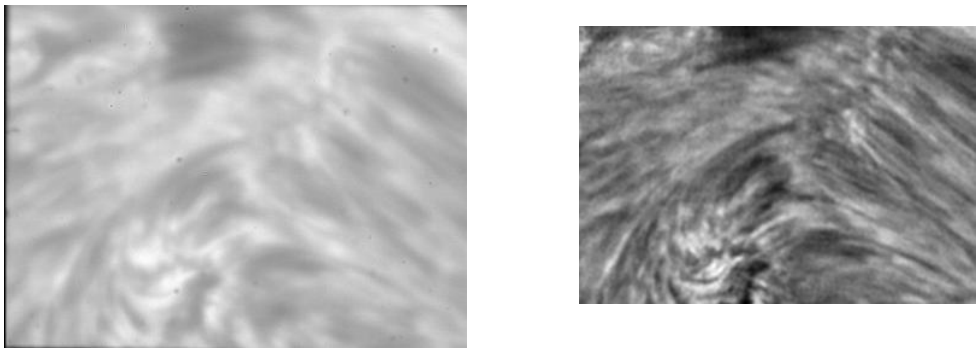
S_i'nin dar bant ve geniş bant görüntüleri için aynı olduğunu göz önünde bulundurur ve 3.1 ile 3.5 denkleminden yola çıkılırsa, tayf çizgisinin bir dalgaboyu konumu için yeniden oluşturulmuş dar bant görüntüsü,

$$F_{o_{darbant}} = H.\frac{\sum_{i=1}^{n} F_{i_{darbant}}.F_{i_{genisbant}}}{\sum_{i=1}^{n}\left|F_{i_{genisbant}}\right|^2}.F_{o_{genisbant}} \qquad (3.6)$$

şeklindeki bağıntı ile bulunur. Burada $F_{i\,darbant}$, dar bant taramasındaki i. görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü; $F_{o\,darbant}$, dar bant taramasındaki elde edilmek istenen gerçek görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü; $F_{i\,genisbant}$, geniş bant taramasındaki i. görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü ve $F_{o\,genisbant}$ ise geniş bant taramasındaki gerçek görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümünü göstermektedir. *H* ise gürültü filtresidir.

Şekil 3.8'de örnek olarak yedinci taramanın 10. dalgaboyu konumundaki spekl yöntemi ile düzeltilmemiş dar bant görüntüsü ile yeniden oluşturulmuş görüntüsü gösterilmektedir. Spekl yeniden yapılandırma işlemleri sonucunda bütün görüntülerin boyutları bir miktar küçülmüştür.

Spekl yönteminin uygulanması sonucunda geniş bant ve dar bant zaman serisi olmak üzere iki adet restore edilmiş zaman serisi elde edilmiştir. Geniş-bant zaman serisi fotosfer görüntülerine karşılık gelen 60 adet beyaz ışık görüntüsünden oluşmaktadır. Dört boyutlu Hα (x,y,t,λ) dar-bant zaman serisinde ise her birinde Hα çizgi profilinin 18 farklı dalgaboyu konumuna karşılık gelen 18 dar bant görüntünün olduğu 60 adet tarama vardır.



Şekil 3.8: Yedinci dar bant taramasının 10. dalgaboyu konumundaki sekiz adet ham verinin ortalama görüntüsü (384 × 286 piksel) (solda), aynı dalgaboyu için yeniden oluşturulmuş dar bant görüntüsü (330 × 230 piksel) (sağda).

Zaman serisinde gözlenen yapıların ayrıntılı incelemesine geçilmeden önce bütün taramalardaki görüntülerin aynı görüş alanını görmesi için bir hizalama işlemi yapılmıştır. Sonuçta bundan sonraki işlemlerde kullanılacak bütün görüntülerin büyüklüğü 306 × 167 piksel olmuştur.

3.3. YEREL BAĞLANTI TAKİBİ

Fotosfer, Güneş atmosferinin ince bir tabakası olup buradaki mevcut büyük ölçekteki hız alanları hemen hemen ufuksaldır. Bu ufuksal hızların haritalanması için Yerel Bağlantı Takibi (YBT) (Local Correlation Tracking) yöntemi kullanılmaktadır. Bu

aşamada spekl yöntemiyle yeniden oluşturulmuş 60 adet geniş bant görüntüsü aynı boyutlara getirilerek ve bunlara YBT-algoritmaları (November ve Simon, 1988; Yi ve Molowny-Horas, 1995) uygulanarak granüllere ait ufuksal hızların x ve y ekseni yönündeki bileşenleri (v_x-v_y) elde edilmiştir.

YBT yöntemi ilk olarak görüntü serilerinde görüş kalitesinin (seeing) iyi olmamasından kaynaklanan bozulmaları gidermek için geliştirilmiş (November, 1986), ancak daha sonra bazı araştırmacılar (Sobotka ve diğ., 1999; Wang ve diğ., 1995) tarafından beyaz ışık görüntülerindeki granüllerin ufuksal hızlarının haritalanması amacıyla kullanılmıştır. YBT yöntemi, iki farklı zamana ait aynı boyutlardaki iki görüntünün en uygun şekilde eşleştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması için en önemli koşul iki görüntü arasındaki zaman farkının izlenen yapıların -bu çalışma için granüllerin- ömründen az olmasıdır. YBT ile belirlenen ufuksal hız, iki görüntü arasında hesaplanan çapraz korelasyonun en yüksek olduğu yer değiştirme miktarıyla tanımlanmaktadır.

İşlemlerde öncelikle ilk görüntü belli sayıda alt alanlara (korelasyon penceresi) bölünür. Söz konusu her alt alanın merkezindeki pikselin koordinatları (x_0,y_0) ile gösterilip, boyutu p olarak tanımlanmaktadır. p, Gauss profilinin yarı maksimumdaki tam genişliğine (FWHM) eşittir ve izlenen yapıya göre seçilmektedir. Buna göre p, izlenen yapının (granülün) tipik boyutundan daha büyük olacak şekilde belirlenmektedir. Hesaplarda Gauss filtresinin ($G(x)$) yarı maksimumdaki tam genişliği (FWHM) 16 piksel, ardışık görüntüler arasındaki zaman farkı ise bir dakika olarak alınmıştır. İlk görüntümüzdeki alt alan $I_1(x_0,y_0)$, ardışık görüntüdeki alt alan $I_2(x_0+\delta x,y_0+\delta y)$ olsun. $I_1(x_0,y_0)$ ile $I_2(x_0+\delta x,y_0+\delta y)$ karşılaştırıldığında, (x_0,y_0) merkezli izlenen yapının öz hareketi, $(\delta x,\delta y)$ yer değiştirmesi ile tanımlanmış olacaktır. Bu yer değiştirme miktarı I_1 ve I_2 arasındaki ilişkinin en iyi olduğu değerdir. İki alt alan görüntüsü arasında kurulan çapraz korelasyon $C(\vec{\delta},\vec{x})$ şeklindeki dört boyutlu bir fonksiyon ile tanımlanmaktadır. Bu fonksiyonun iki boyutu, iki görüntü arasındaki yer değişim miktarı $(\delta x,\delta y)$ ve diğer iki boyutu da pencere fonksiyonunun merkezî konumları (x_0,y_0)'dır. Çapraz ilişki fonksiyonu; I_1 ve I_2 ardışık görüntülerin alt alanları, G ise Gauss fitresi olmak üzere

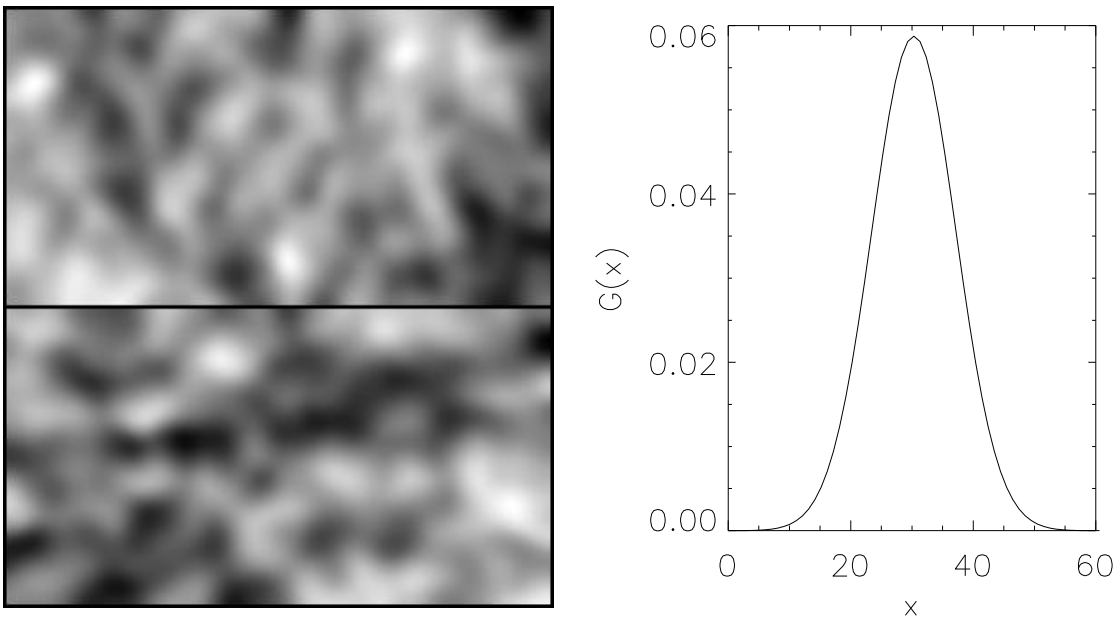
$$C(\vec{\delta},\vec{x}) = \int I_1(\xi - \frac{\delta}{2}) \cdot I_2(\xi + \frac{\delta}{2}) \cdot G(x-\xi) d\xi \qquad (3.7)$$

şeklindeki integral ile verilmektedir.

İşlemler sırasında görüntüler simetrik olarak zıt yönlerde kaydırılarak, *x* eksenindeki yer değişim bu eksendeki hız bileşeni v_x'i ve *y* eksenindeki yer değişim ise bu eksendeki hız bileşeni v_y'yi vermektedir (Şekil 3.9). Bileşke hız ise

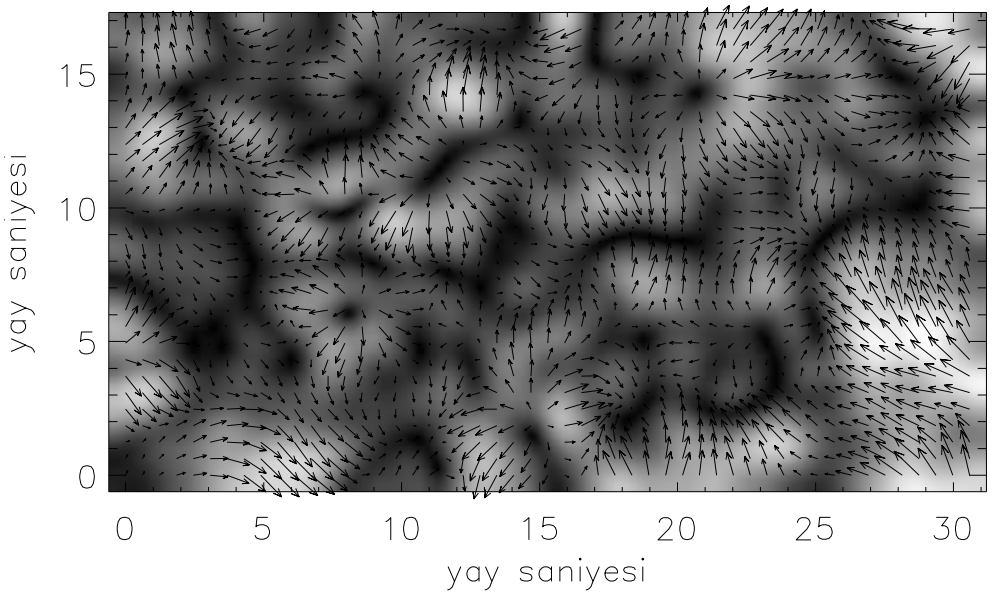
$$v = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2} \qquad (3.8)$$

eşitliği ile elde edilmektedir.



Şekil 3.9: (Üstte) Hızın *x* bileşeni v_x'e, (altta) *y* bileşeni v_y'ye ait haritalar (solda) , Gauss filtresi (sağda). Hız görüntüsündeki açık tonlar büyük, koyu tonlar küçük hız değerlerini göstermektedir.

Şekil 3.10'da hız vektör haritası gösterilmektedir. Arka planda bileşke hız görüntüsü yer almaktadır. Şekil 3.9 ve 3.10'daki hız görüntülerinde açık ve koyu bölgeler sırasıyla hız değerinin büyük ve küçük oluşunu göstermektedir.



Şekil 3.10: Bileşke hız görüntüsü ve hız vektörleri.

3.4. ŞİDDET VE DOPPLER HIZ GÖRÜNTÜLERİNİN OLUŞTURULMASI

3.4.1. Lambdametre Yöntemi

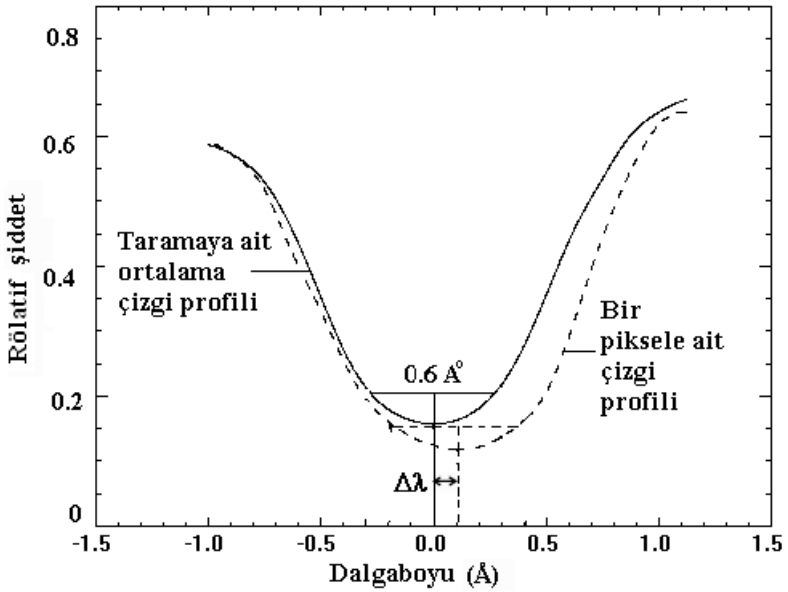
İki boyutlu spektroskopiyle yapılan tayf çizgisi taraması ile görüş alanındaki her bir piksel için bir tayf çizgi profili elde edilir. Bu çizgi profilleri de görüş doğrultusundaki hızların elde edilmesinde kullanılabilmektedir. Bu çalışmada farklı tabakalardaki ince yapılar arasındaki ilişkiyi görebilmek için dar bant zaman serilerine, farklı atmosferik yüksekliklerdeki hız ve şiddet görüntülerinin hesaplanmasına imkân veren Lambdametre Yöntemi (Tsiropoula ve diğ., 1993; Al ve diğ., 2004) uygulanmıştır. Söz konusu yöntemde, incelenen bir piksele ait çizgi profilindeki belli bir eş şiddet doğrusunun, ortalama çizgi profilindeki aynı eş şiddet doğrusuna göre olan kayma miktarı bulunur. Doppler yer değiştirme formülü,

$$\frac{v}{c} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \tag{3.9}$$

ile bu kayma miktarından itibaren Doppler hızını, o dalgaboyu genişliğindeki çizgi derinliği ile de şiddeti tespit edebiliriz. Yukarıdaki formülde v, görüş doğrultusundaki hızı; c, ışık hızını, λ, gözlem yapılan dalgaboyunu (6562.8 Å); $\Delta\lambda$, dalgaboyu cinsinden

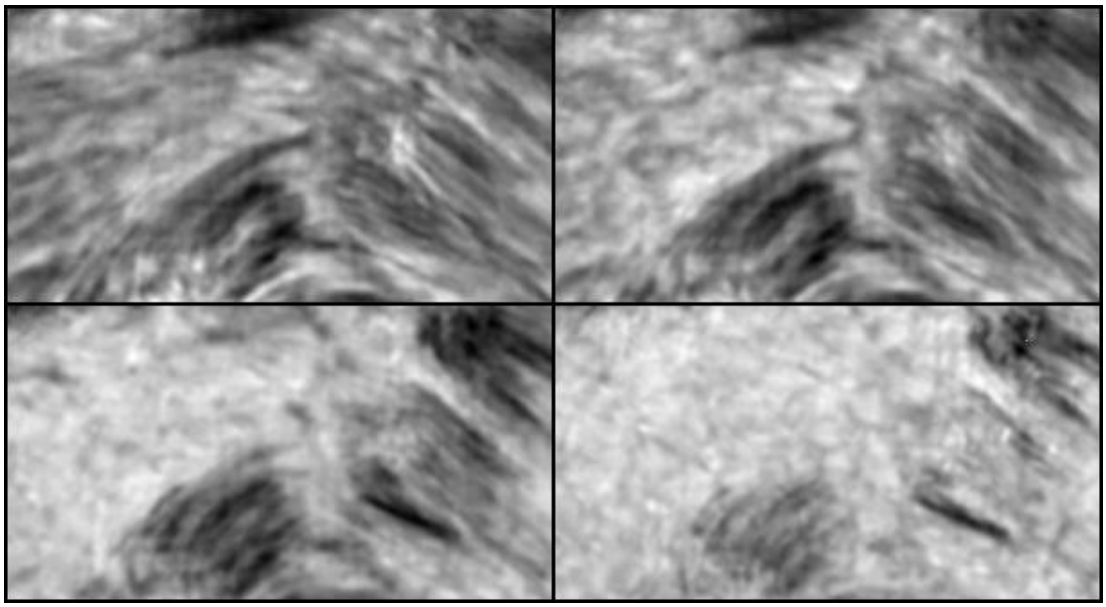
kayma miktarını göstermektedir. Bu çalışmada 0.2 - 0.4 - 0.6 - 0.8 - 1.0 - 1.2 ve 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları ele alınmıştır.

Lambdametre işleminin uygulanacağı bir dar bant taramasının önce ortalama profili oluşturulmaktadır. Bunun için bir taramada her dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntünün ortalaması alınmaktadır. Daha sonra incelenecek pikselin çizgi profili oluşturulmuştur. Bunun için de taramadaki 18 dalgaboyu konumundaki görüntülerde, ele alınan pikselin şiddet değerleri okutularak bir profil çizdirilmiştir. Şekil 3.11'de örnek tarama için oluşturulan ortalama profil ile söz konusu taramadaki bir piksele ait çizgi profili verilmiştir. Profiller üzerinde aynı zamanda 0.6 Å uzunluktaki eş şiddet doğruları da gösterilmiştir. Bu eş şiddet doğrularının orta noktaları arasındaki mesafe $\Delta\lambda$'yı temsil ederken, fibril bölgesine ait pikseldeki eş şiddet doğrusunun çizgi derinliği ise o noktadaki şiddeti temsil etmektedir.

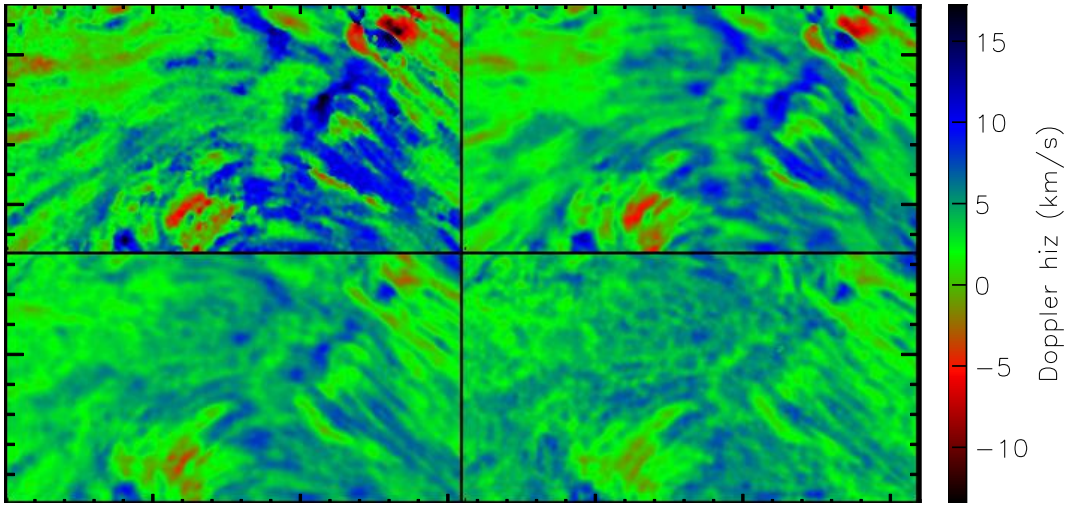


Şekil 3.11: Yedinci taramaya ait ortalama çizgi profili (düz çizgi) ile taramadaki bir piksele ait çizgi profili (kesikli çizgi).

Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te yedinci taramanın 0.2 - 0.6 - 1.0 - 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet ve hız görüntüleri verilmiştir. Eş şiddet doğrusunun uzunluğu büyüdükçe, yani çizgi profilinin kanatlarına doğru gidildikçe, daha alt atmosfer tabakaları görülmektedir.



Şekil 3.12: Soldan sağa yedinci taramanın 0.2 - 0.6 - 1.0 - 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet görüntüleri. Son görüntüde fotosfere ait yapılar seçilebilmekte. Görüş alanlarının büyüklüğü 306 × 167 piksel'dir.



Şekil 3.13: Soldan sağa yedinci taramanın 0.2 - 0.6 - 1.0 - 1.4 Å'luk eş şiddet doğruları için elde edilen hız görüntüleri. Negatif değerler gözlemciden uzaklaşan, pozitif değerler gözlemciye doğru olan hareketi göstermektedir.

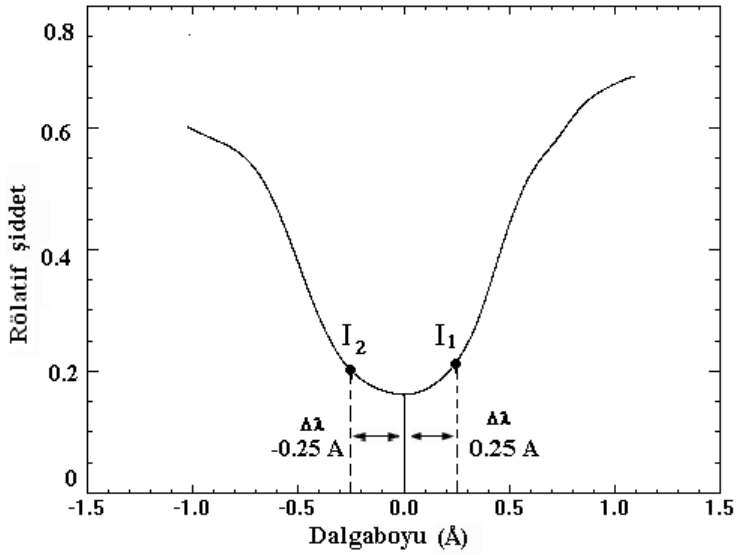
3.4.2. Merkezî Şiddet ve Doppler Hız Görüntülerinin Oluşturulması

Kromosferik yapıların incelenmesinde Lambdametre Yöntemi'yle oluşturulan farklı atmosferik yüksekliklerdeki şiddet ve hız görüntülerinin yanı sıra çizgi merkezine karşılık gelen şiddet ve hız görüntüleri de oluşturulmaya çalışılmıştır. Temel olarak bir

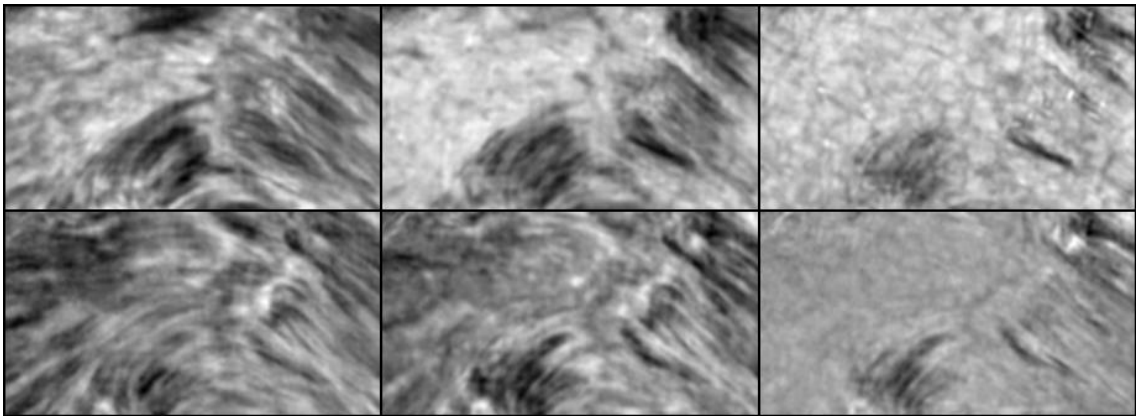
taramaya ait hız görüntüsünü elde etmek için bir referans profili ile görüş alanındaki piksellerin profili oluşturulmaktadır. Daha sonra hızı hesaplanmaya çalışılan pikselin profiliyle referans profilin merkez konumlarının farkı alınarak ve buradan da Doppler kayması ($\Delta\lambda$) bulunarak 3.9 eşitliğinden v hızı elde edilmektedir. Piksellerin çizgi profilinin merkezine karşılık gelen şiddet değerleri de merkezî şiddet değerleri olmaktadır. Bununla birlikte 6562.8 Å'luk Hα çizgisinin merkezî dalgaboyu bögesi, Güneş tayfındaki diğer güçlü soğurma çizgilerine göre çok geniştir. Bu nedenle görüntülerde piksellere ait merkezî dalgaboyunun tespiti kolay olmamaktadır. İşlemlerimizde her bir pikselin merkez bölgesi için hız değeri elde etmek ve üst kromosferdeki hızları tanımlayan daha iyi görüntüler oluşturabilmek amacıyla, piksellerin merkezî dalgaboyunu elde etmek üzere iki farklı yöntem denenmiştir. İlk yöntemde bir taramada, her bir piksel için 18 dalgaboyu noktasının arası 100 noktaya bölünmüş ve IDL'deki "spline" fonksiyonu ile interpolasyon yapmak suretiyle ara noktalar için şiddet değerleri hesaplanmış ve toplam 1701 noktadan bir eğri geçirilmiştir. Bu eğrinin en küçük şiddet değerine karşılık gelen dalgaboyu, merkezî dalgaboyu (λ_{piksel}) olarak alınmıştır. Böylece tarama için benzer şekilde spline fonksiyonu ile oluşturulan ortalama çizgi profilinin en küçük şiddet değerine karşılık gelen dalgaboyu, λ_{piksel}'den çıkarılarak Doppler kayması ($\Delta\lambda$) hesaplanmış ve buradan da (3.9) denklemi ile ele alınan taramaya ait hız görüntüsü elde edilmiştir. İkinci yöntemde bir taramadaki bütün pikseller için bir λ_{piksel} elde etmek amacıyla çizgi profilinin en küçük şiddet değerine karşılık gelen dalgaboyu konumu ve bunun civarındaki 13 adet dalgaboyu konumundan geçen ikinci dereceden bir polinom kullanılmıştır. Bu polinomun belirlediği eğrinin en küçük değerine karşılık gelen dalgaboyu konumu pikselin merkezî dalgaboyu (λ_{piksel}) olarak alınarak bu şekilde taramadaki bütün pikseller için bulunan merkezî dalgaboylarının medyanı (λ_{medyan}) hesaplanmış ve bulunan bu değer referans dalgaboyu olarak kabul edilmiştir. Sonuçta (3.9) denkleminde $\Delta\lambda$ yerine λ_{piksel} - λ_{medyan} yazılarak ve her bir piksel için hız değeri (kms^{-1}) bulunarak merkezî hız görüntüleri oluşturulmuştur.

Çizgi profillerinden merkezî görüntülerin yanı sıra istenilen bir dalgaboyu için şiddet ve radyal hız görüntüleri de oluşturulabilmektedir. Bir taramadaki bir pikselin çizgi merkezinden $\pm\ \Delta\lambda$ kadar uzaklıktaki şiddet değerlerinin toplamı ile şiddete; farkı ile

hıza ait bilgiler elde edilmektedir. Bu işlem bütün pikseller için yapıldığında söz konusu tarama için şiddet ve dikine hız görüntüleri bulunmaktadır. Şekil 3.14'te örnek bir pikselin çizgi merkezinden $\Delta\lambda = \pm 0.25$ Å uzaklıktaki şiddet değerleri gösterilmiştir. Bu çalışmada H$\alpha \pm 0.25$ Å, H$\alpha \pm 0.50$ Å ve H$\alpha \pm 0.75$ Å için şiddet ve hız görüntüleri oluşturulmuştur. Şekil 3.15'te örnek olarak yedinci taramanın bu dalgaboyları için oluşturulan şiddet ve hız görüntüleri verilmektedir. Bu yöntemin eksik tarafı hız görüntülerinin sadece madde hareketinin yönü hakkında bilgi vermesidir.



Şekil 3.14: Yedinci taramadaki bir piksel için çizilen çizgi profili. I_1 ve I_2, profil merkezinden ± 0.25 Å uzaklığa karşılık gelen şiddet değerleridir. $I_1 + I_2$ şiddeti, $I_1 - I_2$ hızı vermektedir.

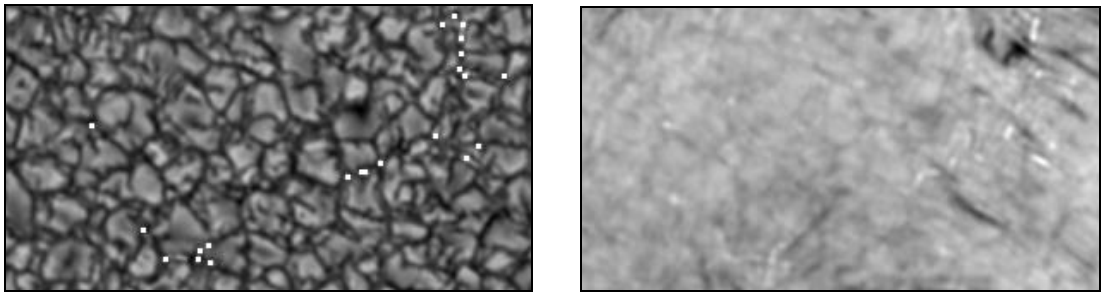


Şekil 3.15: Yedinci taramanın soldan sağa sırasıyla H$\alpha \pm 0.25$ Å, H$\alpha \pm 0.50$ Å ve H$\alpha \pm 0.75$ Å'daki şiddet görüntüleri (birinci sıra), aynı dalgaboylarına karşılık gelen hız görüntüleri (ikinci sıra). Hız görüntülerinde koyu bölgeler aşağı, açık bölgeler yukarı yöndeki hareketi

göstermektedir. Son sütunda da görüldüğü gibi kanatlara doğru gidildikçe fotosfere ait yapılar belirginleşmektedir.

3.5. FOTOSFERDEKİ PARLAK NOKTALARIN İNCELENMESİ

Bu tez çalışmasındaki hedeflerden biri fotosfer görüntülerinde granüller arası bölgede yer alan ve yaklaşık 0″.3 boyutlarındaki küçük ölçekli beyaz parlak noktaların şiddetini ve ufuksal hızını belirlemektir. Bu amaçla aynı bölgeyi gösteren ancak farklı büyüklükte olan 60 adet fotosfer görüntüsü, bir hizalama işlemiyle 306 × 167 piksel'lik eş görüş alanlarına sahip olacak hale getirilmiştir. Görüntülerdeki parlak noktalar görsel olarak seçilmiştir. Şekil 3.16'da fotosfer görüntülerinde görüş alanı içinde belli olan parlak noktalar görülmektedir. Bu noktalardan bazıları belirginleştirilerek gösterilmiştir. Bu görüntüler parlak noktaların seçilmesinde iyi bir referans oluşturan Hα mavi kanat görüntüleri ile de karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.16: 60 adet fotosfer görüntüsü içinde görüş kalitesi bakımından en iyi tarama olan yedinci taramaya ait 30″.6 × 16″.7'lik görüntü (solda). Granüller arasındaki parlak noktalar beyaz renkle vurgulanmıştır. Aynı taramaya ait Hα + 0.8 Å'daki mavi kanat görüntüsü (sağda). Granüllerin kontrastının azalmasından dolayı parlak noktalar belirgin bir şekilde görülebilmektedir.

Görsel olarak seçilen beyaz parlak noktalar ardışık görüntülerde izlenerek zamanla değişen konumları ve şiddet değerleri manuel olarak tespit edilmiştir. Bir pikselin 0″.1'lik ayırma gücüne tekabül ettiği ve 1″ nin 725 km, ardışık görüntüler arasındaki zaman farkının 49 s olduğu göz önünde bulundurulursa, parlak noktaların yer değişiminden hızları hesaplanabilir. Burada bir parlak noktanın izlenmesine nokta gözden kaybolunca ya da belirsiz olunca kadar devam edilmiştir.

3.6. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILARIN TAKİBİ

Hα taraması ile yarı aktif bir bölgede alınan verilerimizde görüş alanının farklı bölgelerinde zamanla değişen fibril olarak adlandırılan koyu yapılar gözlenmektedir. Bu fibrillerin morfolojileri ve dinamik özelliklerine ait sonuçlar elde edebilmek için öncelikle Hα çizgi merkezine ait görüntülerdeki izlenebilecek fibriller seçilerek zamanla değişimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Seçilen fibriller üzerinde noktalar alınarak bu noktalar sonraki taramalarda da takip edilmiştir. Böylece söz konusu noktaya ait hızın ve şiddetin zamanla değişimi belirlenmeye çalışılmıştır. Fibrillerin yüksekliğe bağlı değişimini belirleyebilmek için Lambdametre Yöntemi'yle $\Delta\lambda$ = 0.2 Å, $\Delta\lambda$ = 0.6 Å, $\Delta\lambda$ = 1.0 Å, $\Delta\lambda$ = 1.4 Å' luk eş şiddet doğruları için hesaplanan hız ve şiddet değerleri göz önüne alınmıştır.

3.7. GÜÇ SPEKTRUMLARININ OLUŞTURULMASI

Sınırlı sayıda gözlemlerden oluşan zaman serilerindeki periyodik davranışları ortaya çıkarmak için güç spektrumları oluşturulur. Güneş kromosferinde gözlenen ince yapıların periyodik davranışlarını araştırmak için 60'ar adet görüntüden oluşan merkezî hız ve şiddet zaman serilerinin güç spektrumları oluşturulmuştur. Bunun için kullanılan algoritmalar hızlı Fourier dönüşümü (Fast Fourier Transform, FFT)'dür. Her bir piksel için 1.0 - 10 mHz'lik frekans aralıklarındaki güç spektrumları hesaplanmıştır. Daha sonra güç spektrumları belli frekans aralıklarında incelenmiştir. Bunlar 1.0 - 1.6 mHz'lik evrimleşme frekans aralığı (karşılık gelen periyotlar 10.4 - 16.7 dakika), 2.4 - 4 mHz'lik sönümlenme frekans aralığı (4.2 - 6.9 dakika arasındaki periyotlar) ve son olarak 5.2-8 mHz'lik yüksek frekans aralığı (2.1 - 3.2 dakika arasındaki periyotlar)'dır. Bu frekans aralıklarındaki güç spektrumu haritaları oluşturulurken görüş alanındaki her bir piksele ait güç spektrumunda, incelenen frekans aralığına karşılık gelen güçlerin ortalaması alınmış ve bu değer o piksele atanmıştır. Böylece üç farklı frekans aralığı için merkezî hız ve şiddet zaman serilerinin birer ortalama güç spektrumu görüntüsü elde edilmiştir. Benzer şekilde 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 ve 1.2 Å'luk eş şiddet doğruları için, hız ve şiddet değerlerinin güç spektrumlarının yukarıda belirtilen frekans aralıklarındaki ortalamalarıyla ortalama güç spektrumu görüntüleri oluşturulmuştur.

3.8. STANDART BULUT MODELİ

Güneş atmosferini tanımlayan kimyasal bolluk, yoğunluk, sıcaklık, hız, manyetik alan, mikrotürbülans, dalgaboyu gibi parametreler gözlemsel çizgi profillerini belirlemektedir. Beckers'in Bulut Modeli (Beckers, 1964) gözlenen profillerden bu parametreleri tespit edebilmek için geliştirilmiş bir modeldir. Kromosferik yapıların analizinde yaygın olarak (Bray, 1974; Alissandrakis ve diğ., 1990; Tsiropoula ve Schmieder, 1997; Tsiropoula, 2000; Al ve diğ., 2004; Sánchez-Andrade Nuño ve diğ., 2008) kullanılmış olan Beckers'in Bulut Modeli'ne göre kromosferde gözlenen yapılar, Güneş fotosferinden gelen ışınımı soğuran bulut benzeri yapılardır ve bu yapıların kromosferin altındaki tabakalardan ve çevresinden tamamen ayrı olduğu, kaynak fonksiyonu, radyal hız, Doppler genişlik ve soğurma katsayısının görüş doğrultusu boyunca sabit olduğu ve artalan şiddetinin yapıların altındaki şiddetle ve komşu bölgedekilerle aynı olduğu kabul edilir. Bu çalışmada da kromosferde gözlenen jet benzeri koyu yapılar olan fibriller, alt tabakadan gelen ışınımı soğuran bulutlar şeklinde düşünülerek bunlara ait kaynak fonksiyonu, optik derinlik, Doppler genişliği ve merkezî dalgaboyu gibi fiziksel parametreler hesaplanmıştır.

3.8.1. Bulut Modeli'yle Bulunan Parametrelere İlişkin Bağıntılar

Daha alt atmosfer tabakalarından gelen ışınımın bulut tarafından soğrulması ve bulutun kendi emisyonu şeklindeki süreçler boyunca enerjinin yayılımını ifade eden ışınım transfer denklemi,

$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-\tau(\lambda)} + \int_0^{\tau(\lambda)} S(t_\lambda)\cdot e^{-t(\lambda)}dt \qquad (3.10)$$

eşitliğiyle verilir. Burada $I(\lambda)$ gözlenen şiddet, $I_0(\lambda)$ artalandan salınan şiddet, $\tau(\lambda)$ bulutun optik kalınlığı, S_t bulutu temsil eden kaynak fonksiyonudur. S'deki t indisi kaynak fonksiyonunun optik derinlik ile değiştiğini, t'nin bir fonksiyonu olduğunu ifade eder. Basit Bulut Modeli'nde kaynak fonksiyonu sabit, yani optik derinlikten bağımsız olduğu kabul edilir. Böylece (3.10) radyatif transfer denklemi daha basit bir hal alır:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-\tau(\lambda)} + S(1-e^{-\tau(\lambda)}) \qquad (3.11)$$

$C(\lambda)$ ile gösterilen kontrast fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$C(\lambda) = \frac{I(\lambda) - I_0(\lambda)}{I_0(\lambda)} = (\frac{S}{I_0(\lambda)} - 1)(1 - e^{-\tau(\lambda)}) \tag{3.12}$$

Bulutun optik kalınlığı, dalgaboyunun bir fonksiyonu olarak,

$$\tau(\lambda) = \tau_0 \exp\left[-\left(\frac{\lambda - \lambda_c(1 - v/c)}{\Delta\lambda_D} \right)^2 \right] \tag{3.13}$$

ile verilir. Burada λ_c tayf çizgisinin merkezî dalgaboyunu, τ_0 merkezî dalgaboyundaki optik kalınlık, c ışık hızını, $\Delta\lambda_D$ Doppler genişliğini ve v de maddenin görüş doğrultusundaki hız bileşenini göstermektedir.

$I_0(\lambda)$ için, görüntülerimizde yapıların olmadığı sakin bir bölgenin ortalama şiddet profili alınmıştır. Zaman serisindeki bütün taramalar dikkate alınarak, görüş alanındaki fibrillerin içerisinde bulunan her bir piksele ait kontrast eğrisi oluşturulmuştur. Daha sonra lineer olmayan en küçük kareler yöntemi uygulanarak kontrast eğrileriyle en iyi uyumu veren eğri tespit edilir ve buradan da S, τ_0, $\Delta\lambda_D$ ve λ_c parametreleri belirlenmektedir. λ_c kullanılarak Doppler kayması formülü yardımıyla da v hızı bulunur. Bu çalışmada Alissandrakis ve diğ. (1990)'nin verdiği sınırlamalar göz önünde bulundurulmaktadır. Buna göre kaynak fonksiyonunun üst sınır değeri 0.2'dir. Bundan daha büyük değerler alınmamaktadır. Optik derinlik için sınır değerler $0.0 < \tau_0 < 5.0$ tir. Bulut Modeli ile bulunan parametrelerden yola çıkarak, N_2 ikinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu (cm^{-3}), N_e elektron yoğunluğu (cm^{-3}) ve T kinetik sıcaklık (K), Loughhead ve diğ. (1985) ile Tsiropoula ve Schmieder (1997)'in çalışmalarında, Hα'da gözlenen bazı yapılar için kullandıkları aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$N_2 = 7.26 10^7 \frac{\tau_0 \Delta\lambda_D}{d} \tag{3.14}$$

$$N_e = 3.2 10^8 \sqrt{N_2} \tag{3.15}$$

$$\Delta\lambda_D = \frac{\lambda_0}{c}\sqrt{\xi_t^{\,2} + \frac{2kT}{m}} \tag{3.16}$$

Bu eşitliklerde, d yapıların kalınlığı, ξ_t mikrotürbülans hızı, k Boltzmann sabiti ve m atom kütlesidir. Yine yukarıda verilen çalışmalara göre, N_{H} yani hem nötral hem de iyonize haldeki hidrojenlerin toplam parçacık yoğunluğu (cm^{-3}) ve P gaz basıncı ($dyn \cdot cm^{-2}$),

$$N_{\mathrm{H}} = 5.10^{8}\sqrt{N_2} \tag{3.17}$$

$$P = k\,N_T\;T_{\mathrm{e}} = k\left(N_{\mathrm{e}} + N_{\mathrm{H}} + 0.0851\,N_{\mathrm{H}}\right)\,T_{\mathrm{e}} \tag{3.18}$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır. Burada N_T toplam parçacık yoğunluğudur. 0.0851 katsayısı ise helyum bolluğunun hidrojen bolluğuna oranına ($N_{\mathrm{He}}/N_{\mathrm{H}}$) karşılık gelmektedir. Diğer elementlerin bollukları (bkz. Asplund, 2009) hidrojenle karşılaştırıldığında çok küçük olduğu için ihmal edilmiştir.

m_{H} hidrojen atomunun kütlesi olmak üzere ve helyum atomunun kütlesinin hidrojen atomunun kütlesine oranı (3.9708)'ndan toplam kolon kütlesi ($g \cdot cm^{-2}$),

$$M = (N_{\mathrm{H}} \cdot m_{\mathrm{H}} + N_{\mathrm{He}} \cdot m_{\mathrm{He}}) \cdot d = \left(N_{\mathrm{H}} \cdot m_{\mathrm{H}} + 0.0851\,N_{\mathrm{H}} \cdot 3.97\,08 m_{\mathrm{H}}\right) \cdot d \tag{3.19}$$

denklemi ile kütle yoğunluğu ($g \cdot cm^{-3}$) da,

$$\rho = \frac{M}{d} \tag{3.20}$$

şeklindeki bağıntı ile tespit edilmektedir. Ayrıca hidrojenin iyonizasyon derecesi,

$$x_{\mathrm{H}} = \frac{N_{\mathrm{e}}}{N_{\mathrm{H}}} \tag{3.21}$$

oranı ile belirlenebilmektedir.

4. BULGULAR

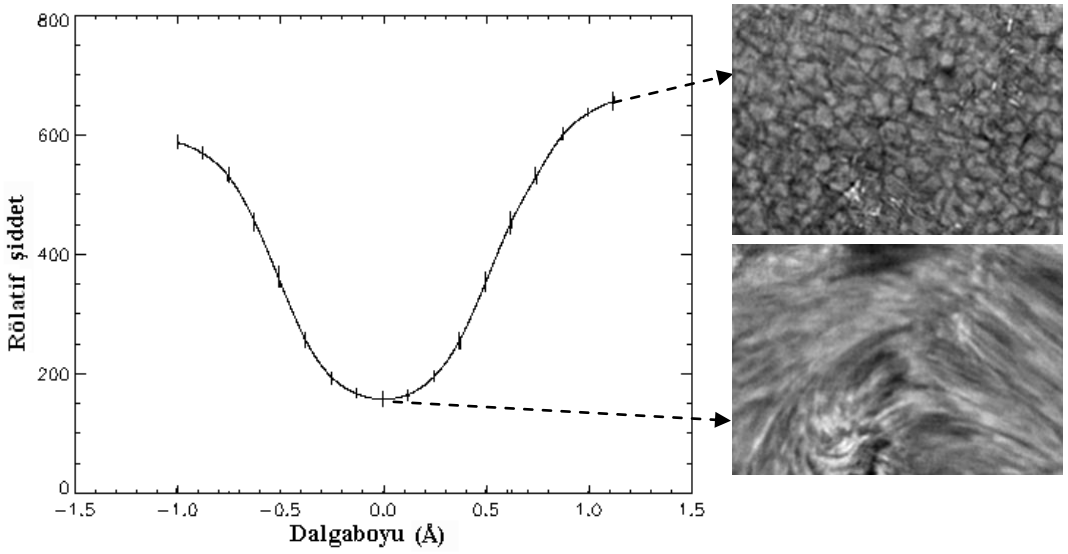
Bu bölümde iki boyutlu spektroskopiyle Güneş diski üzerinde yarı aktif bir bölgeden alınan görüntülerde gözlenen yapıların özelliklerini belirlemek için kullanılan yöntemlerin ve incelemelerin sonuçları verilmektedir. Ön indirgemelerin ardından, yapıların incelenmesine geçmeden önce atmosferin bozucu etkilerinin giderilmesi amacıyla verilere spekl yöntemi uygulanmıştır. Burada bu yöntem sonucunda yeniden oluşturulmuş geniş bant ve dar bant zaman serilerinden örnek taramalar sunulmaktadır. Bununla beraber kromosferdeki yapıların incelenmesinde önemli bir yer tutan merkezî hız ve şiddet görüntülerinin oluşturulması için kullanılan yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmaktadır. Geniş bant görüntülerinde homojen olarak gözlenen granüllerin ufuksal hızları, Yerel Bağlantı Takibi yöntemiyle bulunarak vektör haritası şeklinde verilmiştir. Bu tezin konusunu oluşturan kromosferdeki ince yapıların uzunluk ve kalınlık gibi morfolojik özellikleri görsel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca kromosferik ince yapılarla yakından bağlantılı olduğu anlaşılan küçük boyutlu fotosferik parlak noktalar içinden seçilen bazı noktalar görsel olarak izlenerek şiddet ile hız değişimlerine dair sonuçlar verilmiştir. Kromosferde gözlenen yapılardaki madde hareketlerini ortaya çıkarmak için merkezî hız ile Lambdametre Yöntemi sonucunda elde edilen farklı derinliklere ait hız görüntüleri kullanılmış ve hesaplanan değerler bu bölümde verilmiştir. Söz konusu yapıların doğasını anlamak için Fourier analiziyle periyodik davranışları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bununla ilgili sonuçlar ile yapılara ait sıcaklık, yoğunluk, basınç vb. fiziksel özellikleri belirlemek için kullanılan Bulut Modeli'yle ulaşılan değerler aşağıda sunulmaktadır.

4.1. SPEKL YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLEN VERİLER

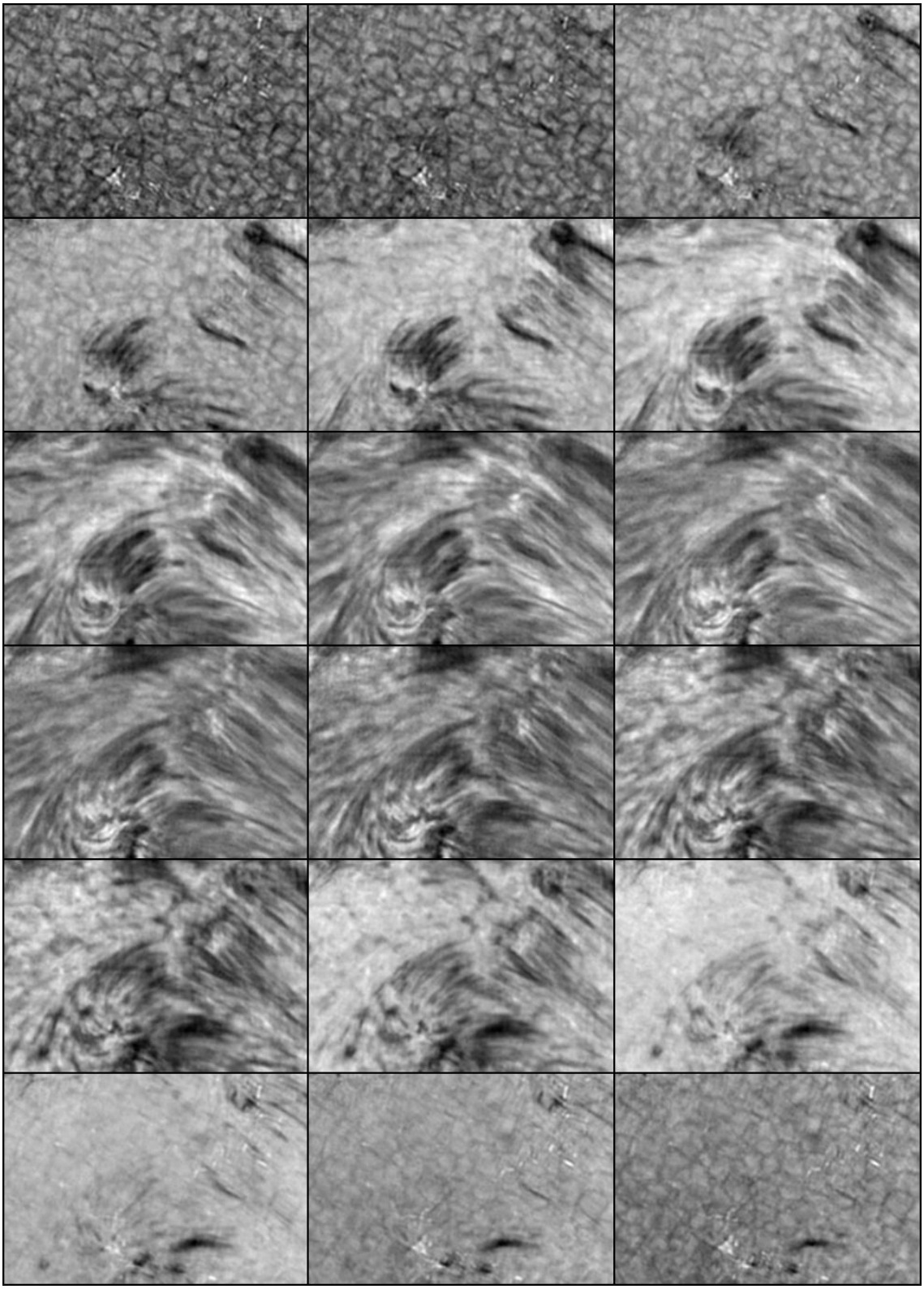
Görüntüler üzerinde atmosferin bozucu etkisini gidermek için uygulanan Spekl yöntemi sonucunda geniş bant ve dar bant zaman serisi olmak üzere iki adet restore edilmiş zaman serisi elde edilmiştir. Geniş bant zaman serisi, fotosfer görüntülerine karşılık gelen 60 adet beyaz ışık görüntüsünden oluşmaktadır. Zaman serisinde görüş kalitesinin

bir ölçüsü olan Fried parametresinin en yüksek olduğu değer 17.1 cm'dir ve buna karşılık gelen astronomik görüş kalitesi, 0″.78'dir. Görüş kalitesinin en iyi olduğu bu zamana karşılık gelen tarama yedinci taramadır. Şekil 3.6'da yedinci taramanın, spekl yöntemi uygulanmadan önceki ve uygulandıktan sonraki görüntüsü verilmektedir. Dar bant zaman serisinde ise her birinde Hα çizgi profili üzerinde 18 farklı dalgaboyu konumuna karşılık gelen 18 adet dar bant görüntüsünün yer aldığı 60 adet tarama vardır. Şekil 4.1'de örnek olarak yedinci taramanın ortalama profili verilerek üzerinde 18 dalgaboyu konumu işaretlenmiştir. Şeklin sağ üstünde çizgi profilinin kırmızı kanadında ilk dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntü, altında ise çizgi profilinin merkezine yakın 10. dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntü verilmiştir. Şekil 4.2'de de aynı taramanın kırmızı kanattan mavi kanada doğru 18 dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntüleri verilmektedir.

Geniş bant zaman serisindeki görüntüler incelendiğinde granüller ile granüller arasında boyutları küçük beyaz parlak noktalar görülmektedir. Dar bant taramalarına ait görüntülerde ise başlangıçları, fotosferdeki küçük parlak noktaların bulunduğu yere karşılık geldiği anlaşılan koyu uzun yapılar dikkat çekmektedir. Fotosfer ve kromosferdeki bu ince yapıların dinamiğine ilişkin bulgular, 4.4 ve 4.5'te verilmektedir.



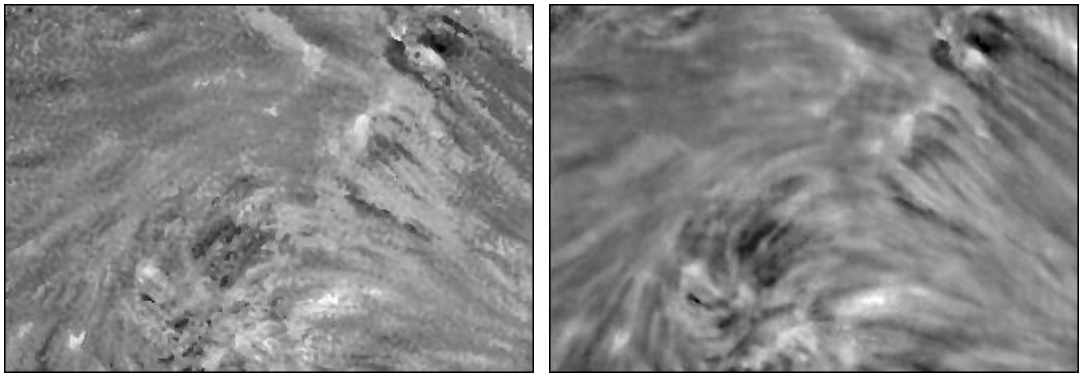
Şekil 4.1: Zaman serisi içerisinde yedinci taramaya ait ortalama çizgi profili ve spekl yöntemiyle yeniden oluşturulmuş dar bant görüntüleri. Sağ üstte çizgi profilinin kırmızı kanadında ilk dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntü, altta çizgi profilinin merkezine yakın 10. dalgaboyu konumuna karşılık gelen görüntü.



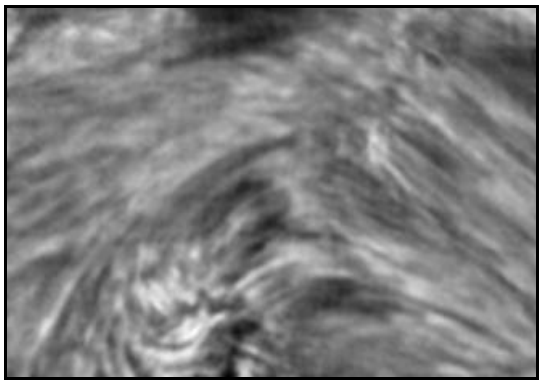
Şekil 4.2: Dar bant zaman serisindeki yedinci taramanın 18 adet dalgaboyu konumuna ait 330 × 230 piksel boyutlarındaki spekl tekniği ile iyileştirilmiş görüntüler.(Soldan sağa) Görüntüler, kırmızı kanattan mavi kanada doğru olan ardışık dalgaboyu konumlarına karşılık gelmektedir. Profil merkezine en yakın görüntü, dördüncü sıranın ilk görüntüsüdür.

4.2. FARKLI YÖNTEMLERLE OLUŞTURULAN MERKEZÎ HIZ GÖRÜNTÜLERİ

Kromosferdeki ince yapıların dinamiğine ilişkin bilgilerin elde edilmesi için merkezî hız görüntülerinin oluşturulması gerekmektedir. Merkezî dalgaboyunun doğru tespiti için iki farklı yöntem denenmiştir. Şekil 4.3'te aynı tarama için iki yöntem ile elde edilen örnek hız görüntüleri verilmektedir. Koyu olan yerler aşağı doğru hareketi, açık yerler yukarı doğru hareketi göstermektedir. Görüntüler karşılaştırıldığında ikinci yöntem ile ulaşılan sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 4.4'te ise bu yöntem kullanılarak elde edilen şiddet görüntüsü verilmektedir.



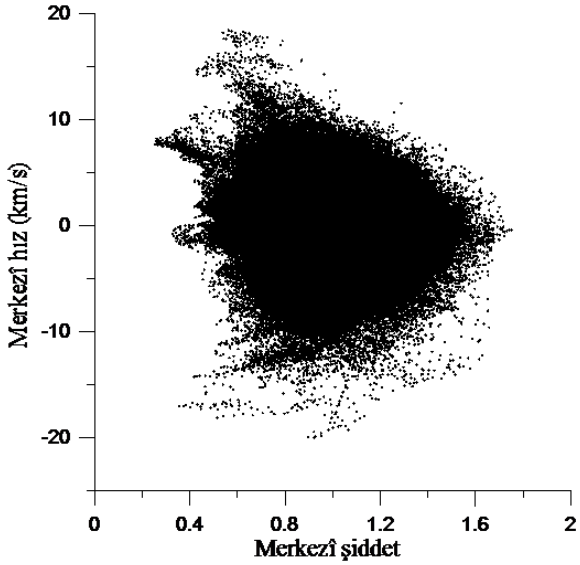
Şekil 4.3: Zaman serisinin yedinci taraması için birinci yöntem (solda) ve ikinci yöntemle (sağda) elde edilmiş merkezî hız görüntüleri.



Şekil 4.4: Yedinci tarama için oluşturulan merkezî şiddet görüntüsü.

Merkezî hızlarla merkezî şiddet değerleri arasında bir bağlantı olup olmadığını görmek için iki değeri karşılaştıran grafik çizdirilmiştir. Amaç koyu ve daha parlak görünen yapılardaki hız dağılımı hakkında fikir sahibi olmaktır. Şekil 4.5'teki bu grafikte yatay eksende bütün zaman

serisindeki pikseller için şiddet değerleri dikey eksende de bunlara karşılık gelen hız değerleri bulunmaktadır. Burada her bir şiddet değeri, bulunduğu taramanın ortalama şiddet değerine oranlanarak alınmıştır. Her iki veri için de hizalama işlemi sonucunda oluşan 306 × 167 piksel'lik görüntülerden oluşan zaman serileri kullanılmıştır.

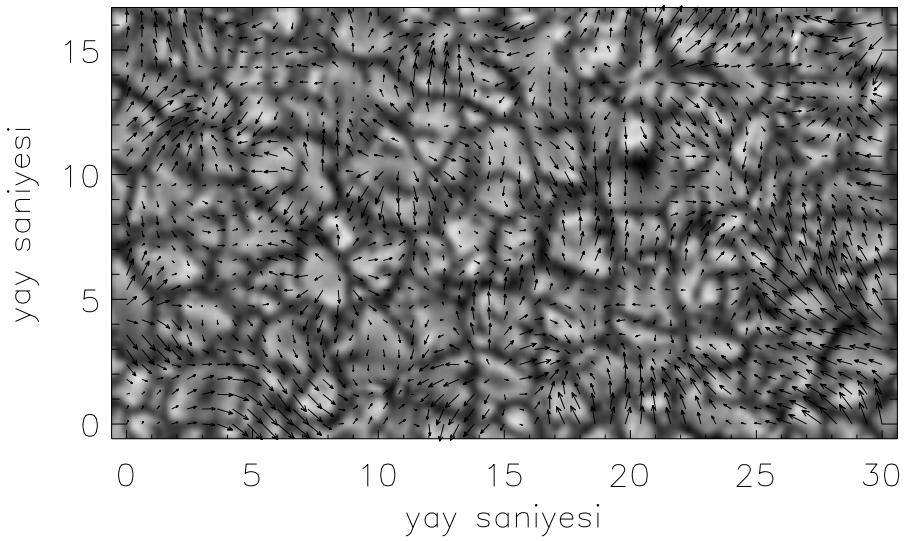


Şekil 4.5: Bütün zaman serisindeki şiddet değerlerine karşılık gelen hız değerlerini gösteren grafik.

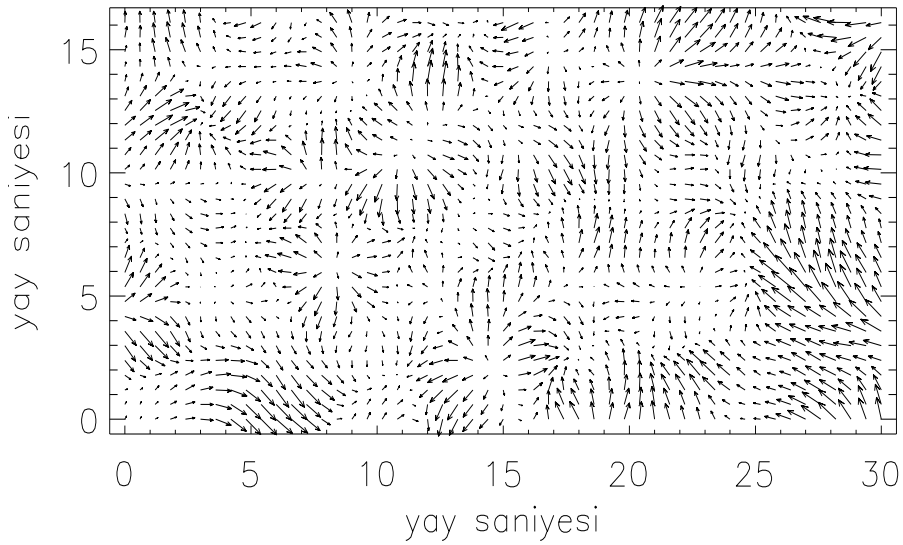
4.3. UFUKSAL HIZ HARİTASI

Spekl yöntemiyle yeniden oluşturulmuş 60 adet beyaz ışık görüntüsü aynı boyutlara getirildikten sonra, bunlara Yerel Bağlantı Takibi algoritmaları uygulanarak granüllere ait ufuksal hızların *x* ve *y* ekseni doğrultusundaki bileşenleri (v_x-v_y) elde edilmiştir. Bu hız bileşenlerinden bileşke hızlar hesaplanarak 306 × 167 piksel'lik görüş alanı için ufuksal hız vektör haritası (Şekil 4.6) oluşturulmuştur. Bulunan en büyük hız değeri 0.68 kms^{-1} olup, ortalama değer 0.27 kms^{-1} dir.

Yerel Bağlantı Takibi yöntemi fotosfer üzerinde daha büyük ölçekteki oluşumların yani mezogranüllerin görünür hale gelmesini de sağlamıştır. Buna göre oluşturduğumuz vektörel hız alanı görüntüsünde, granüllerin, merkezinden sınırlarına doğru hareket ederek belirgin hale getirdiği mezogranül hücreleri görülebilmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.6: Ufuksal hız haritası. Arka planda beyaz ışık zaman serisindeki 306 × 167 piksel'lik en iyi görüntü yer almaktadır.

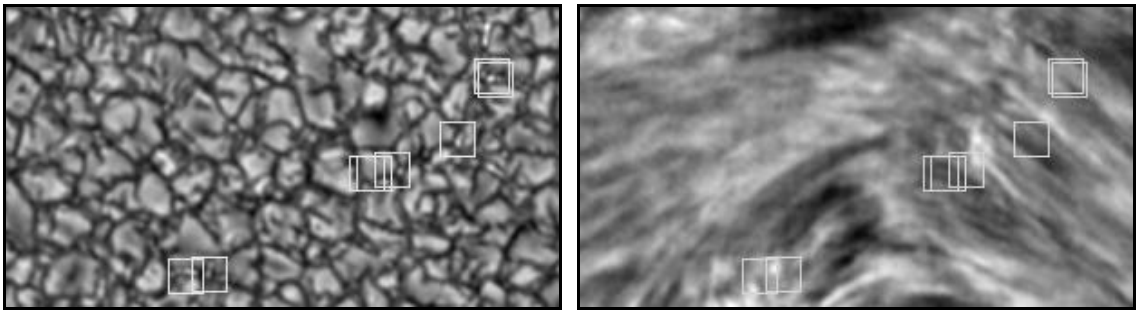


Şekil 4.7: Mezogranül hücrelerinin görünür olduğu ufuksal hız haritası.

4.4. GRANÜLLER ARASINDAKİ KÜÇÜK PARLAK NOKTALAR

Eş görüş alanını gösterecek şekilde hizalanan fotosfer görüntülerine bakıldığında granüller arasında yer alan ve parlaklığıyla dikkat çeken küçük beyaz noktalar görülmektedir. Bu parlak noktaların zamanla şiddet ve morfolojik değişimlerini belirlemek amacıyla ardışık görüntülerde takibi yapılmıştır. Granüller arası bölgede bulunan parlak noktalar, granüllerin düzensiz hareketleriyle rastgele yer değiştirmektedir. Birkaç nokta, granüllerin itmesiyle bir araya gelip uzunumsu ya da daha parlak yuvarlak bir yapı oluşturup, sonra tekrar ayrılabilmektedir. Bazen bir nokta

ardışık birkaç görüntüde kaybolup tekrar ortaya çıkabilmektedir. Zaman içinde şiddetlerinde de değişimler söz konusu olmaktadır. Bu şekilde dinamik özellikler gösteren parlak noktaların ardışık görüntüler boyunca görsel olarak izlenmesi güç bir işlem olmuştur. Parlak noktaların iyi takip edilebilmesi için görüş koşullarının çok iyi olması gerektiği görülmüştür. Bu bölümde parlak noktalar içinde bağımsız olarak görülebilen 15 tanesi seçilmiş (Şekil 4.8) ve zamanla şiddetlerindeki değişim belirlenmeye çalışılmıştır. Bunların izlenmeye başlandığı taramalar ve izleme süreleri birbirinden farklıdır. Takip edilebildikleri ardışık tarama sayıları 7 ila 41 arasında değişmektedir. Buna karşılık gelen yaklaşık ömürleri 5.7 ila 33.5 dakikadır. Noktaların takibine belirsizleştikleri andan itibaren son verilmiştir. Bazı noktaların izlenmeye başlandıktan sonra ilerleyen zamanlarda birkaç küçük noktaya bölündükleri görülmüştür. Dolayısıyla izleme, bileşenlerden biriyle, ayrı bir nokta olarak kabul ederek sürdürülmüştür. Bazı noktaların ise izlenmeye başlanmalarından itibaren daha sonraki zamanlarda komşu bir noktayla birleştiği gözlenmiştir. Bu durumda da birleşik nokta ayrı bir nokta olarak kabul edilerek izlenmeye devam edilmiştir. Noktaların şiddetleri ortalama fotosfer şiddetinin 1.0 ila 1.44 katı arasında değişmektedir. Genel olarak en büyük şiddetler, iki ayrı noktanın etkileşiminden müteşekkil oldukları anlaşılan noktalarda tespit edilmektedir. Tek bileşen olarak izlenen noktaların ortalama şiddeti, ortalama fotosfer şiddetinin 1.2 katı iken, birleşik noktaların ortalama şiddeti, ortalama fotosfer şiddetinden 1.36 kat daha fazladır.



Şekil 4.8: Örnek bir geniş bant görüntüsü üzerinde yerleri 20 × 20 piksel'lik kutucuklarla işaretlenmiş parlak noktalar (solda) ile eş zamanlı merkezî şiddet görüntüsü (sağda).

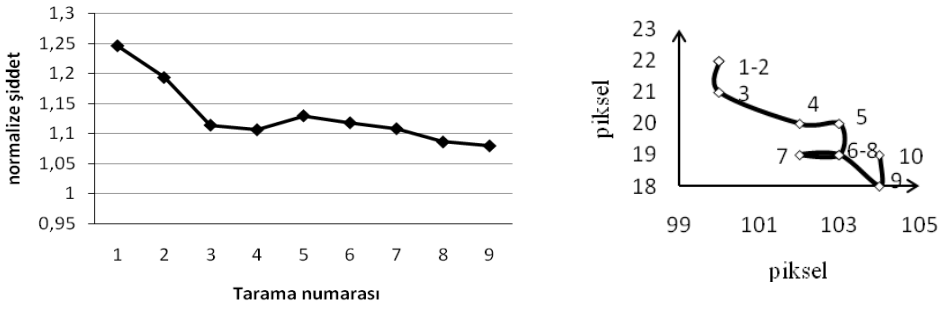
Hızlar hesaplanırken noktaların izlendikleri ardışık görüntülerdeki yer değiştirmeleri göz önüne alınmıştır. Granüllerin hareketleriyle sürüklenen bu noktaların hızı ortalama 1.7 kms^{-1} dir. Fakat bu değerlerin elde edilmesinde seçim etkisinin rolü kaçınılmazdır.

Şekil 4.9'da, beyaz ışık zaman serisinin ilk 10 taramasında izlenen bir parlak noktanın değişimi 30 × 30 piksel'lik alanlar içinde gösterilmektedir. Burada zaman serisinin ilk taramasında şiddet değeri, ortalama fotosfer şiddetinin 1.33 katı olan küresel görünümlü parlak noktanın, sonraki taramalarda daha uzun bir şekil aldığı ve birkaç noktaya ayrıştığı gözlenmektedir. Tam olarak ayrık göründüğü andan itibaren parlak noktanın tek nokta olarak izlenmesine devam edilmemiştir. İzlenen bu noktanın şiddetinin ve konumunun zamanla değişiminin verildiği Şekil 4.10'da, normalize şiddet olarak noktanın 3 × 3 piksel'lik alanı içindeki ortalama şiddetinin, fotosferin ortalama şiddetine oranı alınmıştır.

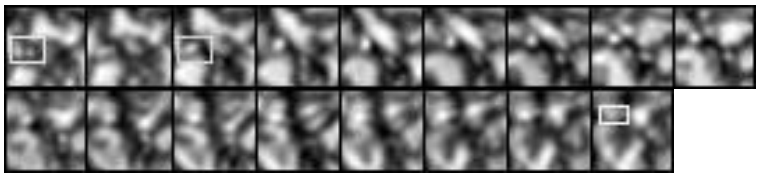
Şekil 4.11'de ise 25. taramada (üst soldaki ilk kare) ayrık olarak ayırt edilen iki noktanın sonraki 16 taramadaki değişimi verilmektedir. Burada iki noktanın sonraki görüntülerde birleşmeye başladığı ve 27. taramadan itibaren tek bir parlak nokta olarak gözlendiği anlaşılmaktadır. Buradaki parlak noktanın ortalama şiddetinin ve konumunun zamanla değişimi Şekil 4.12'de gösterilmektedir. Noktaların görüş alanındaki yer değişiminden hareketlerinin granüllerin etkisiyle rastgele olduğu anlaşılmaktadır. Bu parlak noktaların gerek izledikleri yol gerekse şiddetlerinin zamanla değişimleri düzensizdir.



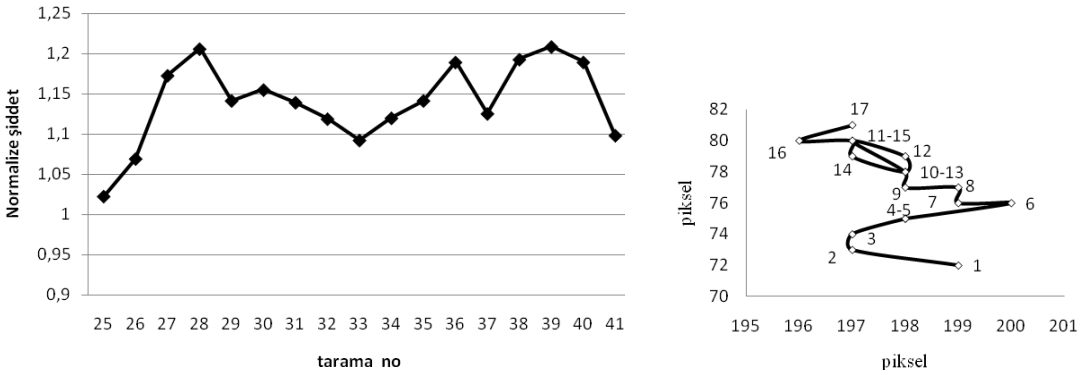
Şekil 4.9: Tek bir nokta şeklinde görülmeye başlanan parlak bir noktanın iki bileşene ayrılmasına örnek. Beyaz noktaları gösteren küçük çerçeveler 15 × 10 piksel'dir.



Şekil 4.10: Şekil 4.9'da verilen taramalardaki parlak noktanın şiddet değişimini (solda) ve zamanla görüş alanındaki yer değişimini veren (sağda) grafikler.



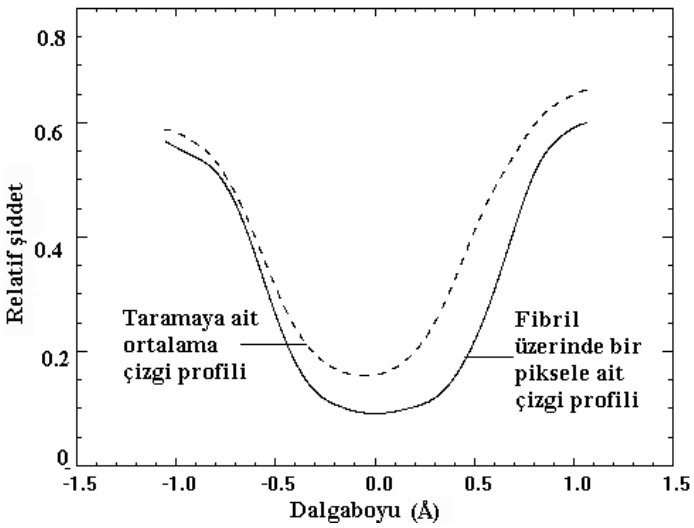
Şekil 4.11: 25. ve 41. taramalar arasında izlenen parlak nokta. Üst soldaki ilk karedeki iki ayrık nokta, üçüncü kareden sonra birleşik tek nokta olarak görünmekte.



Şekil 4.12: Şekil 4.11'de verilen taramalardaki parlak noktanın şiddet değişimini (solda) ve zamanla görüş alanındaki yer değişimini veren (sağda) grafikler.

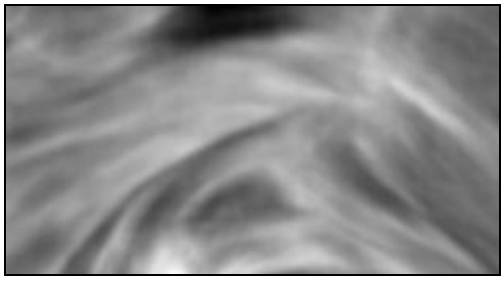
4.5. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILAR VE PLAZMA HAREKETLERİ

Yarı aktif bir bölgeden alınan Hα verilerimizde görüş alanının farklı bölgelerinde zamanla değişen ve fibril adı verilen jet benzeri uzun yapılar görülmektedir. Şekil 4.13'te verilen örnek bir çizgi profilinde de görüldüğü gibi fibriller koyu absorbsiyon yapılardır.



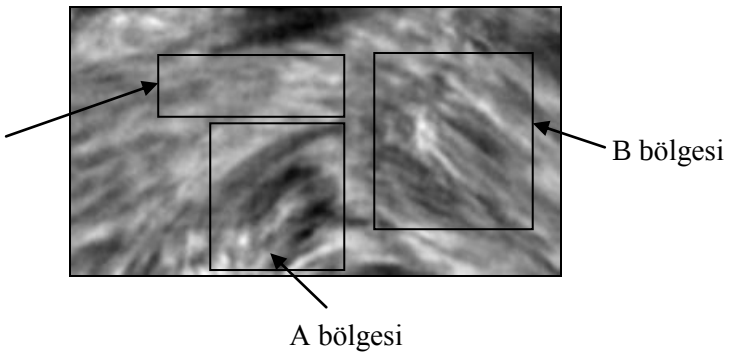
Şekil 4.13: Bir fibril üzerindeki bir noktaya ait çizgi profili.

Şekil 4.14'te merkezî şiddet görüntülerinin zamansal ortalaması verilmektedir. Bu ortalama görüntüde fibrillerin gözlem süresi boyunca sürekli ortaya çıktıkları bölgeler daha belirgin görülmektedir. Burada yer alan koyu ipliksi yapıları "kararlı fibril" olarak kabul etmek mümkündür.



Şekil 4.14: Merkezî şiddet görüntülerinin ortalaması.

Fibrillerin yönelimlerinde görülen farklılıktan ötürü görüş alanı içerisinde ayrı ayrı incelenmek üzere üç farklı bölge ele alınmıştır (bkz. Şekil 4.15). A bölgesindeki fibriller Şekil 4.15'de görüldüğü gibi yay şeklindedir. B bölgesindeki fibriller ise başlangıç noktalarından itibaren uzanan ve daha düz olanlardır. C bölgesi olarak, fibrillerin nispeten daha az görüldüğü bölge seçilmiştir. A ve B bölgesindeki fibrillerin çıkış noktalarına bakıldığında, fotosfer tabakasında bu bölgelere karşılık gelen yapıların küçük boyutlu parlak noktaların olduğu ve fibrillerin temelinin parlak noktalara dayalı olduğu görülmektedir (bkz. Şekil 4.8).



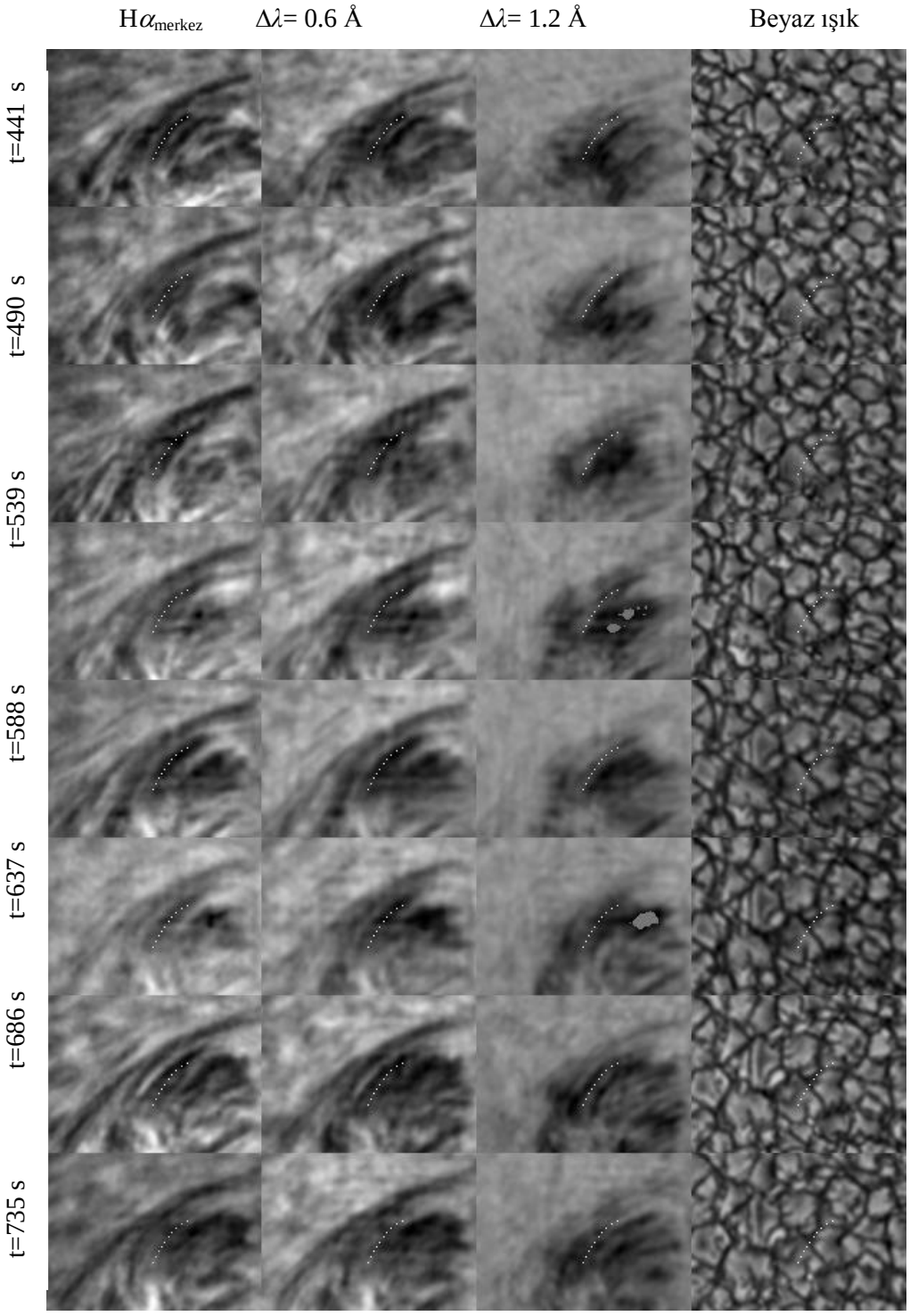
Şekil 4.15: Yedinci taramaya ait merkezî şiddet görüntüsü.

Taramalarda gözlenen fibrillerin uzunluk değişimlerini ve ömürlerini belirlemek amacıyla öncelikle Hα çizgi merkezine ait şiddet görüntülerinden görsel olarak fibriller seçilmiş ve ardışık taramalarda izlenerek zamanla değişimleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Ancak fibrillerde uzama, yarılma, birbirileriyle birleşme, parlaklığında

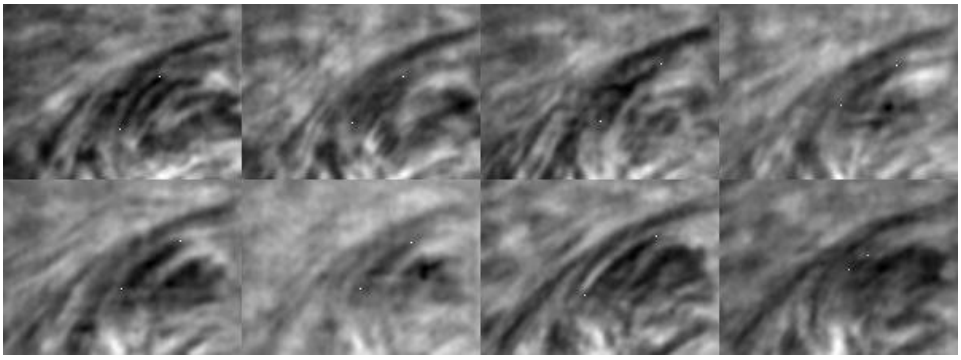
zayıflama-artma gibi çok çeşitli dinamik davranışlar gözlenmektedir. Dolayısıyla bunların başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemek güç bir işlem olmuştur. Bununla birlikte zaman zaman görüş kalitesinin de düşmesi takibini zorlaştırmaktadır.

Fibrillerin taramadan taramaya değişimi izlenirken, görülmeye başlandıkları zamana ait merkezî şiddet görüntüsünün ortalama değeri hesaplatılarak bu değerin 0.9 katı, söz konusu yapıların sınırlarını ve uzunluklarını belirlemek amacıyla bir eşik şiddet değeri olarak alınmıştır. Zaman serisinde morfolojik değişimleri takip edilen A ve B bölgesinden 12 adet fibrilin izlendikleri süreler içinde ortalama uzunlukları 2″.3 ile 10″.3 arasındadır. Bu fibriller aradında ölçülen en küçük fibril uzunluğu 1″.5, en büyüğü ise 11″ dir. Fibrillerin izlendikleri taramalar 2 ila 10 tarama arasında değişmektedir.

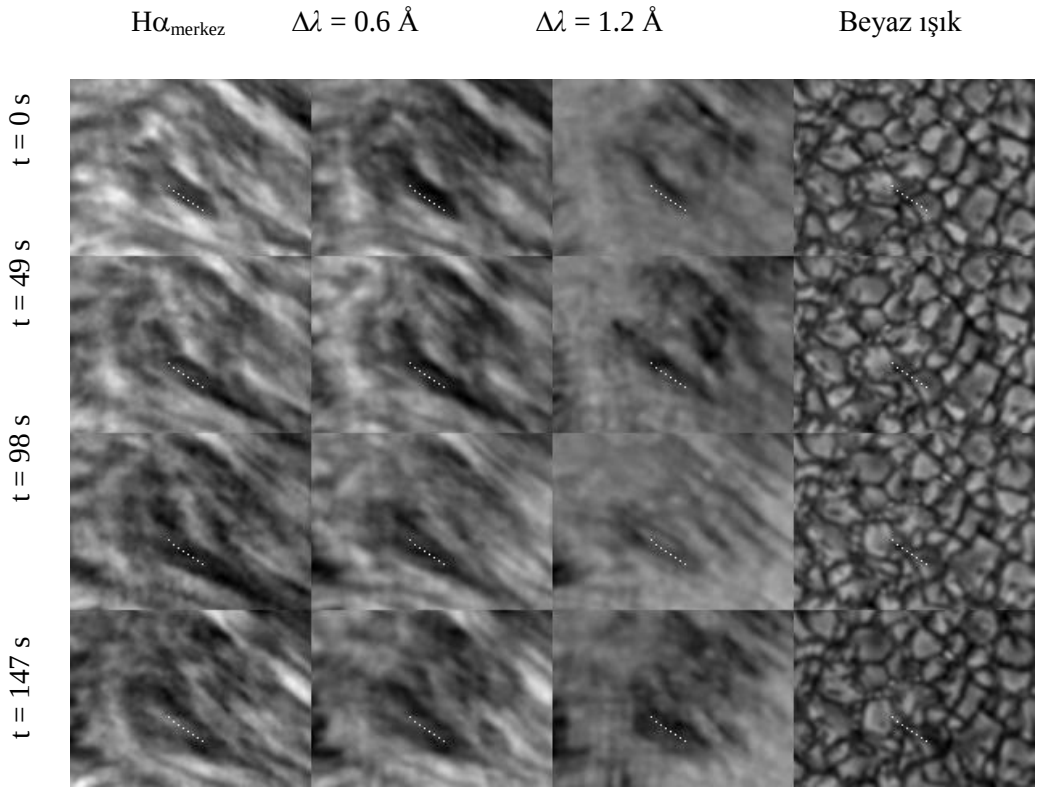
Örnek olarak Şekil 4.16'da ve Şekil 4.18'de sırasıyla 9. ve 16. ile 1. ve 4. taramalar arasında gözlenen iki farklı fibrilin zamanla değişimi verilmektedir. Fibrillerin atmosferik derinliğe bağlı değişimini de görebilmek amacıyla merkezî hız görüntüsünün yanı sıra Lambdametre Yöntemi'yle farklı eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet görüntüleri ile bunlara karşılık gelen beyaz ışık görüntüsü gösterilmektedir. Burada bütün görüş alanı değil 150 × 110 piksel'lik alt alanlar verilmektedir. Şekil 4.16'daki fibril A bölgesinde, Şekil 4.18'deki fibril B bölgesinde yer almaktadır. Bu alt alanlarda izlenen fibriller, görüldükleri ilk taramada gri noktaların oluşturduğu hatlarla vurgulanmış ve bu hatlara göre ardışık taramalarda takip edilmiştir. İzlenen yapılar, beyaz ışık ile merkezî görüntüler arasında karşılaştırmalı olarak incelendiğinde her iki fibrilin başlangıç noktasının civarında parlak noktalar olduğu görülmektedir. Şekil 4.16'daki fibrilin başlangıç noktası, çerçevenin alt kısmına yakın olan ucu, Şekil 4.18'deki fibrilin başlangıç noktası, çerçevenin sol tarafına yakın ucudur. Şekil 4.16' ya göre izlenen fibril yaklaşık 4″ uzunluğundaki iken iki tarama sonra 5″.2'ne uzanıp tekrar bir miktar kısalmakta sonra uzunluğu 5″.8'nden 1″.5'ne düşmektedir. Merkezî şiddet görüntüsü ile fotosfer görüntüsü karşılaştırıldığında fibrilin ayak noktasının yaklaşık 17 piksel (1″.7) altında birbirine yakın üç parlak nokta görülmektedir. Ardışık taramalarda parlak noktaların birbirinden uzaklaştığı ve son satırdaki görüntüde de belirginliğini yitirdiği buna karşılık fibrilin de sadece 1″.5'lik kısmının kaldığı ve sonraki taramada görülmediği anlaşılmaktadır.



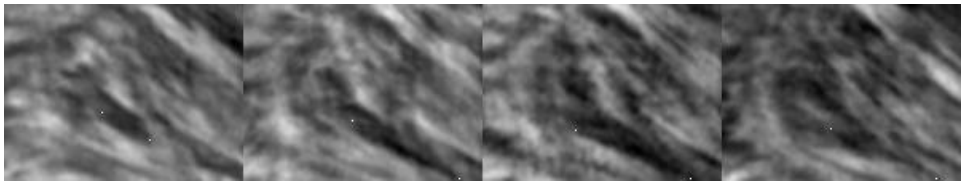
Şekil 4.16: Yukarıdan aşağı 9.ve 16. taramalar arasında gözlenen fibrilin (gri noktalarla işaretli) zamanla değişimi. Soldan sağa sırasıyla fibrilin bulunduğu görüş alanına ait merkez görüntüsü, $\Delta\lambda$ = 0.6, 1.2 Å'luk eş şiddet doğruları için elde görüntüler ve beyaz ışık görüntüsü. Görüntülerin boyutları 150 × 110 piksel'dir.



Şekil 4.17: Şekil 4.16'daki fibrilin uzunluğunun zamanla değişimin gösterimi. Açık renkli çizgiler fibrilin uçlarını göstermektedir.



Şekil 4.18: Yukarıdan aşağı 1. ve 4. taramalar arasında gözlenen fibrilin zamanla değişimi. Soldan sağa sırasıyla fibrilin bulunduğu görüş alanına ait merkez görüntüsü, $\Delta\lambda$ = 0.6, 1.2 Å'luk eş şiddet doğruları için elde görüntüler ve beyaz ışık görüntüsü.

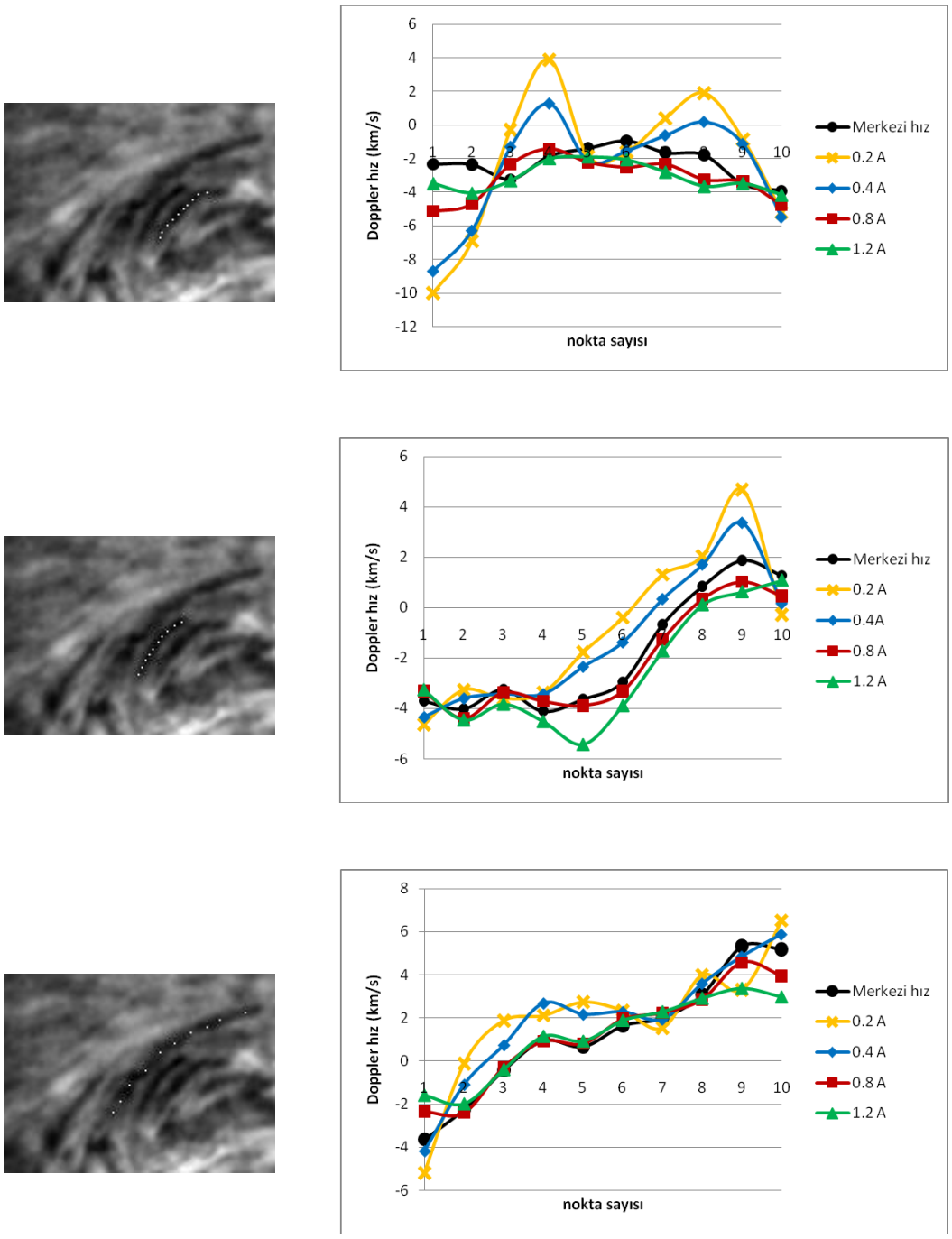


Şekil 4.19: Şekil 4.18'deki fibrilin uzunluğunun zamanla değişiminin gösterimi. Beyaz noktalar fibrilin uç kısımlarını göstermektedir.

Kromosferdeki yapıların atmosferik derinliğe bağlı değişimini belirleyebilmek için Lambdametre Yöntemi'yle farklı eş şiddet doğruları için şiddet görüntüleri dışında hız görüntüleri de oluşturulup kullanılmıştır. Bir taramada gözlenen bir fibril boyunca maddenin nasıl hareket ettiğini görebilmek için fibril üzerinde belirli sayıda nokta üzerindeki hız değerleri okutulmuştur. Bu noktaların sayısı fibrilin uzunluklarına göre seçilmiştir. Şekil 4.20'de, zaman serisindeki 9. taramada gözlenen üç fibril, 150 × 110 piksel'lik küçük alanlar içerisinde gösterilmekte ve bunların üzerinde seçilen noktalardaki hızın fibriller boyunca ve atmosferik derinlikle değişiminin grafiği verilmektedir. Burada merkezî hız görüntüsü ile Lambdametre Yöntemi'yle $\Delta\lambda$ = 0.2 Å, $\Delta\lambda$ = 0.4 Å, $\Delta\lambda$ = 0.8 Å ve $\Delta\lambda$ = 1.2 Å'luk eş şiddet doğruları için oluşturulan hız görüntülerinden, fibriller üzerinde seçilen 10 adet pikseldeki Doppler hız değerleri okutulmuş ve kaydedilmiştir.

Şekil 4.20'deki fibrillerin alt kısmındaki piksel, birinci nokta olarak alınmış ve diğer noktalar da yukarıya doğru artan piksellerle beyaz renkle vurgulanmıştır. Bu noktaların farklı eş şiddet doğrularındaki hız değerlerini gösteren grafiklere göre fibrillerin üzerindeki bazı noktalarda aşağı doğru bir hareket (negatif değerler) varken bazı noktalarda hareket yukarı doğrudur (pozitif değerler). Fibriller boyunca plazmanın hareket yönü farklı olduğu gibi hızın büyüklüğü de farklıdır. Farklı derinliklere bağlı olarak ele alındığında, hareketin yönü aynı olmakta ancak hızın büyüklüğü farklı eş şiddet doğrularına göre bir miktar değişim göstermektedir.

Merkezî hız görüntülerinden oluşan zaman serisi içinde tespit edilen en yüksek hızın büyüklüğü 20 kms^{-1} dir ve hareketin yönü aşağı doğrudur. Hızlara ait mutlak değer ortalaması 1.56 kms^{-1}, karelerinin ortalamasının karekökü (rms) 2.09 kms^{-1} dir.



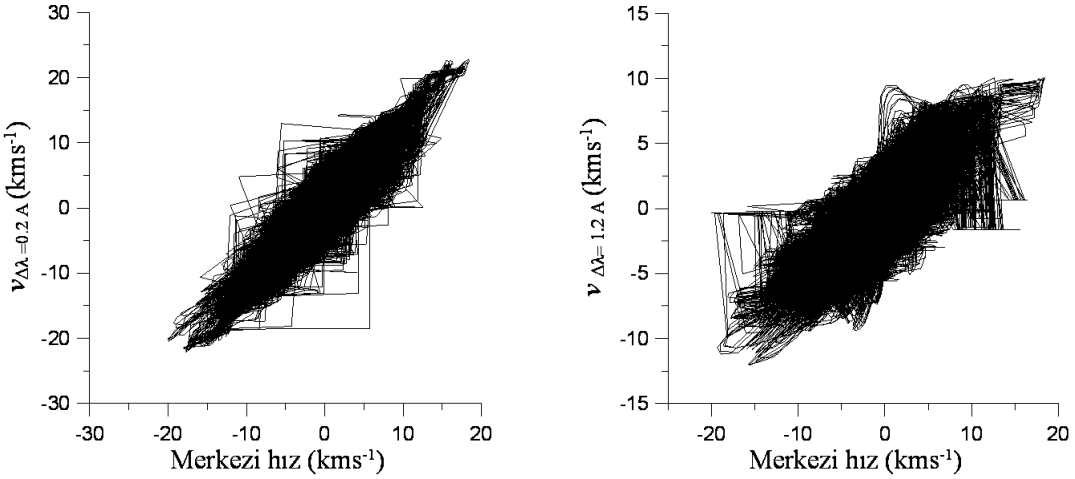
Şekil 4.20: (Sol sütun) Görüş alanının 150 × 110 piksel'lik bir kısmında seçilen üç fibril ve fibriller boyunca seçilen pikseller (beyaz noktalar), (sağ sütun) farklı eş şiddet doğruları için bulunan hız değerlerinin fibriller üzerinde seçilen bu noktalarla değişimini veren grafik.

Farklı eş şiddet doğrularına ait hız görüntülerinin zaman serisi içinde en yüksek ve ortalama hızlara ait mutlak değerler ise Tablo 4.1'de verilmektedir. Farklı derinliklerde hız değişiminin nasıl olduğunu görmek için Şekil 4.21'de, bütün zaman serisindeki

merkez hızlarla 0.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızlar ve merkez hızlarla 1.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızlar arasında yapılan karşılaştırma verilmektedir.

Tablo 4.1: Zaman serisinde bulunan farklı eş şiddet doğruları için bulunan Doppler hızlarının en büyük ve ortalama değerleri. Burada hızların mutlak değerleri verilmiştir.

	Doppler hız (kms^{-1})			
	$\Delta\lambda$ = 0.2 Å	$\Delta\lambda$ = 0.4 Å	$\Delta\lambda$ = 0.8 Å	$\Delta\lambda$ = 1.2 Å
En büyük	23	22	17	12
Ortalama	2.2	2.9	1.3	1.2



Şekil 4.21: (Solda) Bütün zaman serisindeki merkezî hızlarla 0.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızların, (sağda) merkezî hızlarla 1.2 Å'luk eş şiddet doğrusu için elde edilen hızların karşılaştırılması.

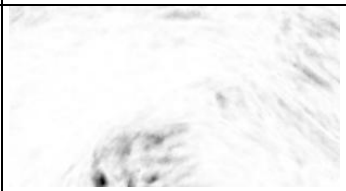
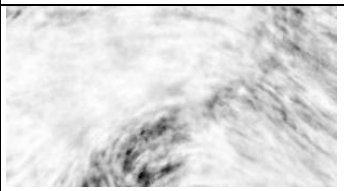
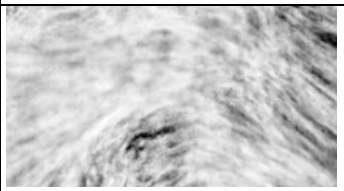
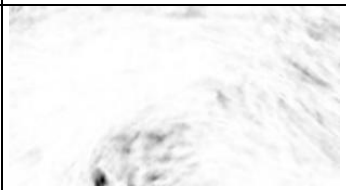
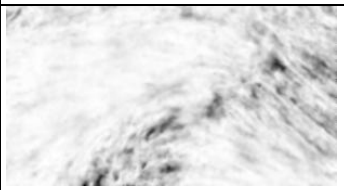
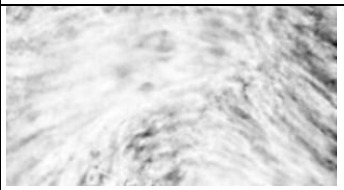
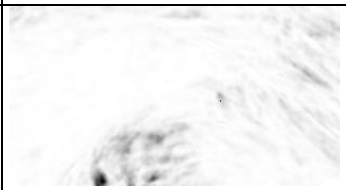
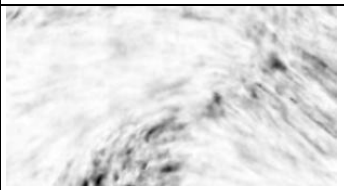
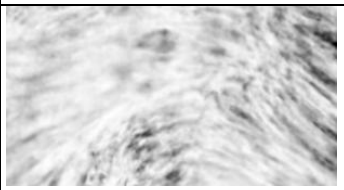
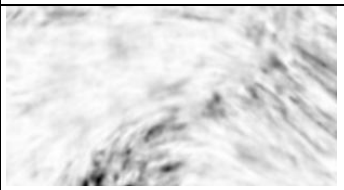
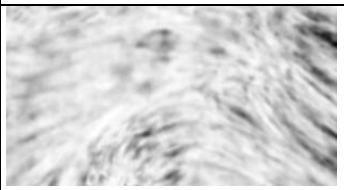
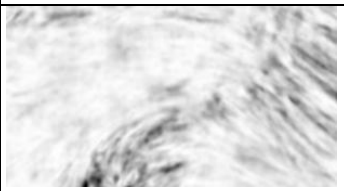
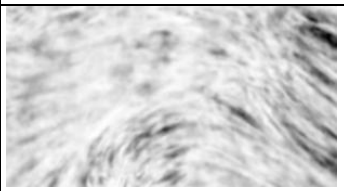
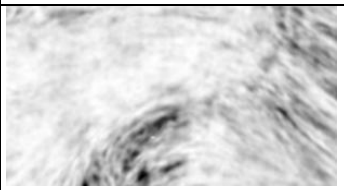
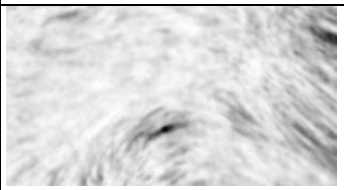
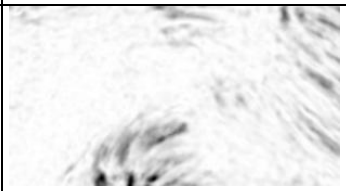
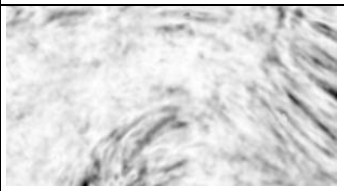
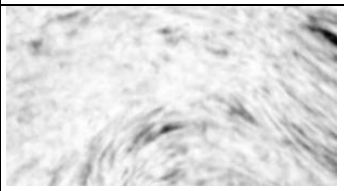
4.6. KROMOSFERDE GÖZLENEN PERİYOTLAR

Bu çalışmadaki amaçlardan biri, bütün görüş alanına ait güç spektrumlarını oluşturarak varsa bölgesel farklılıkları ve sebepleri ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla öncelikle farklı atmosferik derinliklerdeki merkezî hız görüntülerinden oluşan 49 dakikalık zaman serileri için güç spektrumu haritaları oluşturulmuştur. Bunun için görüş alanındaki her bir pikselin Fourier analizi ile periyodik değişimlerini veren güç spektrumu hesaplanmıştır. Benzer şekilde merkezî şiddet görüntülerinin oluşturduğu zaman serisi için de güç spektrumu haritaları oluşturulmuştur.

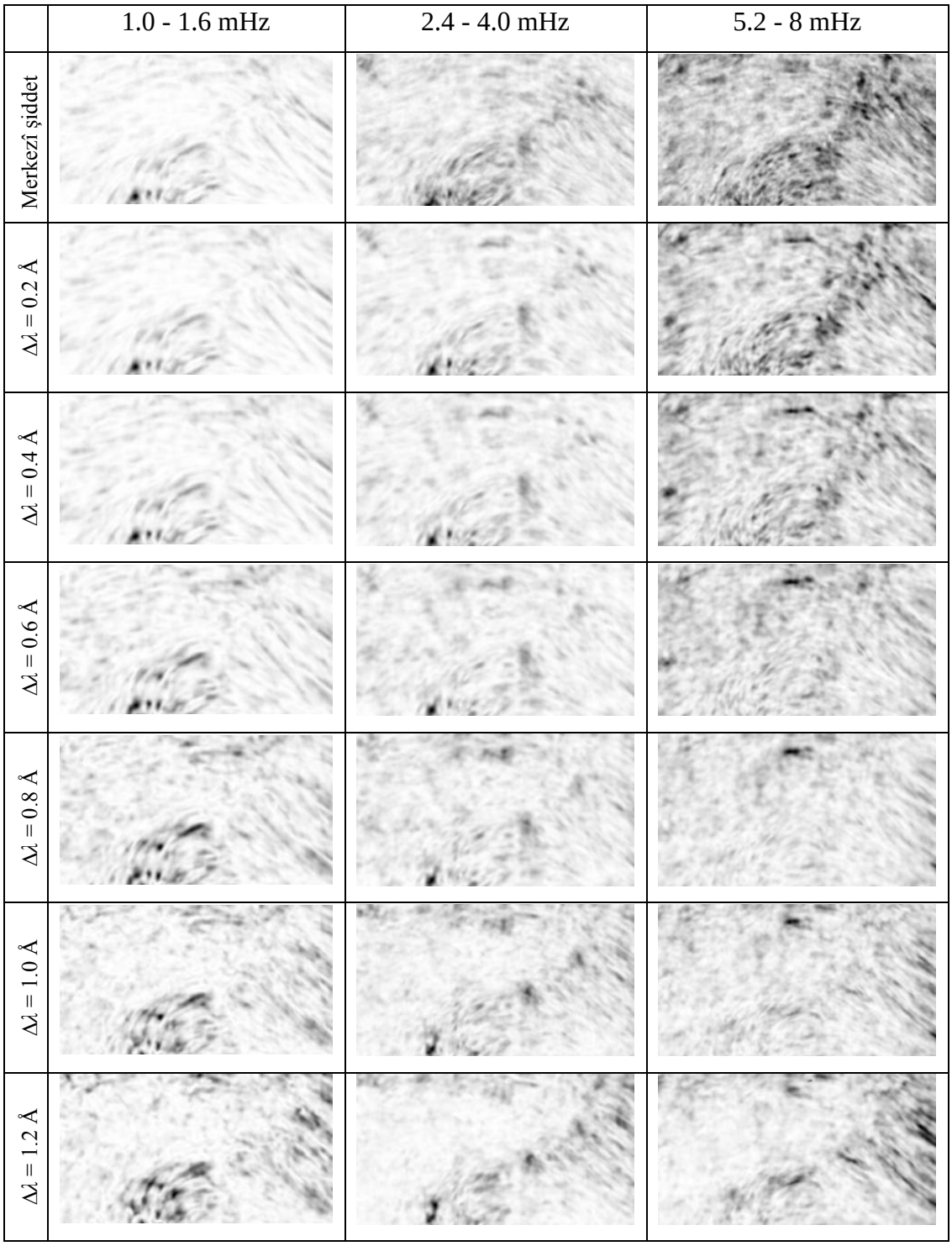
Güç spektrumlarının 1.0 ile 10 mHz arasındaki frekans değerleri üç ayrı aralık dikkate alınarak incelenmiştir; birincisi 1.0 - 1.6 mHz'lik evrimleşme frekans aralığı (karşılık

gelen periyotlar 10.4 - 16.7 dakika), ikincisi 2.4 - 4.0 mHz'lik sönümlenme frekans aralığı (4.2 - 6.9 dakika arasındaki periyotlar) ve son olarak 5.2 - 8 mHz'lik ilerleme frekans aralığı (2.1 - 3.2 dakika arasındaki periyotlar). Verilen bu frekans aralıklarındaki merkezî hız ve merkezî şiddete ait güç spektrumu haritaları oluşturulurken her bir piksele ait güç spektrumunda incelenen frekans aralığına karşılık gelen güçlerin ortalaması alınmış ve bu değer o piksele atanmıştır. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te, frekans aralığına göre ayrılmış bu haritalar, merkez ile altı farklı eş şiddet doğruları için verilmektedir. Gücün yani Fourier genliklerinin büyük olduğu yerler koyu renkle gösterilmektedir.

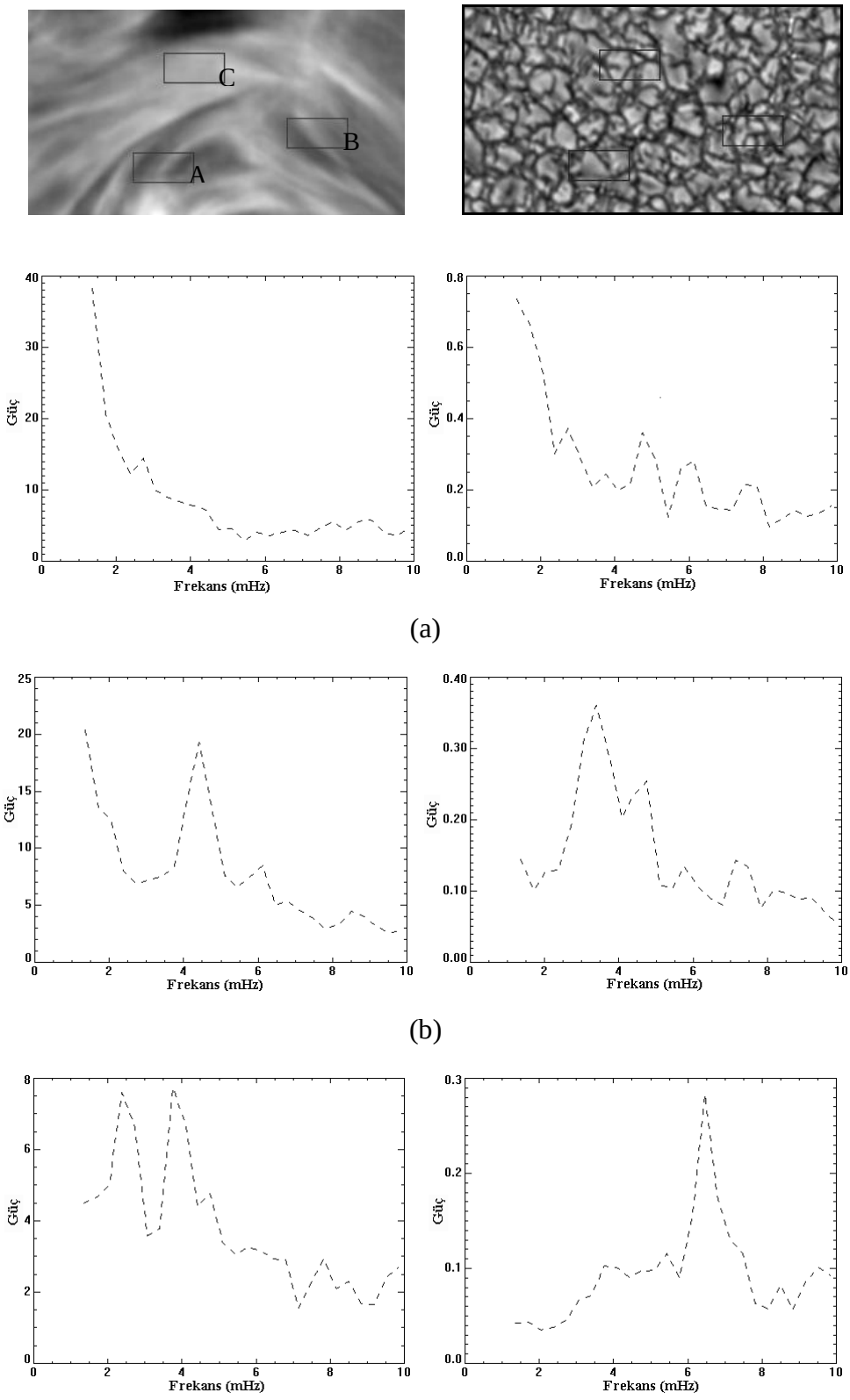
Daha önce fibrillerin yönelimlerinden dolayı görüş alanında üç farklı bölge seçildiği belirtilmişti (bkz. Şekil 4.15). Bölgesel farklılıkları güç spektrumu haritalarında da görmek mümkündür. Haritalar incelediğinde merkezî hız görüntüleri için hesaplanan güç spektrumlarında (bkz. Şekil 4.22) evrimleşme frekans aralığı için gücün, özellikle A bölgesindeki fibrillerin iç bölgelerinde büyük olduğu görülmektedir. Kromosferden fotosfere doğru gittikçe uzun periyotlar daha çok görünmektedir. Merkezî hızların güç spektrumlarında, sönümlenme frekans aralığındaki gücün yüksek olduğu yerler fibrillerin ortaya çıktığı A ve B bölgeleridir. Özellikle fotosferik parlak noktaların dizildiği yere karşılık gelen bölgelerde gücün büyük olduğu görülmektedir. Yüksek frekanslarda güç her yerde olmakla birlikte diğer frekanslarda olduğundan daha zayıftır. Şekil 4.23'teki şiddet görüntülerinin ortalama güç spektrumlarında uzun periyotlar A bölgesinde görülmekte olup, alt tabakalara doğru güç daha da büyümektedir. 5 dakikalık periyotlara karşılık gelen frekans aralığında güç, merkezî şiddete ait spektrumlarda yine fibrillerin çıkış noktalarında görülmektedir. Alt tabakalara doğru güç zayıflamakta, daha sonra tekrar aynı bölgede görülmeye başlamaktadır. Yüksek frekanslarda ise güç, merkezî şiddet görüntülerinde her yerde görülürken alt tabakalara gittikçe azalmaktadır. Şekil 4.24'te üç bölgede 50 × 25 piksel'lik alanlar için hesaplanan ortalama güç spektrumu grafikleri yer almaktadır. Bu grafiklerde sağ taraftaki sütunda merkezî hız görüntülerine ait ortalama güç spektrumlarında yukarıda açıklamadaki gibi bölgelere göre frekans farklılığı görülmektedir. Üst satırda A bölgesindeki hızlara ait ortalama güç spektrumlarında gücün uzun periyotlarda büyük olduğu, orta satırda B bölgesine ait spektrumda tepenin 2.4 - 4.0 mHz aralığında, alt satırda sakin bölgeye ait spektrumda gücün yüksek frekans aralığında büyük olduğu anlaşılmaktadır.

	1.0 - 1.6 mHz	2.4 - 4.0 mHz	5.2 - 8 mHz
Merkezî hız			
$\Delta\lambda = 0.2$ Å			
$\Delta\lambda = 0.4$ Å			
$\Delta\lambda = 0.6$ Å			
$\Delta\lambda = 0.8$ Å			
$\Delta\lambda = 1.0$ Å			
$\Delta\lambda = 1.2$ Å			

Şekil 4.22: (Sütunlarda) Farklı frekans aralıkları, (satırlarda) merkezî hız görüntüleri ile farklı eş şiddet doğruları için elde edilen hız görüntülerinin güç spektrumunun her bir aralıktaki ortalamasıyla oluşturulan görüntüler. Fourier genliklerinin büyük olduğu bölgeler koyu renkle verilmektedir.



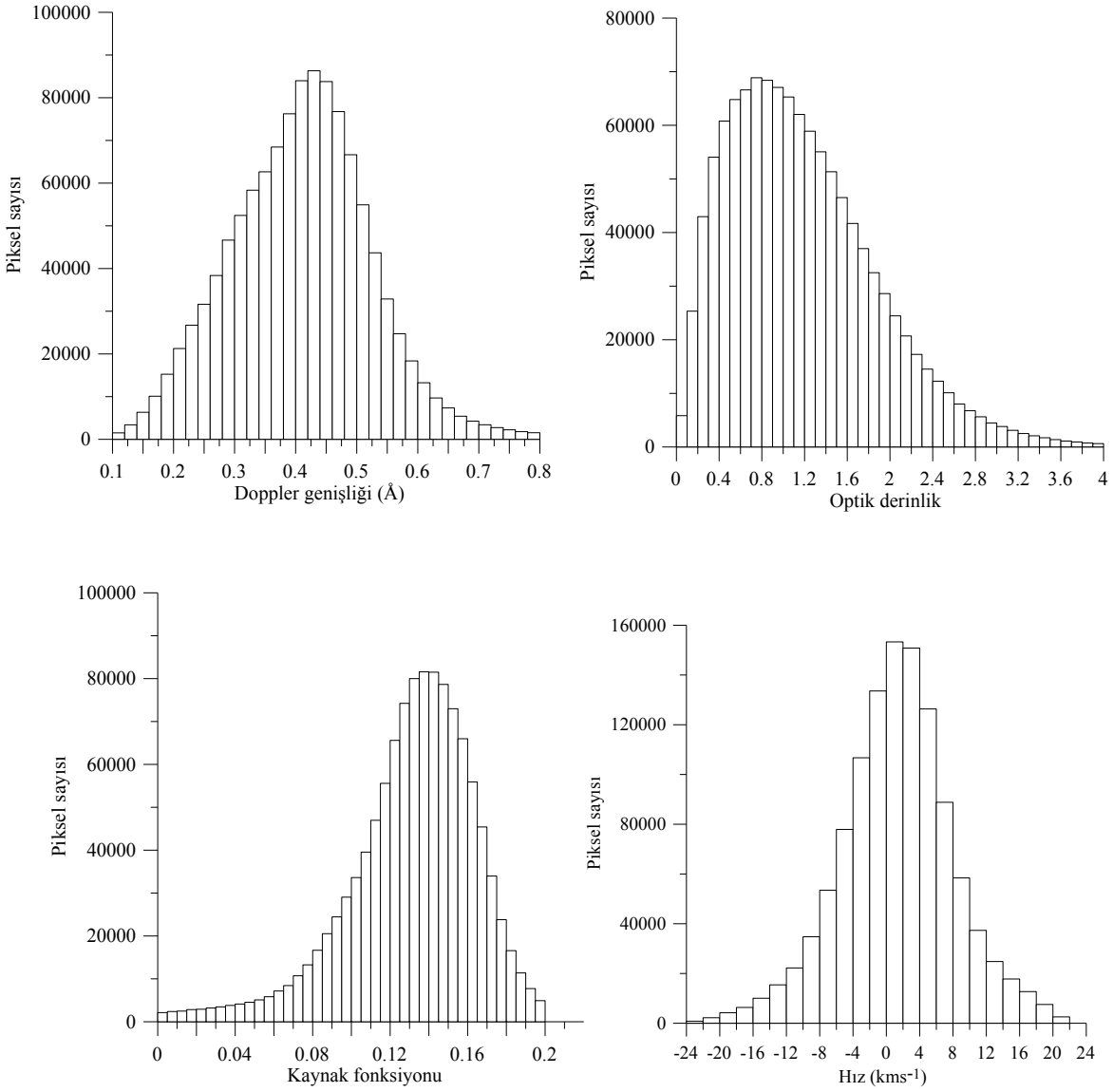
Şekil 4.23: (Sütunlarda) Farklı frekans aralıkları, (satırlarda) merkezî şiddet görüntüleri ile farklı eş şiddet doğruları için elde edilen şiddet görüntülerinin güç spektrumunun her bir aralıktaki ortalamasıyla oluşturulan görüntüler. Koyu renkler gücün yüksek açık renkler gücün zayıf olduğu bölgeleri göstermektedir.



Şekil 4.24: (Üst satır) Ortalama kromosfer görüntüsü (solda) ve en iyi taramaya ait fotosfer görüntüsü (sağda). Alt satırlarda sırasıyla A, B ve C bölgesindeki 50 × 25 piksel'lik alanlardaki merkezî şiddet (sol sütun) ve merkezî hızlara (sağ sütun) ait ortalama güç spektrumları.

4.7. KROMOSFERDEKİ İNCE YAPILARA AİT FİZİKSEL PARAMETRELER

Beckers'in standart Bulut Modeli'nin uygulanabildiği toplam 1149104 piksel için kaynak fonksiyonu, Doppler genişliği, optik derinlik ve hız değerleri belirlenerek bunlara ait histogramlar oluşturulmuştur (bkz. Şekil 4.25). Tablo 4.2'de ise Bulut Modeli'yle 1149104 piksel için hesaplanan bu parametrelerin ortalama değeri ve standart sapmaları verilmiştir. Hızların ortalamaları hesaplanırken mutlak değerleri kullanılmıştır.



Şekil 4.25: Bulut Modeli ile zaman serisindeki fibrillere ait kaynak fonksiyonu, optik derinlik, Doppler genişliği ve hız histogramları.

Tablo 4.2: Bulut Modeli ile 60 tarama için hesaplanan koyu kromosferik yapılara ait parametrelerin standart sapmalarıyla birlikte verilen ortalama değerleri.

Kaynak fonksiyonu	**Optik derinlik**	**Doppler genişlemesi (Å)**	**Radyal hız (kms^{-1})**
0.13 ± 0.03	**1.19 ± 0.71**	**0.41 ± 0.12**	**5.35 ± 4.38**

Doppler genişlikleri 3.16 eşitliğinde yerine yazıldığında sıcaklıklar bulunur. Mikrotürbülans hızının iki farklı değerine göre kinetik sıcaklık için hesaplanan ortalama değerler 1.7×10^4 (ξ_t: 10 kms^{-1}) ve 1.16×10^4 (ξ_t: 15 kms^{-1}) K'dir. 3.14 eşitliğinden itibaren elde edilen N_2d çarpımlarının ortalama değeri 3.6×10^{12} cm^{-2} olmakla beraber, fibrillerin kalınlığına bağlı olarak ikinci seviyedeki hidrojen yoğunluğu için değişik sonuçlar bulunacaktır. Tablo 4.3'te yapıların kalınlığının 700, 1000 ve 2000 km (Bray ve Loughhead, 1974; Pikel'ner 1971) alınması halinde ikinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu (N_2), elektron sayı yoğunluğu (N_e), hidrojenin toplam parçacık sayı yoğunluğu (N_H), gaz basıncı (P), toplam kolon kütlesi (M) ve kütle yoğunluğu (ρ) için elde edilen ortalama değerler verilmektedir. Gaz basıncının hesaplanmasında mikrotürbülans hızı 10 kms^{-1} olarak alınmıştır. Elektron sayı yoğunluğunun hidrojenin toplam sayı yoğunluğuna oranından bulunan iyonizasyon derecesi ise ortalama 0.64'tür.

Tablo 4.3: Bulut Modeli parametrelerinden elde edilen ve farklı d kalınlığı için bulunan ikinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu (N_2), elektron sayı yoğunluğu (N_e), hidrojenin toplam parçacık sayı yoğunluğu (N_H), gaz basıncı (P), toplam kolon kütlesi (M) ve kütle yoğunluğu (ρ)'na ait ortalama değerler ve standart sapmaları.

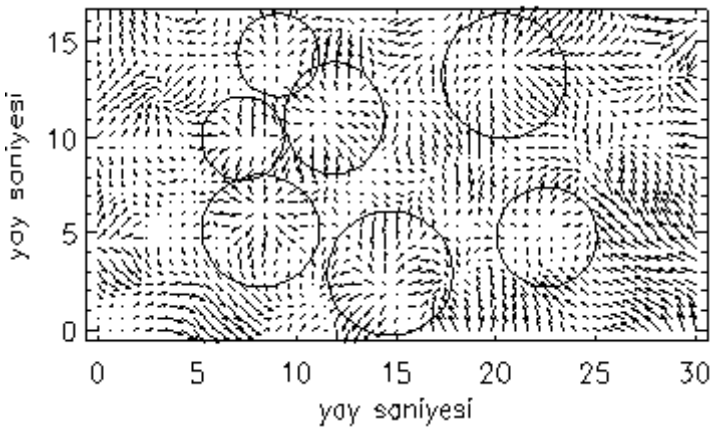
d **(km)**	N_2 **(cm^{-3})**	N_e **(cm^{-3})**	N_H **(cm^{-3})**
700	$(5.1 \pm 3.3)\times10^4$	$(6.8 \pm 2.4)\times10^{10}$	$(1.1 \pm 0.37)\times10^{11}$
1000	$(3.6 \pm 2.3)\times10^4$	$(5.2 \pm 2.0)\times10^{10}$	$(8.9 \pm 3.1)\times10^{10}$
2000	$(1.8 \pm 1.2)\times10^4$	$(4.04 \pm 1.42)\times10^{10}$	$(6.32 \pm 2.22)\times10^{10}$
d **(km)**	P **($dyn\cdot cm^{-2}$)**	M **($g\cdot cm^{-2}$)**	ρ **($g\cdot cm^{-3}$)**
700	0.46 ± 0.36	$(1.7 \pm 0.6)\times10^{-5}$	$(2.4 \pm 0.8)\times10^{-13}$
1000	0.39 ± 0.30	$(2.0 \pm 0.7)\times10^{-5}$	$(2.0 \pm 0.7)\times10^{-13}$
2000	0.28 ± 0.22	$(2.8 \pm 0.9)\times10^{-5}$	$(1.4 \pm 0.5)\times10^{-13}$

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Güneş'in yarı aktif bölgesinin Hα'da iki boyutlu spektroskopi ile yapılan gözlemleriyle bir piksele ait uzay, tayf ve zaman çözünürlüğü için Δx = 0″.102, Δy = 0″.102, $\Delta\lambda$ = 125 mÅ, Δt = 49 s olduğu dört boyutlu I (x,y,λ,t) veri seti elde edilmiştir. Bu tayfölçümün sağladığı olanak ile incelediğimiz görüş alanının çok kısa zaman içerisinde 18 dalgaboyu konumunda ve dolayısıyla farklı atmosferik derinliklerinde görüntüleri elde edilmiş oldu. Söz konusu yöntemle gerçekleştirilen bir tarama işleminde daha alt atmosfer tabakalarına karşılık gelen kanat görüntülerinde granülasyon ve granüller arasında yer alan beyaz parlak noktalar belirgin bir şekilde görülmektedir. Çizgi profilinin merkezine doğru gittikçe daha üst tabakalara karşılık gelen görüntülerde fibril denilen koyu ipliksi yapılar görülmektedir. Bir taramaya ait farklı dalgaboylarındaki görüntüler ile beyaz ışık görüntüleri birbiriyle karşılaştırılarak incelendiğinde, manyetik akı tüplerinin ayak noktası olarak kabul edilen fotosferdeki parlak noktaların fibrillerin çıkış noktalarına karşılık geldiği anlaşılmaktadır. Bu durum, kromosferde gözlenen koyu yapıların, manyetik alanla yakından bağlantılı olduğunun bir göstergesidir. Bu çalışmada Hα'da gözlenen ve fibril olarak isimlendirilen bu kromosferik ince yapıların özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte aynı görüş alanında fotosferde görülen ve fibrillerle bağlantılı olduğu anlaşılan fotosferik ince yapılar da ele alınmıştır.

Öncelikle fotosferdeki yapıların izlenmesinde kullanılan Yerel Bağlantı Takibi yöntemiyle, görüş alanı içerisinde geniş bant taramalarında gözlenen granüllerin ufuksal hız değerleri elde edilmiştir. Title ve diğ. (1987) sakin Güneş'te ufuksal hızların 1 kms^{-1} ye kadar çıktığını, ortalama hızın ise 0.4 kms^{-1} olduğunu, aktif bölgelerde ise ufuksal hızın çok daha küçük (0.1 kms^{-1}) olduğunu belirtmiştir. Tez çalışmamızda bulunan ufuksal hızların en büyük değeri 0.68 kms^{-1} ve ortalama değeri 0.25 kms^{-1} dir. Yerel Bağlantı Takibi yöntemiyle oluşturulan vektörel hız haritası (Şekil 5.1) incelendiğinde dairesel çizgilerle çerçevelenen 4 - 5 granüllük alanı kaplayan hücreler görülmektedir. Bu hücreler November ve diğ. (1981)'nin dile getirdiği 5 - 10 Mm büyüklüğündeki

mezogranüller olarak tanımlanmaktadır (Wang ve diğ., 1995; De Rosa ve Toomre, 1998).



Şekil 5.1: Ortalama vektörel hız haritası.

Fotosferdeki parlak noktaların hızlarını belirleyebilmek için görsel takip yapılmış ve evrim özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre bir parlak noktanın şeklinin, izlediği yolun ve diğer parlak noktalarla etkileşiminin, civarındaki granüllerin konvektif hareketlerine son derece bağlı olduğu görülmüştür. Parlak noktalar ile ilgili şunlar gözlenmiştir:

- Granüller arası bölgede parlak noktaların doğrusal, dairesel ya da düzensiz hareketi vardır. Ancak hareketler bir granülün çapından daha küçük bir alanda olmaktadır.
- Bir veya birkaç tane parlak nokta birleşebilmekte ve parlaklıkta artış olmaktadır.
- Parlak bir nokta tek olarak izlenirken, ilerleyen zamanda iki ayrı bileşene ayrılabilmektedir.

Bu çalışmada izlenen parlak noktaların ortalama yatay hızı 1.7 kms^{-1} dir. Muller ve diğ. (1994), belirledikleri 29 tane ağ yapı parlak noktanın öz hareketleri için 1.4 kms^{-1} lik ortalama hız değeri ölçerken, Berger ve Title (1996), Fraunhofer G bandında aktif bölgede gözledikleri parlak noktaların hızlarını 1 - 5 kms^{-1} arasında bulmuşlardır. Berger ve diğ. (1998) ile Möstl ve diğ. (2006), G bandında yapılan gözlemlerinde, manyetik parlak noktalar için hesapladıkları ortalama hız değeri sırasıyla 1.45 kms^{-1} ve 1.11 kms^{-1} dir. Bu çalışmada bulunan ortalama hız değeri bu sonuçlarla uyumluyken karekök

ortalama (rms) hızı, sırasıyla 0.89 kms^{-1} ve 0.85 kms^{-1} olarak bulan Nisenson ve diğ. (2003) ile Bovelet ve Wiehr (2003)'in çalışmalarından daha büyüktür.

5.1. YARI AKTİF BÖLGEDE GÖZLENEN İNCE YAPILAR: FİBRİLLER

Bu tez çalışması çerçevesinde incelenen fibriller, süperpenumbral fibriller yani bir leke grubunda zıt iki kutbu birleştiren uzun (20-40″) fibriller gibi ince, koyu, daha durağan kromosferik yapılardan farklı olarak, daha dinamik (hızlı değişim gösteren), boyutları ile birlikte yaşam süreleri de kısa olan koyu ipliksi yapılardır. Fibriller, morfolojilerine dair özellikleri belirleyebilmek için tek tek incelenmek istenmiş ancak zaman zaman görüş kalitesinin düşmesi ve fibrillerin birbirine yakın hareketleri, iç içe girmeleri gibi dinamik hareketlerinden dolayı takipleri zor olmuştur. Buna rağmen nispeten ayırt edilebilir 12 fibril için ortalama uzunluk 46.43 piksel (≈ 4″.73 ≈ 3433 km) olarak elde edilmiştir. Yaşam süreleri ise 1.63 ile 8.16 dakika arasında değişmektedir. De Pontieu ve diğ. (2007) dinamik fibriller üzerine yaptıkları çalışmada bu yapıların uzunluklarının zamana göre değişiminin parabol bir özellik gösterdiğini tespit etmiştir. Ancak burada izlenebilen fibrillerin hepsinde yukarıda verilen çalışmadaki gibi bir parabolik davranış gözlenmemiştir. Yani fibrillerin uzunluklarında her zaman düzgün bir artış ve sonra bir azalış olmamaktadır.

Merkezî hız görüntülerinde elde edilen görüş doğrultusundaki hızların bütün görüş alanı ve zaman serisi üzerinden mutlak değer ortalamaları 1.56 (± 1.38) kms^{-1} dir. Merkezî hız görüntülerinde, Bulut Modeli'ndeki ölçüte göre belirlenen piksellere ait hız değerlerinin mutlak değer ortalaması yaklaşık 2 kms^{-1} iken bulut hızlarının mutlak değer ortalaması 5.4 kms^{-1} dir. Langangen ve diğ. (2008)'nin dinamik fibriller üzerine yaptıkları çalışmada farklı bir yöntemle (mavi ve kırmızı kanatta ± 300 mÅ uzaktaki şiddet değerlerinin farkının oranıyla hesaplatılan Dopplergamlara dayalı yöntemle) buldukları Doppler hızların ortalaması 6.4 kms^{-1} dir. Merkezî hızlar ile merkezî şiddet değerleri arasında karşılaştırmanın yapıldığı Şekil 4.5'e göre ortalama şiddetten daha küçük olan şiddet değerleri için –ki bu değerlere sahip pikseller fibrillere ait kabul edilebilir- şiddetle hız arasında belirgin bir bağlantı görülmemektedir. Bununla birlikte şiddet değerlerinin büyük olduğu yerlerde hızların küçük olduğu anlaşılmaktadır. Şiddet değeri küçüldükçe yani daha koyu yapılara doğru hız dağılımı da artmaktadır. Öte yandan

bütün görüş alanında ve zaman serisinde 10 kms^{-1} den büyük hız değerlerinin, şiddeti ortalama şiddetin 0.9 katından daha düşük olan koyu yapılara karşılık geldiği, yine bu şekilden açıkça görülebilmektedir. Merkezî hız görüntüleri dışında Lambdametre Yöntemi'yle farklı eş şiddet doğruları için de hız görüntüleri oluşturulmuştur. Şekil 4.21'de görüldüğü gibi farklı tabakalarda gözlenen hızlar arasında bir uyum vardır. Bir fibril üzerinde alınan çeşitli noktalarda Doppler hızlarının büyüklüğüne bakıldığında, tek bir yükseklikte fibril boyunca maddenin farklı hızlarla hareket ettiği gözlenmiştir. Bir noktada farklı tabakalarda hızların yönleri incelendiğinde ise büyüklükler farklı olsa da yönlerinin çoğunlukla aynı olduğu görülmektedir.

Kromosferik ince yapıların oluşumuyla ilgili önerilen bir mekanizma manyetik yeniden birleşmedir. Tziotziou ve diğ. (2003) çalışmasında sakin bölgede gözlenen ince yapıların iki ucundaki zıt yönlü madde hareketi ve bunu takip eden aşağı yöndeki hareketin manyetik yeniden birleşmenin bir göstergesi olduğunu dile getirmiştir. Ancak bu çalışmamızda bir fibril üzerinde alınan bir hat boyunca görüş doğrultusundaki hızlar göz önüne alındığında böyle bir madde hareketi tespit edilememiştir.

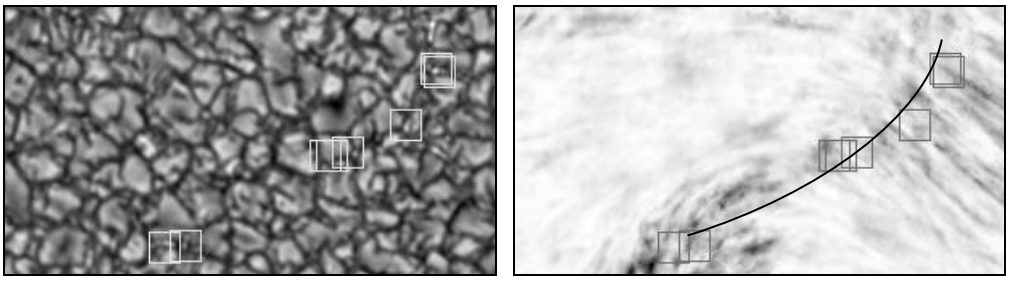
5.1.1. Fibrillere Ait Periyodik Özellikler

Bu çalışmada incelediğimiz yapıların periyodik davranışlarını ortaya çıkarmak için Fourier analizi ile güç spektrumları oluşturulmuş ve bunlar 1.0 - 1.6 mHz'lik evrimleşme frekans aralığı, 2.4 - 4 mHz'lik sönümlenme frekans aralığı ve 5.2 - 8 mHz'lik yüksek frekans aralığında ortalamaları alınarak incelenmiştir. Farklı eş şiddet doğruları için oluşturulan hız görüntülerine ait üç farklı frekans aralığındaki ortalama güç spektrumları Şekil 4.22'de verilmektedir. Buna göre 1.0 - 1.6 mHz'lik evrimleşme frekans aralığına karşılık gelen uzun periyotlar için, merkezî hız görüntülerinde gücün özellikle Şekil 4.15'te gösterilen A bölgesinde büyük olduğu anlaşılmaktadır. Daha alt atmosferik tabakalara gidildikçe uzun periyotlar B bölgesinde de kuvvetlenmektedir.

2.4 - 4 mHz'lik frekans aralığında güç, bütün eş şiddet doğruları için verilen hız görüntülerinin güç spektrumlarında, A ve B bölgesinde büyüktür. Bu aralıktaki güç spektrumunda gücün büyük olduğu yerler kromosferdeki ince yapıların bulunduğu bölgelerle çakışmaktadır. B bölgesinde gücün özellikle fibrillerin ayak noktasına

karşılık gelen ve beyaz ışık görüntülerinde yer alan beyaz parlak noktaların bulunduğu yerlerde belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 5.2'de gösterildiği gibi fotosferde parlak noktaların diziliminin oluşturduğu hattın bu aralıktaki güç spektrumunda da seçilmesi bu hattın bir süpergranül sınırı olabileceğini akla getirmektedir.

5.2 - 8 mHz'lik frekans aralığında ise merkezî hız görüntülerde hemen hemen her yerde mevcut olan gücün, daha alt tabakalara doğru gittikçe zayıfladığı görülmektedir. Bu, 3 dakikalık periyotlara karşılık gelen söz konusu frekans aralığındaki güç için beklenen bir durumdur. 2.4 - 4 mHz'lik frekans aralığına karşılık gelen 5 dakikalık salınımlar fotosferde baskındır. Bununla birlikte burada verilen güç spektrumlarında özellikle fibrillerin bulunduğu bölgede 5 dakikalık periyotlar gözlenmektedir. Son yıllardaki birkaç çalışmada (Krijger ve diğ., 2001; De Moortel ve diğ., 2002; De Pontieu ve diğ., 2003; Centeno ve diğ., 2006; Vecchio ve diğ., 2007) Güneş'in kromosfer ve korona tabakasında 5 dakikalık salınımların tespit edildiği bildirilmiştir. Güneş lekelerinin dış atmosferik bölgelerindeki ve benzer şekilde ağ yapı içindeki salınımlar 3 dakikalık periyotlar gösterirken bu 5 dakikalık salınımlar daha çok faküler ve ağyapı alanlarında belirlenmiştir. 3 dakikadan daha uzun ses dalgaları için bir filtre gibi davranan kromosferde 5 dakikalık salınımların nasıl var olduğu hâlâ araştırma konusudur. De Pontieu ve diğ. (2007) bir plaj alanı kenarında gözledikleri aktif bölge fibrillerinde 5 dakikalık salınımlar tespit etmişler ve eğik manyetik alanların sönümleme frekansını düşürerek kromosferde yayılmasına izin verdiğini belirtmişlerdir. McAteer ve diğ. (2002) ağyapı parlak noktalarında 4 - 15 dakikalık (1 - 4 mHz) uzun periyotlu salınımlar bularak, bu dalgaların manyetoses ya da manyetoçekim dalga modları (biçemleri) olabileceğini, Jefferies ve diğ. (2006) de geniş konvektif hücrelerin (süpergranül) sınırlarındaki eğimli manyetik alan çizgilerinin uzun periyotlu manyetoses dalgaların kromosferde yayılımını sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak gerek dinamik fibrillerde gerekse sakin Güneş'te süpergranül sınırlarında uzun periyotlu salınımların gözlenmesi, sönümlenme periyodunun manyetik alanın yüzey normaliyle yaptığı açı ile artmasına bağlanmaktadır. Buna göre bu tez çalışmasında merkezî hızlara ait güç spektrumunda, yay biçimli fibrillerin ortaya çıktığı A bölgesinde belirlenen 10 dakikadan uzun periyotlara ait güç ile daha düz olduğu gözlenen fibrillerin bulunduğu B bölgesindeki 5 dakikalık güç manyetik alanın eğimi ile açıklanabilir.



Şekil 5.2: (Solda) yedinci taramaya ait beyaz ışık görüntüsü ve üzerinde parlak noktaların izlendiği küçük kare alanlar, (sağda) merkezî hızın 2.4 - 4 mHz'lik frekans aralığındaki ortalama güç spektrumu.

5.1.2. Fibrillere Ait Fiziksel Özellikler

Kromosferde gözlenen yapılara ait Doppler hızlarının hesaplanmasında Lambdametre Yöntemi kullanıldığı gibi Bulut Modeli ile de görüş doğrultusundaki hızlar elde edilmektedir. Bilindiği gibi bir tayf çizgisinin profilinin oluşumu sıcaklık, hız, kimyasal kompozisyon, basınç gibi parametrelere bağlıdır. Bulut Modeli ile tersinir bir şekilde, gözlenen tayf çizgisinin profillerinden Doppler hızların yanı sıra bu parametreler de elde edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmanın inceleme konusu olan fibriller, geniş tabanlı, merkezî şiddeti, ortalama çizgi profillerine göre daha düşük profil gösteren (bkz. Şekil 4.13) ve bu bakımdan Bulut Modeli'nin uygulanmasına uygun yapılardır. Heinzel ve Schmieder (1994), gaz basıncının 0.5 dyn cm^{-2} den küçük olması durumunda kaynak fonksiyonunun sabit bir fonksiyon olarak kabul edildiği Bulut Modeli'nin tutarlı sonuçlar verebileceğini belirtmiştir. Burada bulduğumuz ve diğer parametrelerle birlikte Bulgular bölümünde verdiğimiz basınç değerlerinin bu koşulu sağladığını göstermektedir. Dolayısıyla Bulut Modeli bu çalışmada kullanılan verilere uygulanabilir. Bulut Modeli'yle elde edilen dört parametrenin Şekil 4.25'teki histogramları incelendiğinde, sıfır civarında tepenin oluştuğu hız histogramında -24 ve +24 kms^{-1} arasında simetrik bir dağılım olduğu ve negatif - pozitif hız değerlerinden sırasıyla hem aşağı doğru hem de yukarı doğru madde hareketlerinin olduğu görülmektedir. Optik derinlik için verilen histogramda, değerler 0 ile 4 arasında değişmektedir. 0.8 civarındaki tepe ve 1.19'luk ortalama değer, yapıların çoğunlukla optik olarak ince olduğunu göstermektedir. Kaynak fonksiyonunun histogramında 0.14 civarında oluşan tepe de optikçe ince sonucunu desteklemektedir

(Alissandrakis ve diğ., 1990). Doppler genişliği dağılımında ise tepe, 0.43 Å civarındadır. Doppler genişliğinin 0.41 Å'luk ortalama değerini kullanarak mikrotürbülans hızının 10 kms^{-1} ve 15 kms^{-1} olması durumunda bulunan sıcaklık değerleri sırasıyla 15183 K ve 7607 K'dir. Burada mikrotürbülans hızının önemi görülmektedir. Bulut parametrelerinden yola çıkarak yapılara ait, ikinci enerji seviyesindeki hidrojenlerin sayı yoğunluğu (N_2), elektron sayı yoğunluğu (N_e), hidrojenin toplam parçacık sayı yoğunluğu (N_H), gaz basıncı (P), toplam kolon kütlesi (M) ve kütle yoğunluğu (ρ) gibi parametreler de hesaplanmıştır. Tablo 5.1'de Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)'nin, aktif bir bölgede gözlenen, 590 km kalınlığındaki bir surge için elde ettikleri Bulut parametreleri ile bu çalışmada bulunan değerler verilmektedir. Her iki çalışmada hesaplarda kullanılan mikrotürbülans hızı 10 kms^{-1} dir.

Tablo 5.1: Koyu kromosferik yapılara ait hesaplanan fiziksel parametrelerin ortalama değerlerinin Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)'nin bulduğu sonuçlarla karşılaştırılması

Parametre	S	τ_0	$\Delta\lambda_D$ (Å)	υ_{LOS} (kms^{-1})
Bu çalışma	0.13	1.19	0.41	5.4
Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)	0.154	1.05	0.34	11.7
Parametre	T (K)	N_2 (cm^{-3})	N_e (cm^{-3})	N_H (cm^{-3})
Bu çalışma	1.7×10^4	5.1×10^4	6.8×10^{10}	1.1×10^{11}
Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)	1.51×10^4	4.5×10^4	6.8×10^{10}	1.1×10^{11}
Parametre	P ($dyn\cdot cm^{-2}$)	M ($gr\cdot cm^{-2}$)	ρ ($gr\cdot cm^{-3}$)	x_H
Bu çalışma	0.46	1.7×10^{-5}	2.4×10^{-13}	0.64
Sánchez-Andrade Nuño ve diğ. (2008)	0.38	1.39×10^{-4}	1.3×10^{-13}	0.64

Bulut Modeli'nin aktif bölgelerdeki yapılara uygulandığı bir diğer çalışma Alissandrakis ve diğ. (1990)'ne aittir. Çift kutuplu Güneş leke gruplarında ortaya çıkan yay filamentler ve süperpenumbral fibriller için Bulut parametrelerinin hesaplandığı bu çalışmada, τ_0 ve $\Delta\lambda_D$'nin ortalama değerleri kullanılarak N_2d çarpımı için buldukları

değerler sırasıyla 5.2×10^{12} ve 3.7×10^{12} cm^{-2} dir. Tez çalışmasının konusu olan fibriller için bulunan değerlerin ortalaması verilen bu sonuçlarla uyumludur (bkz. Tablo 5.2).

Tablo 5.2: Bu çalışmada ve Alissandrakis ve diğ. (1990)'nin çalışmasında bulunan Bulut Modeli parametrelerine ait ortalama değerler

Parametre	S	τ_0	$\Delta\lambda_D$ **(Å)**	υ_{LOS} **(kms^{-1})**	$N_2 d$ **(cm^{-2})**
Bu çalışma	0.13	1.19	0.41	5.4	3.6×10^{12}
Alissandrakis ve diğ. (1990) (Yay filament sistemleri)	152	1.30	0.54	-3.4	5.2×10^{12}
Alissandrakis ve diğ. (1990) (Süperpenumbral fibriller)	141	1.55	0.32	-2.3	3.7×10^{12}

Sonuç olarak bu tez çalışması ile yüksek çözünürlüklü orijinal Güneş gözlemleri kullanılarak, Güneş atmosferinin farklı tabakalarında görülen ince yapıların morfolojik ve dinamik özellikleri tespit edilmiştir. Özellikle son yıllarda, kromosferdeki dinamik fibril olarak isimlendirilen yapıların uzunluk değişimleri, öz hızları ve bölgesel farklılıkları gibi özelliklerini belirlemek üzere yapılan araştırmalara (Hansteen ve diğ. 2006; De Pontieu ve diğ., 2007; Langangen ve diğ., 2008; Pietarila ve diğ., 2009) ek olarak bu çalışma ile bunların sıcaklık basınç, sayı yoğunlukları, kütle vb. fiziksel özellikleri de elde edilmiştir. Ayrıca bu yapıların morfolojik ve periyodik özellikleri ortaya çıkarılmaya ve bu arada aynı görüş alanının daha alt atmosfer tabakalarında gözlenen yapılara dair özellikler de belirlenmeye çalışılmıştır. Literatürde dinamik fibriller üzerine gerçekleştirilen bu incelemelerle, bu yapıların oluşumunda sorumlu mekanizmanın fotosferik salınımların eğimli manyetik akı tüpleriyle kromosfere sızması sonucu meydana gelen şok dalgaları olduğu sonucuna varılmaktadır. Fibrillerin öz hareketlerinden yola çıkılarak ulaşılan bu sonuç, çalışmamızda fibrillerin bulunduğu bölgede gözlenen uzun periyotları açıklamaktadır.

KAYNAKLAR

AL, N., BENDLIN, HIRZBERGER, C., J., KNEER, F., TRUJILLO BUENO, J., 2004, Dynamics of an enhanced network region observed in H*α*, *Astronomy and Astrophysics*, 418, 1131

ALISSANDRAKIS, C. E., TSIROPOULA, G., MEIN, P., 1990, Physical parameters of solar H*α* absorption features derived with the cloud model, *Astronomy and Astrophysics*, 230, 200

ASPLUND, M., GREVESSE, N., SAUVAL, A. J., SCOTT, P., 2009, The Chemical Composition of the Sun, Annual Review of Astronomy & Astrophysics, 47, 481-522

ATHAY, R. G., WHITE, O. R., 1978, Chromospheric and coronal heating by sound waves, *Astrophysical Journal*, 226, 1135-1139

BALTHASAR, H., VON DER LÜHE, O., KNEER, F., STAUDE, J., VOLKMER, R., BERKEFELD, T., CALIGARI, P., COLLADOS, M., HALBGEWACHS, C., HEIDECKE, F., and 10 coauthors, 2007, GREGOR: the New German Solar Telescope, *ASP Conference Series*, 368, 605

BECKERS, J. M., 1964, Ph.D. Thesis, Utrecht University

BENDLIN, C., VOLKMER, R., KNEER, F., 1992, A new instrument for high resolution, two-dimensional solar spectroscopy, *Astronomy and Astrophysics*, 257, 817

BENDLIN, C., VOLKMER, R., 1993, Results from two-dimensional spectroscopic observations of solar granulation with a Fabry-Perot interferometer, *Astronomy and Astrophysics*, 278, 601

BENDLIN, C., VOLKMER, R., 1995, The Two-dimensional spectrometer in the German Vacuum Tower Telescope/Tenerife. From observations to results, *Astronomy and Astrophysics*, 112, 371

BERGER, T. E. SCHRIJVER, C. J. SHINE, R. A. TARBELL, T. D. TITLE, A. M. SCHARMER, G., 1995, New observations of subarcsecond photospheric bright points, *Astrophysical Journal*, 454, 531

BERGER, T. E., TITLE, A. M., 1996, On the dynamics of small- scale solar magnetic elements, *Astrophysical Journal*, 463, 365

BERGER,T. E., LÖFDAHL, M.G., SHINE, R. S., ALAN, M., TITLE, A.M., 1998, Measurements of solar magnetic element motion from high-resolution filtergrams, *The Astrophysical Journal*, 495, 973

BHATNAGAR, A., LIVINGSTON, W. C., 2005, *Fundamentals of Solar Astronomy*, World Scientific, 981-238-244-5

BOSTANCI, Z. F., 2004, Güneş gözlemlerinde iki boyutlu spekl spektroskopi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

BOVELET, B., WIEHR, E., 2003, Dynamics of the solar active region finestructure, *Astronomy and Astrophysics*, 412, 249

BRAY, R. J.,1974, High-resolution photography of the solar chromosphere. XIII - H alpha contrast profiles of sunspot fibrils, *Solar Physics*, 38, 377-388

BRAY, R. J., LOUGHHEAD, R. E., 1974, *The Solar Chromosphere*, Chapman and Hall, Great Britain, 0412107309

CAUZZI, G., REARDON, K. P., UITENBROEK, H., CAVALLINI, F., FALCHI, A., FALCIANI, R., JANSSEN, K., RIMMELE, T., VECCHIO, A., WÖGER, F., 2008, The solar chromosphere at high resolution with IBIS. I. New insights from the Ca II 854.2 nm line, *Astronomy and Astrophysics*, 480, 515

CENTENO, R., COLLADOS, M., TRUJILLO BUENO, J., 2006, Oscillations and wave propagation in different solar magnetic features, *ASP Conference Series*, 358, 465

CHOUDHURI, A. R., DIKPATI, M., BANERJEE, D., 1993, Energy transport to the solar corona by magnetic kink waves, *Astrophysical Journal*, 413, 811

DE MOORTEL, I., IRELAND, J., HOOD, A. W., WALSH, R. W., 2002, The detection of 3 & 5 min period oscillations in coronal loops, *Astronomy and Astrophysics*, 387, 13

DE PONTIEU, B., ERDÉLYI, R., DE WIJN, A. G., 2003, Intensity oscillations in the upper transition region above active region plage, *The Astrophysical Journal*, 595, 63

DE PONTIEU, B., HANSTEEN, V. H., ROUPPE VAN DER VOORT, L., VAN NOORT, M., CARLSSON, M., 2007, High-resolution observations and modeling of dynamic fibrils, *The Astrophysical Journal*, 655, 624

DE ROSA, M. L., TOOMRE, J., 1998, Correlation tracking of Mmesogranules from SOI-MDI Doppler images to reveal supergranular flow fields, *ESASP*, 418, 753

DE WIJN, A. G., DE PONTIEU, B., 2006, Dynamic fibrils in Hα and C IV, *Astronomy and Astrophysics*, 460, 309-316

DUNN, R. B., ZIRKER, J. B., 1973, The solar filigree, *Solar Physics*, 33, 281

FOUKAL, P., 1971, Morphological relationships in the chromospheric Hα fine structure, *Solar Physics*, 19, 59

GÜLTEKİN, A., 2004, Beyaz ışık güneş gözlemlerine spekl yönteminin uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

HANSTEEN, V. H., DE PONTIEU, B., ROUPPE VAN DER VOORT, L., VAN NOORT, M., CARLSSON, M., 2006, Dynamic fibrils are driven by magnetoacoustic shocks, *The Astrophysical Journal*, 647, 73-76

HEGGLAND, L., DE PONTIEU, B., HANSTEEN, V. H., 2007, Numerical simulations of shock wave-driven jets, *The Astrophysical Journal*, 666, 1277

HEINZEL, P., SCHMIEDER, B., 1994, Chromospheric fine structure: Black & white mottles, *Astronomy and Astrophysics*, 282, 939

JEFFERIES, S. M., MCINTOSH, S. W., ARMSTRONG, J. D., 2006, Magnetoacoustic portals and the basal heating of the solar chromosphere, *The Astrophysical Journal*, 648, 151

KELLER, C. U., VON DER LÜHE, O., 1992, Solar speckle polarimetry, *Astronomy and Astrophysics*, 261, 321

KOSCHINSKY, M., KNEER, F., HIRZBERGER, J., 2001, Speckle spectro-polarimetry of solar magnetic structures, *Astronomy and Astrophysics*, 365, 588

KRIJGER, J. M., RUTTEN, R. J., LITES, B. W., STRAUS,TH., SHINE,R. A., TARBELL, T.D., 2001, Dynamics of the solar chromosphere. III. Ultraviolet brightness oscillations from TRACE, *Astronomy and Astrophysics*, 379, 1052

LANGANGEN, Ø. ROUPPE VAN DER VOORT, L. , LIN, Y., 2008, Measurements of plasma motions in dynamic fibrils, *The Astrophysical Journal*, 673, 1201

LOUGHHEAD, R. E., BRAY, R. J., WANG, J. L., 1985, High-resolution photography of the solar chromosphere. XXI Determination of the physical conditions in an H-alpha active-region loop, *Astrophysical Journal*, 294, 697-701

MARSH, K. A., 1976, The lifetime and evolution of fibrils, *Solar Physics*, 50, 37

MCATEER, R. T. J., GALLAGHER, P. T., WILLIAMS, D. R., MATHIOUDAKIS, M., PHILLIPS, K. J. H., KEENAN, F. P., 2002, Long-period chromospheric oscillations in network bright points, *The Astrophysical Journal*, 567, 165

MEHLTRETTER, J. P., 1974, Observations of photospheric faculae at the center of the solar disk, *Solar Physics*, 38, 43

MEIN, N., SCHMIEDER, B., 1981, Mechanical flux in the solar chromosphere. III - Variation of the mechanical flux, *Astronomy and Astrophysics*, 97, 310

MÖSTL, C., HANSLMEIER, A., SOBOTKA, M., PUSCHMANN, K., MUTHSAM, H. J., 2006, Dynamics of magnetic bright points in an active region, *Solar Physics*, 237, 13

MULLER, R., ROUDIER, TH., 1984, Variability of the quiet photospheric network, *Solar Physics*, 94, 33

MULLER, R., ROUDIER, TH., VIGNEAU, J., AUFFRET, H., 1994, The proper motion of network bright points and the heating of the solar corona, *Astronomy and Astrophysics*, 283, 232

NISENSON, P., VAN BALLEGOOIJEN, A. A., DE WIJN, A. G., SÜTERLIN, P., 2003, Motions of isolated G-band bright points in the solar Photosphere, *The Astrophysical Journal*, 587, 458

NOVEMBER, L. J., TOOMRE, J., GEBBIE, K. B., SIMON, G. W., 1981, The detection of mesogranulation on the Sun, *Astrophysical Journal*, 245, 123

NOVEMBER, L. J., 1986, Measurement of geometric distortion in a turbulent atmosphere, Applied Optics, 25, 392

NOVEMBER, L.J., SIMON, G. W., 1988, Precise proper-motion measurement of solar granulation, *Astrophysical Journal*, 333, 427

PATSOURAKOS, S., GOUTTEBROZE, P., VOURLIDAS, A., 2007, The quiet sun network at subarcsecond resolution: VAULT observations and radiative transfer modeling of cool loops, *The Astrophysical Journal*, 664, 1214-1220.

PAXMAN, R. G., SELDIN, J. H., LOEFDAHL, M. G., SCHARMER, G. B., KELLER, C.U., 1996, Evaluation of phase-diversity techniques for solar-image restoration, *Astrophysical Journal*, 466, 1087

PIETARILA, A., SOLANKI, S., HIRZBERGER, J., ZAKHAROV, V., 2008, Fibrils in Ca II K, *12th European Solar Physics Meeting, 8-12 September 2008, Freiburg, Germany*, Online at http://espm.kis.uni-freiburg.de, p 2.51

PIETARILA, A., HIRZBERGER, J., ZAKHAROV, V., SOLANKI, S. K., 2009, Bright fibrils in Ca II K, *Astronomy and Astrophysics*, 502, 647

PIKEL'NER, S. B., 1971, Nature of the fine structure of the middle chromosphere, *Solar Physics*, 20, 286-294

PUSCHMANN, K. G., KNEER, F., SEELEMANN, T., WITTMANN, A. D., 2006, The new Göttingen Fabry-Pérot spectrometer for two-dimensional observations of the Sun, *Astronomy and Astrophysics*, 451, 1151-1158

ROUPPE VAN DER VOORT, L. H. M., HANSTEEN, V. H., CARLSSON, M., FOSSUM, A., MARTHINUSSEN, E. VAN NOORT, M. J., BERGER, T. E.,

2005, Solar magnetic elements at 0.1 arcsec resolution. II. Dynamical evolution, *Astronomy and Astrophysics*, 435, 327-337

ROUPPE VAN DER VOORT, L. H. M., DE PONTIEU, B., HANSTEEN, V. H., CARLSSON, M., VAN NOORT, M., 2007, Magnetoacoustic shocks as a driver of quiet-sun mottles, *The Astrophysical Journal*, 660, 169

SÁNCHEZ-ANDRADE NUÑO, B., BELLO GONZÁLEZ, N., BLANCO RODRÍGUEZ, J., KNEER, F., PUSCHMANN, K. G., 2008, Fast events and waves in an active region of the Sun observed in Hα with high spatial resolution, *Astronomy and Astrophysics*, 486, 577

SOBOTKA, M., BRANDT, P. N., SIMON, G. W., 1999, Fine structure in sunspots. III. Penumbral grains, *Astronomy and Astrophysics*, 348, 621

SOLTAU, D., ACTON, D. S., KENTISCHER, TH., ROSER, M., SCHMIDT, W., STIX, M., VON DER LUHE, O., 1997, Adaptive optics at the German VTT on Tenerife, *ASP Conference Series*, 118, 351

SPRUIT, H. C., 1976, Pressure equilibrium and energy balance of small photospheric fluxtubes, *Solar Physics*, 50, 269

SPRUIT, H. C., 1981, Motion of magnetic flux tubes in the solar convection zone and chromosphere, *Astronomy and Astrophysics*, 98, 155

STENFLO, J. O., HARVEY, J. W., 1985, Dependence of the properties of magnetic fluxtubes on area factor or amount of flux, *Solar Physics*, 95, 99

STERLING, A. C., HOLLWEG, J. V., 1989, A rebound shock mechanism for solar fibrils, *The Astrophysical Journal*, 343, 985

STERLING, A. C., 2000, Solar Spicules: A Review of recent models and targets for future observations, *Solar Physics*, 196, 79

STIX, M., 2002, The Sun: An Introduction, 2nd ed., Springer-Verlag, Germany, 3-540-42886-0

TITLE, A. M., TARBELL, T. D., ACTON, L., DUNCAN, D., FERGUSON, S. H., FINCH, M., FRANK, Z., KELLY, G., LINDGREN, R., MORRILL, M., 1987, First results on quiet and magnetic granulation from SOUP, NASCP2483, 55

TITLE, A. M., BERGER, T. E., 1996, Double-gaussian models of bright points or why bright points are usually dark, *Astrophysical Journal*, 463, 797

TRACE, 2010, İmages of the Sun taken by the Transition Region and Coronal Explorer, Locheed Martin Solar and Astrophysics Laboratory, http://trace.lmsal.com/POD/TRACEpodarchive6.html, [Ziyaret Tarihi: 10 Mayıs 2010].

TRITSCHLER, A., SCHMIDT, W., 2002, Sunspot photometry with phase diversity. I. Methods and global sunspot parameters, *Astronomy and Astrophysics*, 382, 1093

TSIROPOULA, G., 2000, Determination of the line-of-sight velocities in the dark penumbral fibrils, *New Astronomy*, 1, 6

TSIROPOULA, G., SCHMIEDER, B., 1997, Determination of physical parameters in dark mottles, *Astronomy and Astrophysics*, 324, 1183

TSIROPOULA, G., ALISSANDRAKIS, C. E., SCHMIEDER, B., 1993, The fine structure of a chromospheric rosette, *Astronomy and Astrophysics*, 271, 574

TZIOTZIOU, K., TSIROPOULA, G., MEIN, P., 2003, On the nature of the chromospheric fine structure. I. Dynamics of dark mottles and grains, *Astronomy and Astrophysics*, 402, 361-372

ULMSCHNEIDER, P., ZAEHRINGER, K., MUSIELAK, Z. E., 1991, Propagation of nonlinear longitudinal-transverse waves along magnetic flux tubes in the solar atmosphere. I - Adiabatic waves, *Astronomy and Astrophysics*, 241, 625

VAN BALLEGOOIJEN, A. A., NISENSON, P., NOYES, R. W., LÖFDAHL, M. G., STEIN, R. F., NORDLUND, Å., KRISHNAKUMAR, V.,1998, Dynamics of magnetic flux elements in the solar photosphere, *The Astrophysical Journal*, 509, 435

VAN NOORT, M., ROUPPE VAN DER VOORT, L., LÖFDAHL, M., 2006, Solar image restoration by use of multi-object multi-frame blind deconvolution, *ASP Conference Series*, 354, 55

VECCHIO, A., CAUZZI, G., REARDON, K. P., JANSSEN, K., RIMMELE, T., 2007, Solar atmospheric oscillations and the chromospheric magnetic topology, *Astronomy and Astrophysics*, 461, 1

VERNAZZA, J. E., AVRETT, E. H., LOESER, R., 1981, Structure of the solar chromosphere. III - Models of the EUV brightness components of the quiet-sun, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 45, 635

VON DER LUHE, O., DUNN, R. B., 1987, Solar granulation power spectra from speckle interferometry, *Astronomy and Astrophysics*, 177, 265

WANG, Y., NOYES, R. W., TARBELL, T. D., TITLE, A. M., 1995, Vorticity and divergence in the solar photosphere, *Astrophysical Journal*, 447, 419

WEIGELT, G. P., 1977, Modified astronomical speckle interferometry 'speckle masking', *Optics Communications*, 21, 55-59.

WIEHR, E., BOVELET, B., HIRZBERGER, J., 2004, Brightness and size of small-scale solar magnetic flux concentrations, *Astronomy and Astrophysics*, 422, L63-L66.

WÖGER, F., VON DER LÜHE, O., REARDON, K., 2008, Speckle interferometry with adaptive optics corrected solar data, *Astronomy and Astrophysics*, 488, 375

Yİ, Z., MOLOWNY-HORAS, R., 1995, Correlation tracking technique for measurement of transverse chromospheric motions, *Astronomy and Astrophysics*, 295,199

ÖZGEÇMİŞ

ASUMAN GÜLTEKİN

Doğum tarihi ve yeri **:** 09.04.1978- Kartal
Yabancı dil **:** İngilizce
e-posta **:** asumang@istanbul.edu.tr

Eğitim

2004 -	: Doktora,	İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2000 - 2004	: Yüksek Lisans	İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tez adı: "Beyaz Işık Güneş Gözlemlerine Spekl Yönteminin Uygulanması"
1995 - 1999	: Lisans	İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Uzay Bilimleri.
1991 - 1994	: Lise	Kartal Lisesi, Kartal – İstanbul.
1988 - 1991	: Ortaokul	Halit Armay İlköğretim Okulu, Küçükyalı - İstanbul
1983 - 1988	: İlkokul	Ahmet Rasim İlkokulu, Küçükyalı - İstanbul

Katıldığı Toplantılar

2010: XVII. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çukurova Üniversitesi, Adana, *sözlü bildiri*: "Kromosferde Hα Çizgisinde Gözlenen Fibrillere Ait Özellikler", A. Gültekin, N. Al Erdoğan.

2010: XVII. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çukurova Üniversitesi, Adana, *bildiri*: "İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Verilerinden İtibaren 22. ve 23. Çevrimlerin Karşılaştırmalı Analizi", Hikmet Çakmak, M. Başal, A. Gültekin, N. Al Erdoğan.

2010: “Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar” Sempozyumu-İstanbul, *bildiri*: “Kromosferik Yarı Aktif Bir Bölgede Gözlenen İnce Yapılardaki Plazma Hareketleri”, A. Gültekin.

2010: “Güneş ve Güneş Benzeri Yıldızlar” Sempozyumu-İstanbul, *bildiri*: “İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Verileriyle 23. Güneş Leke Çevriminin Ardından”, S. Bilir, M. Başal, H. Çakmak, K. Yelkenci, E. Yaz, N. Al, A. Gültekin.

2010: “Astrofizikte Manyetik ve Hidrodinamik Süreçler I. Çalıştayı”, Ege Üniversitesi, İzmir (dinleyici).

2009: 2009 Astronomi Yılında Türkiye'deki Astronomi Faaliyetlerinin Değerlendirilmesi (dinleyici).

2009: Eğitimde İyi Örnekler Konferansı, Sabancı Üniversitesi, İstanbul (dinleyici).

2008-2009: Bilim Eğitiminde Astronomi Çalıştayları, Sabancı Üniversitesi, İstanbul (katılımcı).

2008: 12th European Solar Physics Meeting, Freiburg, Almanya, *bildiri*: “Physical Parameters of a Rosette Observed in Hα”, N. Al Erdoğan, Z. F. Bostancı, A. Gültekin.

2008: XVI. Ulusal Astronomi Toplantısı, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, *bildiri*: “Hα Çizgisinde Gözlenen Kromosferik İnce Yapılara Ait Fiziksel Parametreler”, A. Gültekin, N. Al Erdoğan.

2006: Coimbra Güneş Fiziği Toplantısı: “Kromosferik Plazmaların Fiziği”, Coimbra, Portekiz, *bildiri*: “Küçük Bir Aktif Bölgenin İki Boyutlu H_alfa Gözlemi”, A. Gültekin, Z. F. Bostancı, N. Al Erdoğan.

2006: XV. Ulusal Astronomi Toplantısı, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, *sözlü bildiri*: “29 Mart 2006 Tam Güneş Tutulmasında Beyaz Işık Koronasının Yapısı

Ve Basıklığı.", Z.F. Bostancı, M.T. Özkan, N. Al Erdoğan, N.Oklay, A. Gültekin, A. Ökten, M.Başal, M. Kara.

2004: XIV. Ulusal Astronomi Toplantısı Kayseri, *sözlü bildiri:* "Beyaz Işık Güneş Gözlemlerine Spekl Yönteminin Uygulanması", A. Gültekin, A.Ökten.

2003: I. Temel Bilimler Yaz Okulu, 'Astronomide Matematik Yöntemler', İstanbul Kültür Üniversitesi- İstanbul (dinleyici).

2002: XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı, Antalya, *bildiri*: "Kromosferin Isıtma Mekanizmaları", A. Gültekin.

2001: Astronomi ve Uzay Bilimlerinde Yeni Gelişmeler, İstanbul Üniversitesi- İstanbul (dinleyici).

1998: Orta Öğretimde Temel Bilimler Sempozyumu: Astronomi: Matematik ve Fen Bilimlerinin Uygulama Alanı, Eyüboğlu Koleji, İstanbul (dinleyici).

1997: TÜBİTAK Ulusal Gözlemevinin Açılışı, Bakırlıtepe-Antalya (dinleyici).

Projeler

2010- : Proje adı: "İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Güneş Servisi Laboratuvarının Kurulumu", üye

2006-2007: Proje adı: "29 Mart 2006 Tam Güneş Tutulmasında Koronal Beyaz ışık, Polarizasyon Ve İnce Yapı Gözlemleri", üye.

1999-2000: Proje adı: "11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması Gözlemlerinde Kullanılacak Dört Aletin Çalışma Prensipleri", üye.

1999-1999: Proje adı: "Örnek Bir WEB Sitesi: Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü ve Gözlemevi ve Uygulama Araştırma Merkezi WEB Sayfası", üye.

Çalıştığı Kurumlar

2010-	:	İstanbul Üniversitesi
2007-2010	:	FMV Erenköy Özel Işık Okulları
1999-2001	:	TED İstanbul Koleji