

Fe I 5434.5 Å ve Fe I 6301.5 Å Fraunhofer Çizgi Profillerinin Merkez Kenar Değişimlerinin İncelenmesinin İlk Sonuçları

Asuman Gültekin Annak¹   Nuro! Al¹  Mevlana Başal¹  Adnan Ökten¹ 
Mustafa Türker Özkan¹  Michele Bianda² 

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, İstanbul 34119, Türkiye

² Instituto Ricerche Solari Locarno, Switzerland

Accepted: December 14, 2022. Revised: December 13, 2022. Received: November 18, 2022.

Özet

IRSOL Güneş Gözlemevi'nde kurulu Gregory-Coude Teleskobunun kullanıldığı gözlemlerde, sırasıyla 550 km ve 340 km olan merkezî oluşum yükseklikleri itibariyle (Kucera ve diğ. 1998) Güneş'in alt kromosferi ve orta-üst fotosferini temsil eden FeI 5434.5 Å ve FeI 6301.5 Å dalgalı Fraunhofer çizgilerini içeren dar bölgelerin şiddet spektrumları kaydedilmiştir. Giriş yarığı kuzey-güney doğrultusunda disk kenarından merkezine doğru 12 farklı μ pozisyonunda konumlandırılarak elde edilen 10 Å genişliğindeki bu spektrumlar yardımıyla, kara akım, düz alan ve süreklilik düzeltmeleri yapılarak spektral bölge şiddet ortalamalarına göre normalize edilmeleri sonrasında, spektral sürekliliklerinin, seçilen FeI absorpsiyon çizgi profillerinin merkezî şiddetlerinin, dalgalı kaymalarının ve bu çizgilerin asimetrisini temsilen bisektörlerinin merkez-kenar değişimleri incelenmiştir.

Abstract

In the observations performed by using the Gregory-Coude Telescope at the IRSOL Solar Observatory, the intensity spectra of the narrow regions containing the Fraunhofer lines at FeI 6301.5 Å and FeI 5434.5 Å that represent the middle-upper photosphere and the lower chromosphere with the formation height of the line core of 340 km and 550 km (Kucera ve diğ. 1998), respectively were recorded. With the help of these 10 Å wide spectra obtained by positioning the entrance slit in 12 different μ positions from the solar disk limb to the disk center in the north-south direction, after making dark current, flat field, and continuity corrections and normalizing according to the spectral range intensity averages, the observed center-to-limb variations of the spectral continuities, the central intensities of the selected FeI absorption line profiles, the wavelength shifts and the bisectors representing the asymmetries of these lines were investigated.

Anahtar Kelimeler: Sun:photosphere, line:profiles, convection, techniques: radial velocities

1 Giriş

Düzenli olarak sayıları artıp azalan güneş lekelerine de yataklık eden Güneş fotosferi, 10 dakika civarındaki ömürleriyle sürekli yenilenen konvektif hücrelerle kaplıdır. Granüller olarak isimlendirilen bu dinamik yapıların sıcak madde çıkışı ve yatay akışı sergileyen iç kısımları parlak, yükselerek yüzeysel akan maddenin enerji bırakımıyla bir miktar soğuyarak inişe geçtiği kenarları ise koyu görünür. Herhangi bir anda güneş yüzeyinde ortalama bir milyon adedinin bulunduğu granüller, hep birlikte granüler zemin olarak adlandırılan bir ağ yapı oluştururlar. Literatürde verilen büyüklük limitleri 210 km'den 2300 km'ye kadar çok geniş bir aralıkta değişmekle birlikte (Bhatnagar ve Livingston 2005), Güneş yüzeyinde kabaca Türkiye yüzölçümü büyüklüğünde bir alan kapladıkları üzere, ortalama uzanımları 1000 km dolaylarında (yaklaşık 1'') kabul edilir.

Güneş'in konveksiyon tabakasından kaynaklanarak kolonlar halinde fotosfere yükseldikleri düşünülen bu konvektif plazma hücreleri, yukarıda da bildirdiğimiz gibi, hem yüzeysel olarak hem de derinlikle süreklilik arz eden düzenli akış hareketleri sergilerler. Granüller, fotosferik zemindeki tezahürleriyle, söz konusu konvektif akış kolonlarının tepeleridirler. İçten dış

yükseldikçe soğuyup-seyrelerek enerji kaybeden bu kısmî iyonize gazlar, enerji kaybının ve seyrelmenin devamıyla önce fotosferde yatay akışa geçmekte (advection), sonra da granüller arası "oluklardan" kaynakları olan konveksiyon tabakasına doğru alçalmaktadırlar. Granüler materyalin bahsedilen yükselme, yatay akış ve alçalma hızları farklı çalışmalarda çok farklı verilebiliyor olsa da, yüksek uzaysal ayırmalı yakın dönem çalışmaları 2 km s⁻¹ civarındaki hızların üç akış örneğini de temsil edebileceğini göstermektedir (bkz. ör. Löhner-Böttcher ve diğ. 2019).

Değinen granüler plazma hareketlerinin spektral çizgiler yardımıyla belirlenebilmesi ve merkez-kenar değişimlerinin incelenmesi için yüksek ayırmalı fotosferik spektrumlara ihtiyaç vardır. Plazmanın konvektif hücrelerin merkezî kısımlarından yükselerek hücrelerarası alanlardan düşme hareketi granüler alan spektrumlarına Doppler kaymaları olarak yansıtacak ve spektral çizgi profillerinde asimetrisine sebep olacaktır.

Spektral çizgi profillerini analiz etmek için kullanılan araçlardan biri profil bisektörleridir. Bisektör tayini için çizgi profiline "mavi ve kırmızı taraflarındaki yarılarının eş şiddet seviyelerini birleştiren doğruların orta noktaları" dikkate alınır. Bu noktaların birleşiminden ibaret olan bisektör, asimetrik profiller için bir egridir. Güneş diskinin merkezinde alınan

* asumang@istanbul.edu.tr

fotosferik spektrumlardaki yeterince şiddetli çizgi profillerinin bisektör eğrileri, genellikle tipik bir "C" şekline sahip olma eğilimindedirler. Bu eğilim disk kenarına gidildikçe ortadan kalkar ve bisektörler giderek çeşitli eğimlere sahip çizgilere benzemeye başlarlar.

Çalışmamızda, alt kromosferi ve orta-üst fotosferi temsilen, merkezî oluşum yükseklikleri literatürde sırasıyla yaklaşık 550 ve 300 km olarak bildirilen (Vernazza ve diğ. 1981; Kucera ve diğ. 1998) FeI 5434.5 Å ve FeI 6301.5 Å dalgaboylu Fraunhofer çizgilerini içeren dar bölge spektrumlarının süreklilik şiddetlerinin, çizgi profillerinin ve profil bisektörlerinin merkez-kenar değişimleri incelenmektedir.

2 Gözlemler ve İndirgemeler

Bu makalede kullanılan gözlemsel veriler, güneş fiziği çalışmaları için İsviçre-Locarno'da kurulu bulunan Güneş Araştırma Enstitüsü (IRSOL) gözlemevindeki 45 cm açıklığa ve 24 m etkin odak uzaklığına sahip Gregory Coude Teleskobu yardımıyla elde edilmişlerdir. Giriş yarığı kuzey-güney hattında güneş diski kenarından merkezine doğru sırasıyla 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.60, 0.70, 0.80, 0.85, 0.90, 0.95 ve 1.00 olan 12 farklı μ pozisyonunda konumlandırılarak, sakin güneş bölgelerinin çalışılan Fraunhofer çizgilerini içeren 10 Å genişlikli şiddet spektrumları kaydedilmiştir. Birincil odakta diyaframla sınırlanan görüş alanının çapı 200'' kadardır. Gözlem pozisyonlarının $\mu = \cos\theta$ ile verilen ifadesinde "Güneş Merkezli Açılı" olarak isimlendirilen θ (Riethmüller 2013), güneş diskinde hedefi görüş doğrultusu ile hedefin yüzey normali arasındaki açıdır.

Gözlemlerde kara akım ve düz alan kayıtları da alınmış, spektrumların IDL programlama dili kullanılarak yapılan indirgemeleri aşamasında, sırasıyla; kara akım ve düz alan düzeltmeleri uygulanmış, apsis ekseninin ölçeklendirilmesi, sürekliliğin düzeltilmesi ve spektrumların normalizasyonu işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Daha güvenilir mukayeseler için spektrumları standardize etmek üzere normalizasyonlar yapılmış, bu maksatla farklı μ değerlerinde alınan ve ön indirgemeleri yapılan bölgesel spektrumların şiddetleri, "disk merkezinde alınan bölgesel spektrumun üç eşit parçasının en yüksek şiddet değerlerinin ortalamasıyla belirlenen" temsilî süreklilik şiddetlerine bölünmüştür (İlave gözlem ve indirgeme detayları için bkz. Ökten ve diğ. 2020).

3 Sonuçlar ve Değerlendirmeler

3.1 Bölgesel Şiddet Spektrumlarının Merkez-Kenar Değişimleri

Diğer temel bilimlerde olduğu gibi Astronomi alanında büyük öneme sahip spektral analizler yardımıyla, kaynağın kimyasal kompozisyonu, sıcaklığı, yoğunluğu, magnetik alanın varlığı ve şiddeti gibi pek çok önemli bilgi edinilmekten başka, bütünüyle bölge spektrumlarının ya da tek tek spektral çizgi profillerinin genişlik ve derinlik gibi parametrelerinin veya bisektörlerinin incelenmesi suretiyle, oluşum ortamlarındaki madde hareketleri hakkında da çok anlamlı çıkarımlarda bulunulabilmektedir. Çeşitli profil parametrelerinin merkez-kenar değişimlerinin incelenmesi, radyal hareketlere dair bu türlü dinamik analizlerde sıkça başvurulan yöntemlerden biridir.

Çalışmamıza konu FeI 5434.5 Å ve FeI 6301.5 Å Fraunhofer çizgileri, fotosferik dinamikleri en iyi şekilde temsil edebilmeleri için, korlarından kanatlarına mümkün olduğunca

geniş atmosfer aralıklarından katkılar taşıyacakları şekilde, sıralı eşdeğer genişlikleri yaklaşık 200 mÅ ve 150 mÅ olmak üzere (Mitton 1975), özellikle şiddetli olanlar arasından seçilmişlerdir. Çizgi profil parametrelerinin güvenilirliği için, kanatlarda da olsa, çok yakın ve kuvvetli blendler içermemelerine ayrıca dikkat edilmiştir.

3.1.1 FeI 5434.5 Å Çizgi Bölgesinin Şiddet Spektrumlarının Merkez-Kenar Değişimleri

Şekil 1'de, yatay eksene dalgaboyları dikey eksene ise disk merkezindeki süreklilik şiddetine bölünmüş şiddet değerleri yerleştirilmiş olarak, FeI 5434.5 Å çizgisini içeren 12 farklı μ pozisyonunda kaydedilerek indirgenmiş normalize bölge spektrumlarının merkez-kenar değişimleri gösterilmektedir. Değerleri grafiğin sağ tarafında belirtildiği üzere, farklı μ pozisyonlarında alınan spektrumlara farklı renkler atanmıştır.

Şekil 1'e göre, kenar kararmasının bir ölçüsü olarak, süreklilik şiddetinde merkezden kenara doğru olması beklenen azalma, 1.0'dan 0.34'e olmak üzere, FeI 5434.5 Å çizgisi için %66'ya ulaşmaktadır. Süreklilik şiddetindeki bu değişimin disk boyunca lineer (eşit adımlar için eşit miktarlarda) olmadığı görülmektedir. Söz konusu değişim, perspektif etkisinin giderek ortadan kalkması sayesinde adımların sıklaştırıldığı merkeze yakın bölgelere doğru genel olarak azalmakla birlikte, $\mu=0.9$ pozisyonunda alınan spektrumun bu düzeni bozduğu dikkati çekmektedir.

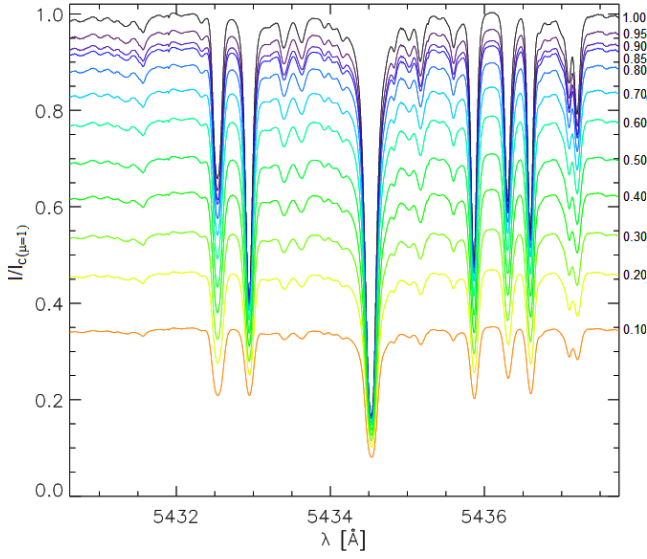
Spektrumlardaki profil korlarının merkezlerini birleştiren çizginin kusursuz bir doğru olmamasından anlaşılacağı üzere, merkezden kenara, farklı atmosferik derinliklerde çizgi profillerinin biçimlenmelerini etkileyen farklı dinamiklere işaretler, profil konumlanmalarında ve merkezî dalgaboylarında ölçeğin büyütülmesiyle belirginleşecek olan hafif değişimler gözlenmektedir. Merkezden kenara gidildikçe çizgi oluşumunu etkileyen dinamiklerin baskınlığının değiştiğine işaret eden bu durum, çizgi bazında devamlı verilecek olan bisektör eğrilerinden de takip edilebilir.

3.1.2 FeI 6301.5 Å Çizgi Bölgesinin Şiddet Spektrumlarının Merkez-Kenar Değişimleri

Aynı esaslarla hazırlanan Şekil 2'de, FeI 6301.5 Å çizgisini içeren 12 farklı μ pozisyonunda kaydedilerek indirgenmiş normalize bölge spektrumlarının merkez-kenar değişimleri gösterilmektedir.

Şekil 1'dekine benzer şekilde disk merkezinden disk kenarına doğru gidildikçe süreklilik şiddeti azalmaktadır. Beklenen bir azalma, FeI 5434.5 Å çizgisi için olandan bir miktar farklılaşarak, 1.0'dan 0.40'a olmak üzere, %60'lık bir değişimle onun %10 kadar altında kalmaktadır. Bir mukayese örneği olarak, Löhner-Böttcher ve diğ. (2018)'nin aynı çizgi için merkezden $\mu=0.3$ 'e tekabül eden yaklaşık 73° kenara kadar süreklilik şiddetinde gözledikleri azalma miktarı %45 kadardır. Şiddet alt sınırımız θ 'nin yaklaşık 84° kenar değerine tekabül eden $\mu=0.1$ 'de ve dolayısıyla çalışma aralığımız bahsedilen referanstakinden kayda değer derecede daha geniştir. Bu durum dikkate alındığında, %60'lık değişimin ilgili yayındakiyle uyumlu olduğu söylenmelidir.

Süreklilik şiddetindeki değişimlerin FeI 5434.5 Å çizgisinde benzer şekilde disk boyunca eşit adımlı olmamasının yanı sıra, bu çizgi bölgesi için çok daha dikkat çekici olan ve diğerinde görülmeyen bir başka özellik, süreklilik şiddet seviyelerinin sıralanmasıyla alakalıdır: Merkezden



Şekil 1. Fe I 5434.5 Å çizgisini içeren normalize bölgesel şiddet spektrumlarının 12 farklı μ pozisyonu için merkez-kenar değişimleri.

yaklaşık 18° açıklığa tekabül eden $\mu=0.95$ bölgesinin süreklilik şiddeti, sırasıyla yaklaşık 26° ve 32° açıklıklara karşılık gelen $\mu=0.90$ ve 0.85 bölgelerine ait süreklilik şiddetlerinin altında kalmaktadır. Bir başka deyişle, diğer çizgide sıralamanın düzenli gidişatını bozmakla sınırlı olan değişiklik, bu çizgide sıralamayı iki basamak birden değiştirecek dereceye varmıştır. Her iki çizgi bölgesinde de görülen sürekliliğin merkez-kenar değişiminin düzenli azalma eğilimini bozan bu durumun ayrıca açıklanması gerekir. Bir ön değerlendirme olarak, söz konusu değişimin perspektif etkisinin giderek ortadan kalktığı ve bu sayede μ adımlarının sıklaştırıldığı merkeze yakın bölgelerde olduğu vurgulanmalıdır.

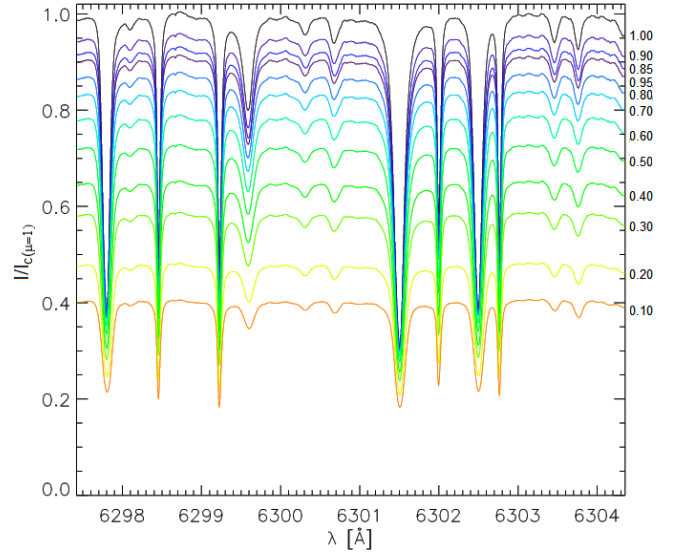
3.2 Bölgesel Çizgi Şiddet Profillerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Bölgesel spektrumların üç eşit parçalarına ait en yüksek şiddet değerlerinin ortalamasıyla elde edilen temsili süreklilik şiddetlerine bölünerek normalize edilmeleri sonrasında, çalışılan çizgi profillerinin 12 μ pozisyonundaki örneklerine IDL spline fonksiyonları uygulanmış, böylece profilleri oluşturan şiddet noktalarının sayıları yaklaşık 10 katlık bir artışla 5434.5 Å için 126'dan 1251'e, 6301.5 Å için ise 106'dan 1051'e çıkarılmıştır. Çok küçük farklarla çalışılıyor olması profil çiziminde böyle bir hassasiyet gerektirmektedir. Bu işleme istinaden "türetilmiş spektral çözünürlük" olarak adlandırdığımız spektral ayırma güçleri, her iki çizgi için sırasıyla, 0.713098 mÅ ve 0.693079 mÅ olarak elde edilmişlerdir.

3.2.1 Fe I 5434.5 Å Çizgisinin Bölgesel Şiddet Profillerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Tüm μ pozisyonları için dalgaboylarına karşı normalize şiddetlerle çizdirilen profillerin grup olarak dikkate alındıkları Şekil 3'te görüldüğü üzere, profil derinlikleri çizgi şiddetlerine yansıyacak şekilde merkezden kenara doğru belirgin olarak azalmaktadır. Bu çizgi için siyah çizimle temsil edilen merkezden ($\mu=1.0$) turuncu çizimle temsil edilen kenara ($\mu=0.1$) kadar derinlik değişimi %7 civarındadır.

Çizgi profili derinliklerinin disk kenarına gidildikçe artan



Şekil 2. Fe I 6301.5 Å çizgisini içeren normalize bölgesel şiddet spektrumlarının 12 farklı μ pozisyonu için merkez-kenar değişimleri.

ve düzenli olduğu gözlenen azalma eğilimi, profil genişliklerine aynı derecede yansımamaktadır. Bununla beraber, özellikle $\mu=0.1$ değeriyle kenara en yakın bölgeye tekabül eden turuncu çizim, daha düzensiz ve küçük miktarlarda da olsa, kordan kanatlara tüm profillerin merkez-kenar değişimlerine bir derece tabi olduğunun delilidir.

Grup profillerinin mukayeseli incelenmesinde dikkati çeken bir başka değişim, merkezî dalgaboylarında görülen ve yine kenara doğru artma eğiliminde olan kırmızıya kaymadır. Hız hesabında referans olarak incelenen çizgilerin disk merkez spektrumu profillerinin minimum şiddet noktaları dikkate alınmış, dalga boyu kaymaları ve tekabül eden radyal hızlar bu noktalara göre ölçülmüş ve hesaplanmıştır.

Buna göre, Fe I 5434.5 Å çizgisi için merkez-kenar değişimlerine işaretlerle, güneş diski ölçüm limitlerini temsil eden merkez ($\mu=1.0$) ve en kenar ($\mu=0.1$) bölge profillerinin minimum şiddet dalgaboyları arasındaki fark ($\Delta\lambda_{\mu i} = \lambda_{0.1} - \lambda_{1.0}$) kırmızıya kaymayı temsilen $+7.84$ mÅ ve buna tekabül eden radyal hız değeri ($V_{R0.1}$) $+433.016$ m s $^{-1}$ 'dir (bkz. Şekil 3 ve Çizelge 1).

Merkezî oluşum yüksekliği 550 km ve eşdeğer genişliği 200 mÅ olan bu şiddetli çizginin, muhtemelen tüm fotosferi içeren görece kalın bir atmosfer aralığından katkılar taşıdığı söylenebilir. Ölçtüğümüz dalgaboyu kaymasının ve bundan itibaren hesapladığımız radyal hızın açıklanmasında, öncelikle çokça çalışılan ve literatürde birkaç m s $^{-1}$ 'den birkaç yüz m s $^{-1}$ 'ye kadar çok geniş bir aralıkta değerler atfedilen büyük ölçekli meridyenel akışların dikkate alınması gerekir. Çünkü bulgumuzun izahı ancak bakış doğrultusunda disk kenarına doğru (yani radyal doğrultuda uzaklaşma yönünde) giderek baskınlaşan "tek yönlü" ufuksal akışların varlığıyla mümkündür. Dolayısıyla durum küçük ölçekli granüler konveksiyon hücrelerinin kenara doğru iki yönlü (hem yaklaşma hem de uzaklaşma yönünde) ufuksal akış örnekleri sergileyen davranışlarıyla açıklanamaz.

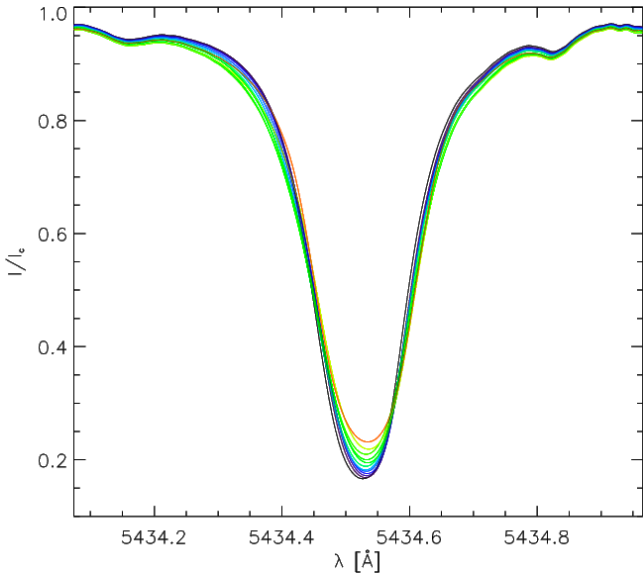
Konvektif bölgeden kaynaklanan ve tüm fotosfere sirayet eden çok büyük ölçekli ve sistematik meridyenel akış örneklerinin, vardığımız benzer sonuçları açıklamaktan başka,

Çizelge 1. Merkezden kenara tüm μ pozisyonları için, FeI 5434.5 Å çizgi profillerinin merkezi dalgaboyu değişimleri ve bunlara tekabül eden radyal hızlar.

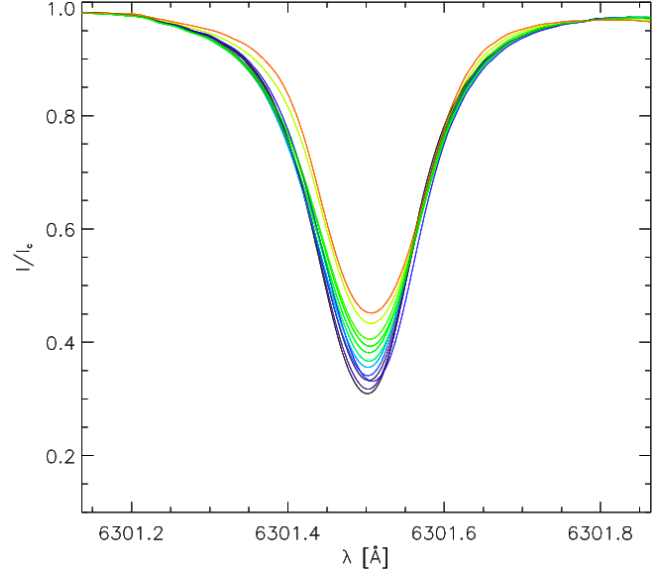
μ	$\Delta\lambda_{\mu i}$ (mÅ)	$V_{R\mu i}$ (m s ⁻¹)
1.00	0	0
0.95	4.28	236.19
0.90	5.71	314.92
0.85	6.42	354.29
0.80	4.99	275.56
0.70	4.28	236.19
0.60	4.28	236.19
0.50	7.13	393.65
0.40	5.71	314.92
0.30	4.99	275.56
0.20	9.27	511.75
0.10	7.84	433.02

Çizelge 2. Merkezden kenara tüm μ pozisyonları için, FeI 6301.5 Å çizgi profillerinin merkezi dalgaboyu değişimleri ve bunlara tekabül eden radyal hızlar.

μ	$\Delta\lambda_{\mu i}$ (mÅ)	$V_{R\mu i}$ (m s ⁻¹)
1.00	0	0
0.95	1.39	65.99
0.90	0.69	33.00
0.85	6.24	296.96
0.80	0.69	33.00
0.70	0.69	33.00
0.60	2.08	98.99
0.50	2.08	98.99
0.40	3.47	164.98
0.30	2.77	131.98
0.20	4.85	230.97
0.10	4.85	230.97



Şekil 3. FeI 5434.5 Å çizgisinin 12 farklı μ pozisyonu için çizdirilen normalize şiddet profillerinin merkez-kenar değişimleri.



Şekil 4. FeI 6301.5 Å çizgisinin 12 farklı μ pozisyonu için çizdirilen normalize şiddet profillerinin merkez-kenar değişimleri.

dinamo aktivitesiyle ilişkilendirilmek suretiyle, magnetik akının çevrimsel olarak kutuplara taşınımında başat rol oynadıkları ve güneşin aktivite çevriminin belirleyicisi oldukları da düşünülmektedir (Ribes, Mein & Mangeney 1985; Hathaway 1996).

Yukarıda değindiğimiz şekilde, kenara yakın tek yönlü ufuksal akış örneklerinin spektral çizgi profillerine yansımaları büyük ölçekli meridyenel akış örnekleriyle açıklanabilir olmakla beraber, disk merkezine doğru gidildikçe bu durum değişmektedir. Merkez ve merkeze yakın bölgelerde radyal doğrultuda baskın hareketlere kaynaklık edebilecek fotosferik unsurlar olarak, öncelikle granüler konveksiyon hücreleri düşünülmelidir. Bu çerçevede, fotosfer boyunca yükseklikle azalmakla birlikte, üst fotosferde dahi bir derece etkili olması beklenen granüler konveksiyonun çizgi profillerinin davranışlarının açıklanmasında mutlaka hesaba katılması gerektiği vurgulanmalıdır.

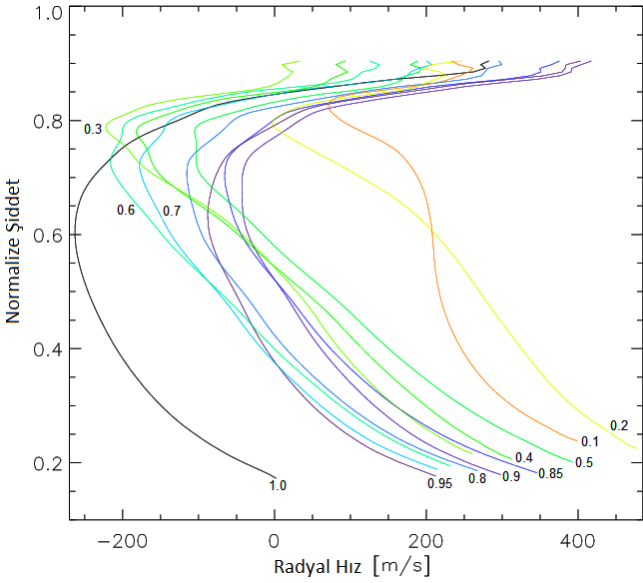
Ara bölgeler içinse en büyük zorluklardan biri herhalde bahsedilen iki önemli unsurun ayırt edilmesi ve hangisinin daha

baskın olduğunun belirlenmesidir. Yanı sıra konvektif enerji bırakımıyla tetiklenen türbülans ve konveksiyon bölgesindeki pertürbasyonlarla oluşan ses dalgalarının atmosfer boyunca yayılımını da dikkate almak gerekir. Bu etkenlerin ve etkinliklerinin tespiti yüksek uzaysal, spektral ve zamansal ayırma gerektiren çok detaylı ve teorik boyutlu araştırmaların konusu olmaya devam etmektedir.

3.2.2 FeI 6301.5 Å Çizgisinin Bölgesel Şiddet Profillerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Tüm μ pozisyonları için grup profillerin dikkate alındıkları Şekil 4'te görüldüğü üzere, profil derinlikleri FeI 6301.5 Å çizgisi için de merkezden kenara benzer şekilde ama daha büyük ölçüde azalmaktadır. Nitekim bu çizgi için şiddet değişiminin bir ölçüsü olan profil derinliği değişimi, siyah çizimle temsil edilen merkezden turuncu çizimle temsil edilen kenara kadar, iki katı aşkın bir artışla %15 civarındadır.

Bölge profillerinin minimum şiddet dalgaboyları arasındaki fark ise +4.85 mÅ ile kayda değer derecede daha düşük



Şekil 5. FeI 5434.5 Å çizgisinin 12 farklı μ pozisyonu için çizdirilen normalize şiddet profillerinin bisektörlerinin merkez-kenar değişimleri (μ değerleri ilgili bisektörlerin altlarında veya sol yanlarında gösterilmiştir).

bir değerdedir. Dolayısıyla buna tekabül eden radyal hız da $+230.971 \text{ m s}^{-1}$ ile göreceli olarak çok daha düşüktür (bkz. Şekil 4 ve Çizelge 2).

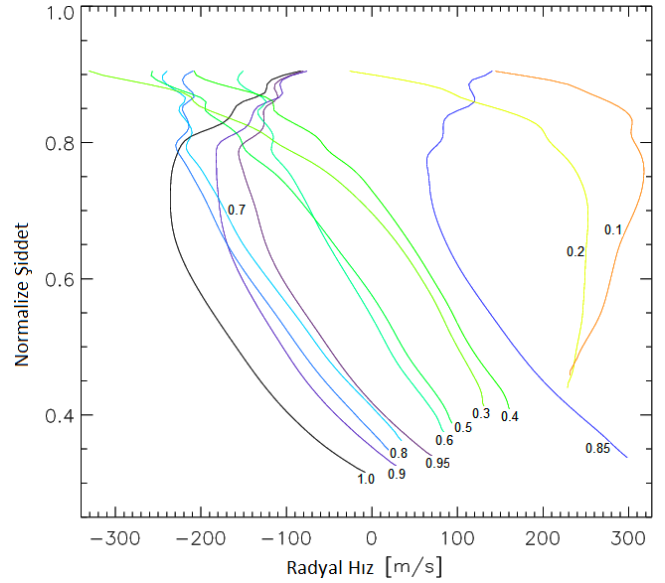
3.3 Bölgesel Çizgi Şiddet Profillerinin Bisektörlerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Önceki başlık altında şiddet profillerinin merkez-kenar değişimlerini incelediğimiz çizgilerin biçimsel analizlerini görsel temelli olarak daha iyi yapabilmek için, profillerini doğrudan karşılaştırmanın yanı sıra, bu amaçla sıkça başvurulan bisektör analizi yöntemini de kullandık.

Buna göre, çizgi profillerine IDL spline fonksiyonları uygulayarak şiddet noktalarının sayılarını yaklaşık 10 kat artırmak yoluyla kat be kat iyileştirdiğimiz çözünürlüğün (türetilmiş spektral çözünürlük) sağladığı imkanla, çalışılan çizgi profillerinin kor merkezlerini temsil eden orta noktalar 0.0064 'lük şiddet adımlarıyla hassas bir şekilde belirlenebilmiştir. Ayrıca, duyarlılığı daha da artırmak üzere, profil gövdesine yakın ve kuvvetli olmadığı halde, FeI 5434.5 Å çizgi profilinin kanatlarındaki basit blendlerden dolayı, bisektör eğrilerinin çizimlerinde üst sınır olarak ihtiyaten 0.90 şiddet seviyeleri alınmış, kalan kısım değerlendirme dışı bırakılmıştır.

3.3.1 FeI 5434.5 Å Çizgisi Bölgesel Profil Bisektörlerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Şekil 5'te, μ etiketli olarak, merkezden kenara spektrumları alınan tüm bölgeler için FeI 5434.5 Å çizgi profil bisektörleri verilmektedir. Disk merkezi spektrumuna ($\mu=1$ pozisyonuna) ait siyah renkli çizgi profil bisektörünün karakteristik C-formunu çok bariz bir şekilde göstermesi özellikle dikkat çekicidir. Yeterince geniş fotosferik yükseklik aralıklarından katkılar taşıyan çalıştıklarımıza benzer şiddetli Fraunhofer çizgilerinin profilleri, yükseklikle değişen (azalan) granüler konveksiyon etkinliğinin bir sonucu olarak, genellikle bu biçimi sergilerler.



Şekil 6. FeI 6301.5 Å çizgisinin 12 farklı μ pozisyonu için çizdirilen normalize şiddet profillerinin bisektörlerinin merkez-kenar değişimleri (μ değerleri ilgili bisektörlerin altlarında veya sol yanlarında gösterilmiştir).

Normalize şiddetlere karşı merkez bölge profilinin kor ortasına göre verilen radyal hızları içeren Şekil 5'de, yorumlayacağımız iki sınır örnekten ilki olarak bariz C-formu sergileyen merkez bölge profilinin bisektörü, yaklaşan plazmayı temsilen kabaca çizgi ortasına kadar gösterdiği yaklaşık -130 m s^{-1} medyan hız değerli maviye kaymaları takiben, radyal hızın -250 m s^{-1} 'yi aştığı 0.6 şiddet seviyesi civarındaki bükülmeye kırmızıya yönelmekte, akabinde yaklaşık 0.85 şiddet seviyesinde geçtiği işaret eşliğinden itibaren, profil kanatlarına doğru bu defa uzaklaşan maddeyi temsilen yaklaşık $+140 \text{ m s}^{-1}$ medyan değerli pozitif radyal hızlar sergilemektedir.

İkinci sınır örneği olarak gidişatını yorumlayacağımız kenar ($\mu=0.1$) profilinin turuncu renkli bisektörü ise, dramatik bir değişimle uzaklaşan maddeyi temsilen tamamı kırmızıya kayma bölgesinde kaldığı üzere, çizgi korunda $+400 \text{ m s}^{-1}$ 'den başlayarak gövde boyunca kabaca $+70 \text{ m s}^{-1}$ 'ye kadar düştükten sonra, 0.80 şiddet seviyesinden başlayarak kanatlarda $+250 \text{ m s}^{-1}$ 'ye kadar artışı takiben keskin bir ikinci bükülmeye bisektör çiziminin ihtiyaten sonlandırıldığı 0.90 seviyesine doğru ılımlı azalan bir seyir izlemektedir. Giderek belirginleşen "dalgalanma" eğilimi, $\mu=0.1$ ve $\mu=0.2$ pozisyonları ile kenara en yakın bölgeleri temsil eden son iki bisektörü diğerlerinden ayırttırmakta ve "ters C-formuna" gidişin işaretlerini vermektedir.

Çizimde bu iki örnek arasında konumlanmış olan diğer bisektörlerde, merkez-kenar değişimleri bağlamında, kenara doğru gidildikçe dikkati çeken başlıca özellikler;

- Çizgi şiddetlerini temsilen uzunluklarının genel olarak azalması,
- Hız gidişatını temsilen gövde büküm noktalarının yüksek şiddet seviyelerine taşınması,
- Konum değişimini temsilen bir bütün olarak kırmızıya kaymaları, ve,
- Biçimselliği temsilen karakteristik C-formundan uzaklaşmalarıdır ki,

biz magnetoplazmanın bakış doğrultusundaki davranışıyla alâkalı anlamlı karşılıkları olan bütün bu değişimleri, profillere yansıyan dinamiklerin ve davranışlarının atmosferik yüksekliğe bağlılığını da dikkate alarak, bisektörlerin "konum ve karakter göçü" (Location and Character Migration – LCM) olarak isimlendiriyoruz. Ayrıca kanat büklümlerinde de keskin (dar bir şiddet aralığında) karakter değişimleri olmakla beraber, çizgi profil kanatlarında güvenilirliğin göreceli azalması sebebiyle 0.90 şiddet seviyesinden yukarısını çalışmadığımız hâlde, şimdilik bu değişimleri değerlendirme dışı bırakıyoruz.

3.3.2 FeI 6301.5 Å Çizgisi Bölgesel Profil Bisektörlerinin Merkez-Kenar Değişimleri

Şekil 6'da, μ etiketli olarak, merkezden kenara alınan tüm bölge spektrumları için FeI 6301.5 Å çizgi profillerinin bisektör çizimleri verilmektedir. Siyahla gösterilen disk merkez spektrumuna ait bisektör, şiddetin ve merkezî oluşum yüksekliğinin daha düşük olduğu bu çizgi örneğinde de karakteristik C-formu göstermekle birlikte, diğerinden farklı olarak, kanatları dahil tamamı maviye kayma bölgesinde kalan ve büklüm noktası 0.7 şiddet seviyesi civarında olan daha ılımlı bir gidişat sergilemektedir.

Genel olarak merkezden kenara davranış çeşitliliğinin daha zengin olduğu bu profil grubunun bisektörleri üç kısımda incelenebilir: μ 'nün 1.0 ila 0.7 değer aralığına karşılık gelenler, ilginç bir şekilde bütünüyle kırmızıya kayma bölgesinde bulunan 0.85 dışında büyük kısımları maviye kayma bölgesinde kalan ve giderek yumuşayan C-formları sergilemektedirler. Devamla μ 'nün 0.6 ila 0.3 değer aralığına ait olanlar pozitif hız bölgesinden başlayarak profil kanatlarına doğru negatif hızlara yönelen çizgisele yakın bir gidişat gösterirlerken, μ 'nün 0.2 ve 0.1 değerlerine tekabül eden en kenar bölge bisektörleri ise, ilkinin kanat uçları hariç, hem tamamen pozitif hız bölgesinde kalmaları ve hem de aşikâr "ters-C formu" göstermeleri itibarıyla, diğerlerinden bariz bir şekilde ayrılmaktadırlar.

Bütün olarak kırmızıya kayma bölgesinde kalarak kendilerine has özellikler sergileyen son üç bisektör hariç tutulursa, merkez-kenar değişimine dair FeI 6301.5 Å çizgisi için Şekil 6'da verdiğimiz benzer sonuçlara [Löhner-Böttcher ve diğ. \(2019\)](#) tarafından merkezî oluşum yüksekliği 310 km olan FeI 5250.2 Å çizgisi için de varılmıştır. Bu durum çizgi profiline yansıyan dinamiklerin oluşum yüksekliğiyle bağlantısının kuvvetli bir delili olarak yorumlanabilir.

Kaynaklar

- Bhatnagar, A., Livingston, W., 2005, Solar Astronomy, World Scientific Publishing Co.Pte. Ltd. 118-130
 Hathaway, D. H., 1996, ApJ **460**, 1027
 Kucera, A., Balthasar, H., Rybak, J., Wohl, H., 1998, A&A **332**, 1069
 Löhner-Böttcher, J., Schmidt, W., Stief, F., Steinmetz, T., Holzwarth, R., 2018, A&A **611**, A4
 Löhner-Böttcher, J., Schmidt, W., Schlichenmaier, R., Steinmetz, T. ve Holzwarth, R., 2019, A&A **624**, A57
 Mitton, J., 1975, Journal of the British Astronomical Association **85**, 238
 Ökten, A., Al, N., Annak, A., G., Başal, M., Bianda, M., 2020, Turkish J.A&A, **1**, 2, 459
 Ribes, E., Mein, P. H., Mangeney, A., 1985, Nature **45**, 635
 Riethmüller, T. L., 2013, Investigations of small-scale magnetic features on the solar surface, PhD. Thesis, p45, ISBN 978-3-942171-73-1
 Vernazza, J. E., Avrett, E. H., Loeser, R., 1981, ApJS **45**, 635

Access:

M23-0367: [Turkish J.A&A — Vol.4, Issue 3.](#)