

SAKİN KROMOSFERİK İNCE YAPILARDA GÖZLENEN SALINIMLAR

Z. Funda BOSTANCI¹, Nuro! AL ERDOĐAN²

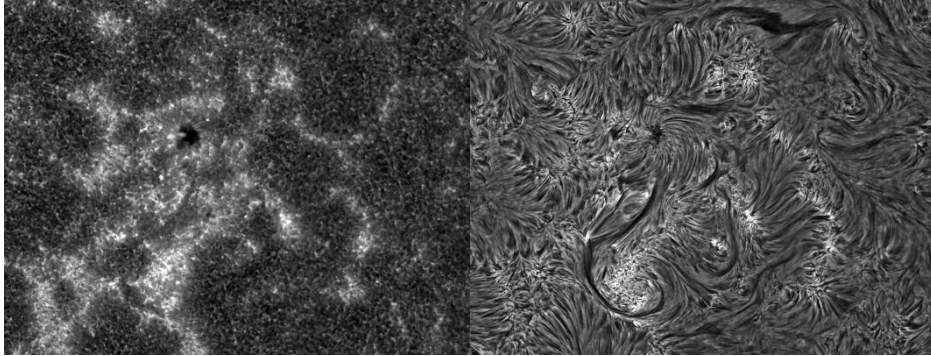
¹ National Solar Observatory, 950 N. Cherry Avenue, Tucson, AZ, 85719, USA.
fbostanci@gmail.com

² İ. Ü. Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119 Üniversite, İstanbul.
al@istanbul.edu.tr

Özet: Bu çalışmada 2007 yılında ABD'nin New Mexico eyaletinde Ulusal Güneş Gözlemevi'ndeki (NSO) Dunn Güneş Teleskopu'nda (DST) kurulu olan iki-boyutlu spektrometre IBIS ile alınan yüksek uzaysal, spektral ve zamansal çözünürlüklü H α gözlemleri kullanılarak Güneş'in disk merkezine yakın sakin bir bölgenin periyodik özellikleri incelenmiştir. Lambdametre yöntemi yardımıyla, H α profili üzerinde 6 farklı profil genişliği için şiddet ve Doppler hız görüntü serileri oluşturularak ve her bir seriye standart Fourier analizi uygulanarak kromosferin farklı derinliklerine ait güç spektrumları elde edilmiştir. Güç spektrumlarından, görüş alanı içerisindeki kromosferik ince yapılarda gözlenen salınımlar incelenerek literatürdeki sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, 5 dakikalık salınımların kromosferik ağyapı (ağyapı sınırları) ile buradan hücre içine uzanan ince yapılarda baskın olduğu, manyetik alanın zayıf olduğu ağyapı-içi bölgelerde ise 3 dakika ve altındaki periyotların baskın olduğu görülmüştür. Ayrıca, alt kromosfere ait güç spektrumlarında, 3 dakika ve altındaki periyotların ince yapılar civarında da sık görüldüğü tespit edilmiştir.

1. Giriş

Fotosferin hemen üzerinde yer alan kromosfer tabakası yaklaşık 2.000km kalınlığında olup ortalama sıcaklığı 10.000K civarındadır. Farklı spektral çizgilerde bakıldığında farklı yapılar sergilemektedir. Ca II H veya K çizgisinde konveksiyon bölgesindeki süpergranül hücrelerin kromosferdeki tezahürü olan bir ağyapı gözlenir. Manyetik alanın küçük ölçekli manyetik akı



Şekil 1. Güneş'in DOT (Dutch Open Telescope) ile alınmış Ca II H (sol) ve H α (sağ) görüntüleri. Aynı görüş alanına ait her iki görüntü aktif bir bölge içermektedir. Ca II H'da manyetik akı tüplerinin yoğunlaştığı parlak bölgeler dikkati çekerken, H α 'da mottle ve fibril adı verilen koyu ince ipliksi yapılar göze çarpmaktadır.

tüpleri şeklinde yoğunlaştığı parlak uzanımlar hücre sınırlarına karşılık gelir. Koyu alanlar ise hücre içi bölgeleri temsil etmektedir. Düşük ayırmalı bir teleskop ile H α (6562,8Å) çizgisinde bakıldığında sakin Güneş üzerinde kayda değer bir özellik görülmezken, yeterli uzaysal ayırmada spikül, fibril ve mottle gibi jet tipi ince yapılar dikkati çeker (Şekil 1). Spiküller disk kenarında gözlenirken, fibriller disk üzerinde görülmektedir. H α çizgi profilinin kanat

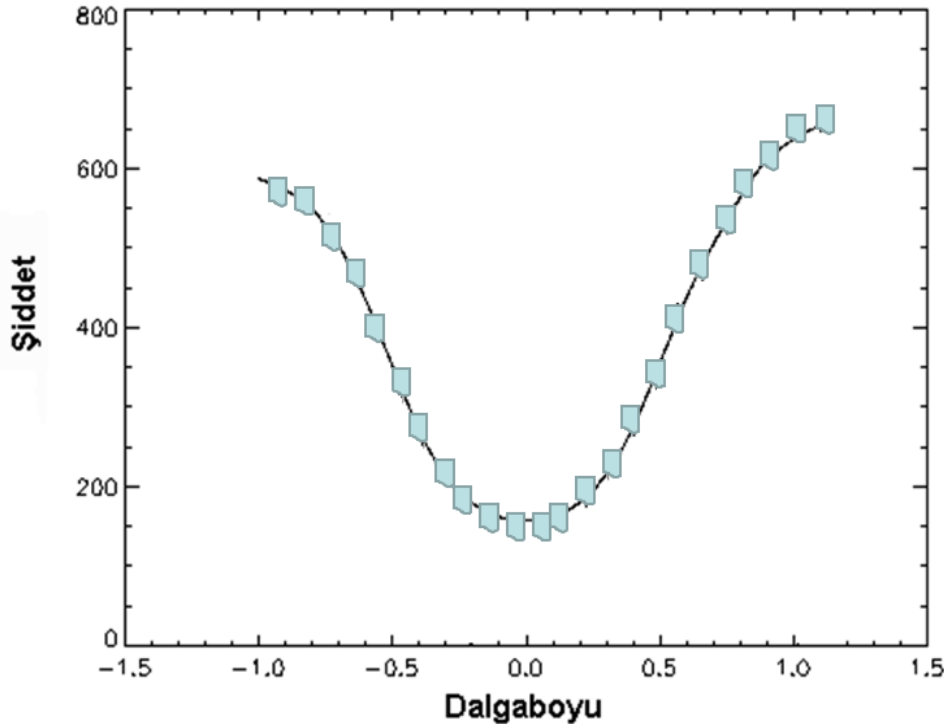
bölgesinde ise hücre sınırlarında yer alan, kalınlıkları 500–2.000km, ömürleri 5–10 dakika ve sıcaklıkları 7.000 ile 15.000K arasında olan koyu ince yapılar görülmektedir.

H α 'da yapılan gözlemlerde özellikle düşük frekanslı fotosferik salınımların ağyapı sınırlarından hücre içersine uzanan koyu yapılar boyunca kromosfere sızdığı bildirilmektedir (de Pontieu ve ark., 2004; Jefferies ve ark., 2006; Rouppe van der Voort ve ark., 2007). Bununla beraber gözlemler hücre sınırlarında 5 dakikalık salınımların, hücre içerisinde ise 3 dakikalık salınımların baskın olduğunu göstermiştir (Rouppe van der Voort ve ark., 2007; Tsiropoula ve ark., 2009). Bu çalışmada, sakin Güneş kromosferinin yüksek uzaysal, spektral ve zamansal çözünürlüklü gözlemleri analiz edilerek, gözlenen bölge içerisindeki ince yapıların salınımlarına ilişkin özellikler ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. Gözlem Verileri

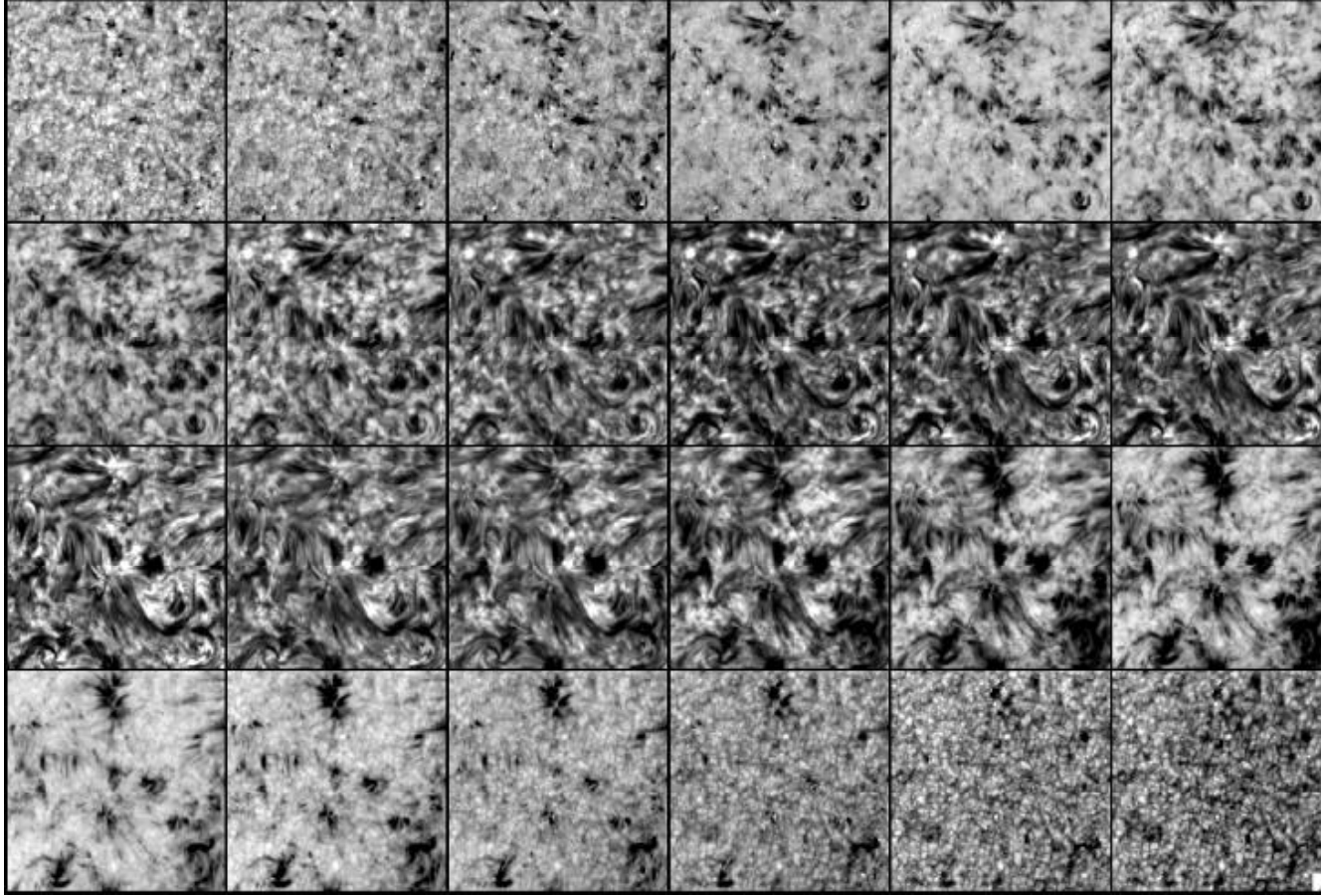
Veriler, 15 Mart 2007 tarihinde, Sacramento Peak'deki Ulusal Güneş Gözlemevi (NSO-National Solar Observatory)'deki Dunn Güneş Teleskopu'nda kurulu olan IBIS (Interferometric Bidimensional Spectrometer) ile alınmıştır.

İki boyutlu spektroskopik gözlemlerin gerçekleştirilmesinde kullanılan IBIS, başlıca ikili FPI (Fabry-Perot Interferometer) serisi ile dar bant interferans filtreler setinden oluşmaktadır. IBIS'in dairesel görüş alanı 80" olup, spektral ayırma gücü 200.000'in üzerindedir.



Şekil 2. H α spektral çizgi profili boyunca 24 spektral tarama noktasının konumu.

Gözlemler esnasında H α spektral çizgi profili yarı yükseklikteki tam genişliği 22mÅ olan bir geçirgenlik eğrisi ile 90mÅ'luk adımlarla taranarak 24 spektral pozisyonda görüntü alınmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3). Ardışık taramalar arasındaki zaman farkı 15,4sn'dir. Böylece görüş kalitesinin çok iyi olduğu koşullar altında gerçekleşen 48 dakikalık toplam gözlem süresince



Şekil 3. Yukarıdan itibaren soldan sağa, $H\alpha$ profilinin mavi kanadından kırmızı kanadına doğru $90\text{m}\text{\AA}$ 'luk adımlarla taranarak 24 farklı spektral pozisyonda alınan dar bant görüntüleri sunulmuştur. Örnekte, dairesel görüş alanının $54'',45 \times 54'',45$ büyüklüğündeki merkezi kısmı verilmiştir.

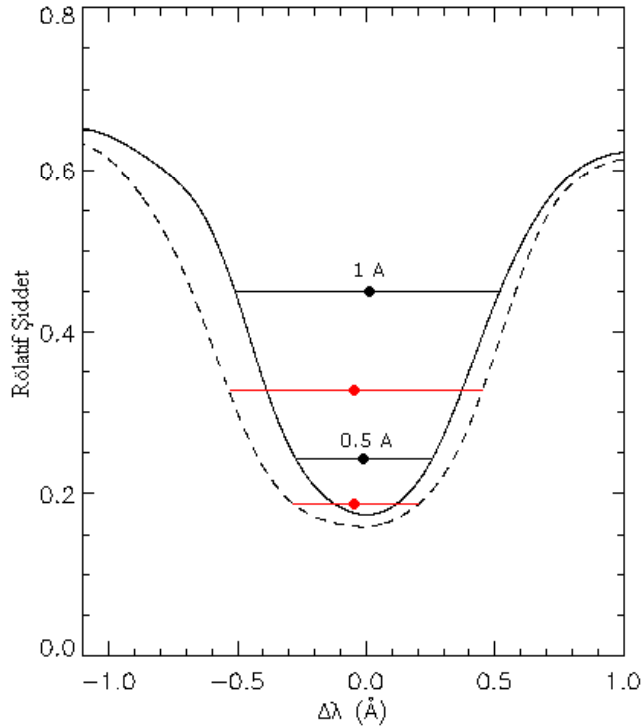
192 tarama elde edilmiştir. Görüş alanı 512×512 piksel boyutlarında olup, piksel başına düşen görüntü ölçeği 0",165 dir.

Gözlem verilerinin kara akım ve düz alan indirgemesi yapıldıktan sonra, IBIS'in montaj düzeneğinden kaynaklanan maviye kayma düzeltmesinde HeNe lazeri ile alınmış dar bant verileri kullanılmıştır (bkz. Reardon ve Cavalini, 2008; Cauzzi ve ark., 2009).

3. Analiz Teknikleri

Lambdametre Yöntemi

Kromosfer tabakasında gözlenen ince yapıların gerek morfolojik ve fiziksel özelliklerini gerekse dinamiğini araştırmak için Doppler hız ve şiddet görüntülerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada sözkonusu görüntüler, Tsiropoula ve ark. (1993) ile Al ve ark.'nın (2004) çalışmalarında da açıklanan 'lambdametre yöntemi' yardımıyla oluşturulmuştur. Yöntem, incelenen bölgeye ait çizgi profilindeki belirli giriş uzunluğunun referans çizgi profilindeki aynı giriş uzunluğuna göre gösterdiği yerdeğiştirme miktarının tespitine dayanmaktadır (Şekil 4). Dikkate alınan giriş uzunluğu için bulunan kayma miktarı Doppler formülü yardımıyla hızı, girişin derinliği ise şiddeti vermektedir.



Şekil 4. Lambdametre yönteminde dikkate alınan farklı giriş uzunluklarının referans çizgi profilindeki (düz çizgi) ve yapıya ait çizgi profilindeki (kesikli çizgi) konumları.

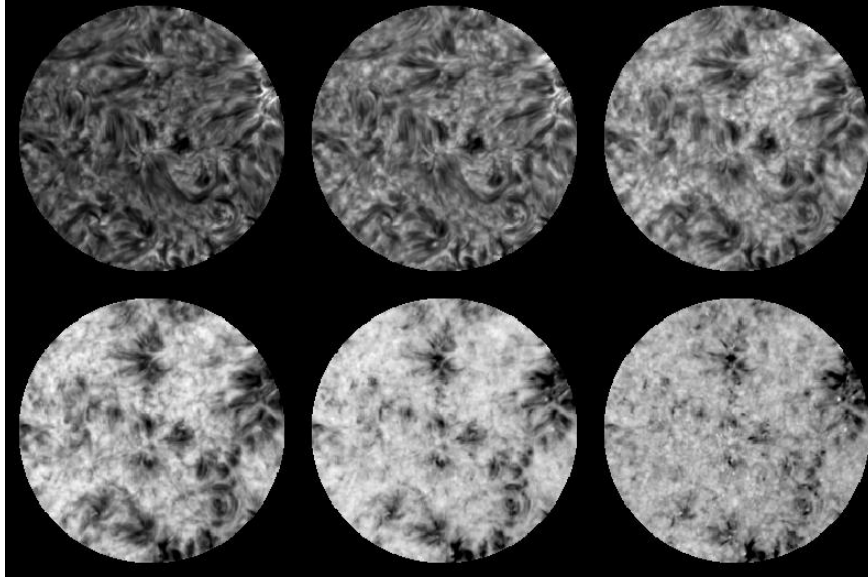
Periyot Analizi

H α 'da gözlenen ince yapılarıdaki salınımların tespiti lambdametre yöntemiyle farklı giriş uzunlukları için elde edilen şiddet ve Doppler hız görüntülerindeki değerlerin zamansal değişimleri incelenerek yapılmıştır. Bunun için, görüş alanındaki her bir piksele ait zaman serisine standart Fourier analizi uygulanmıştır. Sözkonusu sinyalin sonlu uzunlukta olması, sinyalin başında ve sonunda süresizliğe neden olmaktadır. Bu nedenle dönüşüm işlemi istenmeyen yapay etkiler oluşmaktadır. Bu durumun üstesinden gelmek için sinyal Hanning pencereleme fonksiyonu ile çarpılarak serinin başındaki ve sonundaki verinin yaklaşık %10'u

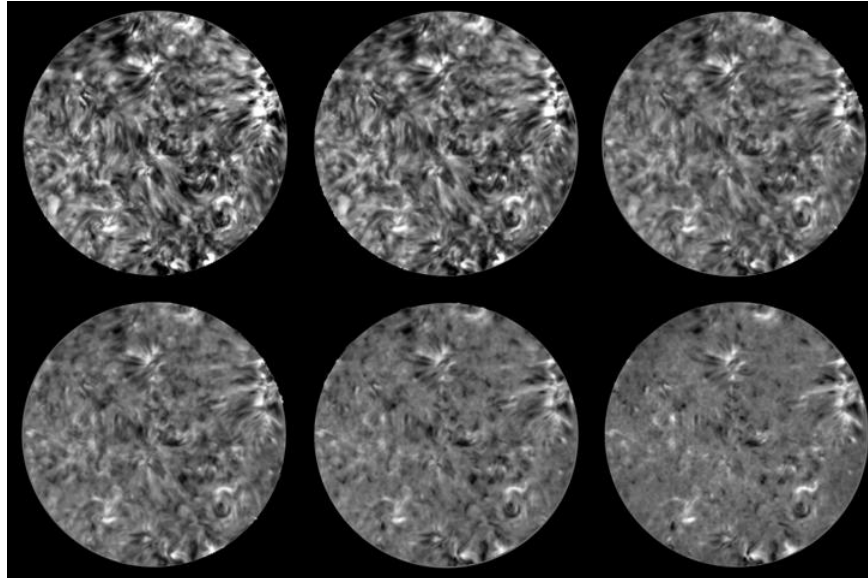
yavaşça sıfıra yaklaştırılmıştır. Gözlem verilerinin Nyquist frekansı 32mHz olup frekans çözünürlüğü 0,35mHz'dir.

4. Tartışma ve Sonuç

Her bir tarama için lambdametre yöntemi yardımıyla, H α profili üzerinde 6 farklı giriş uzunluğu (250, 500, 750, 1.000, 1.250 ve 1.500mÅ) için şiddet ve Doppler hız görüntüleri oluşturulmuştur. Şekil 5 ve 6'da görüş kalitesinin çok iyi olduğu anlardan birinde kaydedilen en iyi taramaya ait şiddet ve hız haritaları verilmiştir.



Şekil 5. (Soldan sağa) En iyi taramaya ait 250, 500, 750, 1.000, 1.250 ve 1.500mÅ giriş uzunlukları için lambdametre yöntemi ile elde edilen şiddet görüntüleri.

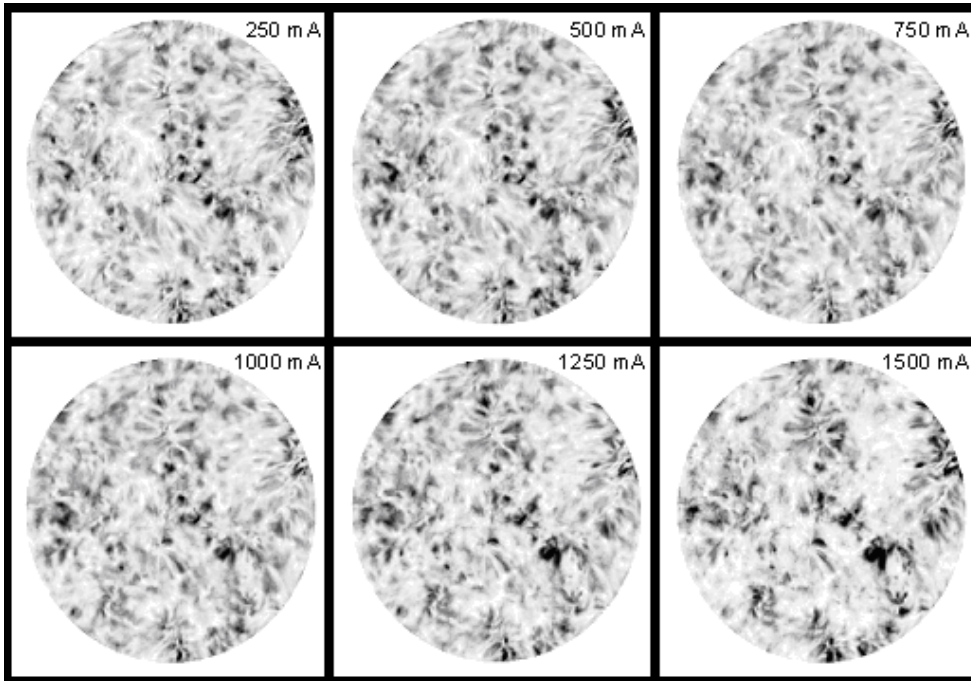


Şekil 6. (Soldan sağa) En iyi taramaya ait 250, 500, 750, 1.000, 1.250 ve 1.500mÅ giriş uzunlukları için lambdametre yöntemi ile elde edilen Doppler hız görüntüleri.

H α çizgi merkezindeki şiddet görüntüleri fibril benzeri ince yapılar içeren karmaşık bir yapı sergilerken, kanada yakın bölgelere ait şiddet görüntülerinde (Şekil 5'in alt sırası) yer seçici bir yoğunlaşmayla ağyapıyı görünür hale getiren ve "mottle" adı verilen ince yapılar dikkati

çekmektedir. Hız görüntülerinde koyu bölgeler gözlemciye doğru olan madde hareketini, parlak bölgeler ise gözlemciden uzaklaşan madde hareketini göstermektedir. Şekil 6'daki hız görüntülerinden de görüleceği gibi, yapılarda gözlenen madde hareketi iki yönlüdür. Bazılarında kırmızıya kayma gözlenirken bazılarında da maviye kayma gözlenmektedir.

Lambdametre yöntemi ile elde edilen farklı profil genişliklerine ait şiddet ve hız görüntülerinden oluşan zaman serilerine standart Fourier analizi uygulanarak kromosferik salınımların karakteristiğini ortaya koymak için, belirli periyot aralıklarına ait güç spektrum haritaları oluşturulmuştur. Şekil 7 ve 8'de 250, 500, 750, 1.000, 1.250 ve 1.500 mÅ giriş uzunlukları için oluşturulan Doppler hız görüntü serilerindeki değişimlerinin sırasıyla 2,4-4,0mHz (sönümlenme aralığı) ve 5,5-8,0mHz (yüksek frekans aralığı) frekans aralıkları üzerinden ortalama alınarak oluşturulan güç spektrum haritalarının uzaysal dağılımları verilmiştir. Bu haritalar üzerinde koyu bölgeler söz konusu frekans aralığında gücün çok büyük, açık bölgeler ise gücün çok küçük olduğu bölgeleri temsil etmektedir.

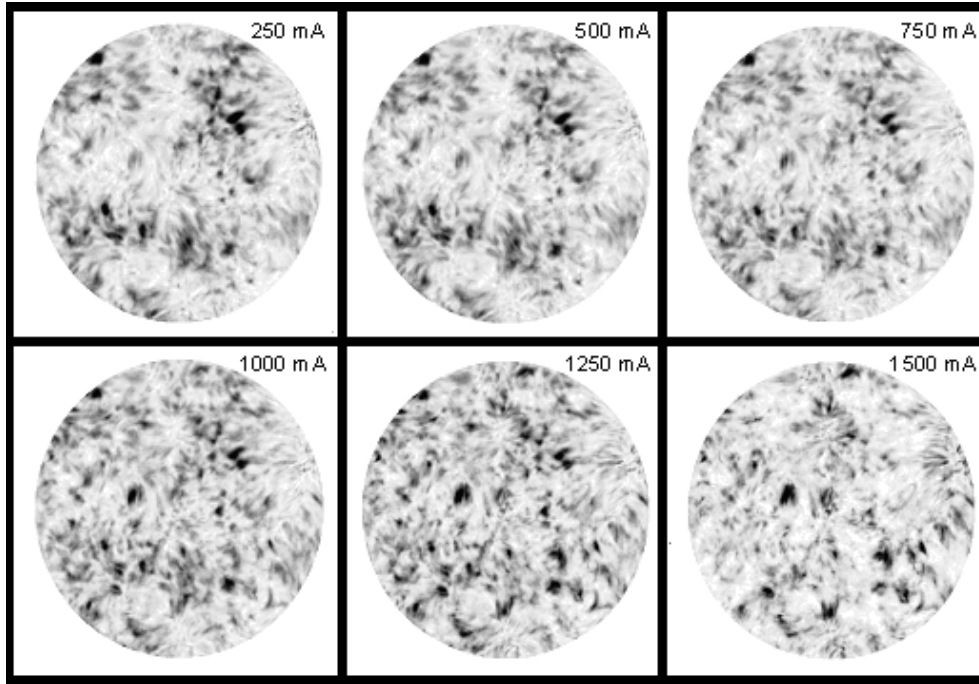


Şekil 7. Profil üzerinde 6 farklı giriş uzunlukları için oluşturulan Doppler hız görüntü serilerinden 2,4-4,0mHz frekans bandı için elde edilen güç haritaları.

2,4-4,0mHz frekans bandı aralığında, özellikle yüksek atmosferik tabakalarda, ağyapıda ve ağyapı-içi bölgeye doğru uzanan ince uzun yapılarda, 5 dakikalık salınımların baskın olduğu açıkça göze çarpmaktadır. Bu durum eğimli manyetik alan çizgileri boyunca düşük frekanslı fotosferik salınımların ağyapı sınırlarından kromosfere sızdığını öneren görüşü destekler nitelikte olup (De Pontieu ve ark., 2004; Jefferies ve ark., 2006; Rouppe van der Voort ve ark., 2007), mottle dinamiğinin ve oluşumunun anlaşılması bakımından da önemli bir bulgudur. Alçak atmosferik tabakalarda ise gücün ağyapı üzerinde toplandığı görülmektedir.

5,5-8,0mHz yüksek frekans bandı aralığında, 3 dakikanın altındaki periyotlar çizgi merkezine yakın güç spektrum haritalarında özellikle ağyapı-içi bölgelerde görülmektedir. Bu da, manyetik alanın zayıf olduğu ağyapı-içi bölgelerde kromosferik akustik sönümlenme frekansına yakın periyotlu dalgaların baskın olduğunu öneren görüşü desteklemektedir. Keza 3 dakika altındaki periyotlara ait güç, uzun periyotların baskın olduğu yapılar civarında da sık görülmektedir. Bu, uzun yapıların altında kalan bölgelerin opasitesinin düşük olduğunu ve bu

yüzden ağyapı-ıçi bölge dinamiklerinin ve salınımlarının gözlenebileceğini önermektedir. Çizgi kanadına (özellikle profil genişliğinin 1.250 ve 1.500mÅ olduğu seriye) ait güç spektrumlarının sonuçları da bu öneriyi desteklemektedir.



Şekil 8. Profil üzerinde 6 farklı giriş uzunlukları için oluşturulan Doppler hız görüntü serilerinden 5,5-8,0mHz frekans bandı için elde edilen güç haritaları.

Geçmişte yapılan çok sayıdaki çalışmalarda, kromosferik ağyapının 5 dakika ile daha uzun periyotlarda gözlenen güç ile karakterize edildiği ve ağyapı içerisinde ise 5 ile 2 dakika arasındaki periyotlarda gücün baskın olduğu rapor edilmiştir (Dame ve ark., 1984; von Uexküll ve Kneer, 1995; Deubner ve Fleck, 1990; Lites ve ark., 1993; Rutten, 1999). Ağyapı sınırlarında gözlenen düşük frekanslı ($v < 4\text{mHz}$) salınımların, konvektif granüler hareketlerin akı tüplerine ard arda vuruşlarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Kneer ve von Uexküll, 1985, 1986; von Uexküll ve ark., 1989; Lites ve ark., 1993; Hassan ve ark., 2000).

$H\alpha$ dalgaboyunda gerek disk üzerinde gerekse disk kenarında gözlenen ince yapıların periyodu üzerine de çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Spikül gözlemlerinde, genelde 5 dakika mertebesinde periyotlar rapor edilmiştir. Fakat bu sonuçların yorumu, $H\alpha$ çizgi oluşum yüksekliğindeki belirsizlikler, yapıların bakış doğrultusu boyunca üst üste binmesinden ve sınırlı uzaysal çözünürlükten dolayı zor olmuştur (Beckers, 1968; Platov ve Shilova, 1971; Kulidzanishvili ve Zhugzhda, 1983). De Pontieu ve ark. (2003, 2004) yüksek çözünürlüklü gözlem verileri kullanarak, bir aktif bölge içerisindeki dinamik fibrillerin periyodunun 2-4 dakika arasında olduğunu tespit etmişlerdir. Tziotziou ve ark. (2004) sakin Güneş'teki mottle yapılarında da benzer periyodu bulmuşlardır. Bu çalışmada, hız güç spektrum haritalarında, 5 dakikalık salınımların ağyapı ile buradan ağyapı-ıçi bölgeye doğru uzanan ince uzun yapılarda baskın olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- Al, N., Bendlin, Hirzberger, C., J., Kneer, F., Trujillo Bueno, J., 2004, A&A, 418, 1131
- Cauzzi, G., Reardon, K., Rutten, R. J., Tritschler, A., Uitenbroek, H., 2009, A&A, 503, 577
- Dame, L., Gouttebroze, P., Malherbe, J.-M., 1984, A&A, 130, 331

- De Pontieu, B., Erdélyi, R., James, S. P., 2004, *Nature*, 430, 536
- Deubner, F.-L., Fleck, B., 1990, *A&A*, 228, 506
- Hassan, S. S., Kalkofen, W., Van Ballegooijen, A. A., 2000, *ApJ*, 535, L67-L70
- Jefferies, S. M., McIntosh, S. W., Armstrong, J. D., ve ark., 2006, *ApJ*, 648, L151
- Kneer, F., Von Uexküll, M., 1985, *A&A*, 144, 443-451.
- Kneer, F., Von Uexküll, M., 1986, *A&A*, 155, 178
- Lites, B. W., Rutten, R. J., Kalkofen, W., 1993, *ApJ*, 414, 345
- Reardon K. P., Cavallini F., 2008, *A&A*, 481, 897
- Rouppe Van Der Voort, L. H. M., De Pontieu, B., Hansteen, V. H., Carlsson, M., Van Noort, M. 2007, *ApJ*, 660, L169
- Rutten, R. J., 1999, *ASP Conference Series* Eds. B. Schmieder, A. Hofmann, J., Staude, Vol.184, 181-200
- Tsiropoula, G., Alissandrakis, C. E., Schmieder, B., 1993, *A&A*, 271, 574
- von Uexküll, M., Kneer, F., Malherbe, J. M., Mein, P., 1989, *A&A*, 208, 290
- von Uexküll, M., Kneer, F., 1995, *A&A*, 294, 252