

Güneş'in Kromosfer Tabakasında H α Spektrel Çizgisinde Gözlenen İnce Yapıların Özellikleri

Nurol Al¹, Zahide Funda Bostancı²

¹İstanbul Üniversitesi Gözlemevi, Araştırma ve Uygulama Merkezi, 34119 Üniversite, İstanbul
al@istanbul.edu.tr

²İstanbul Üniversitesi

Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119 Üniversite, İstanbul
bostanci@istanbul.edu.tr

Özet: Mayıs 2002 tarihinde Güneş'in kromosfer tabakası del Teide Gözlemevi' nde (Tenerife) kurulu Vakum Kule Güneş Teleskobu' ndaki 'İki Boyutlu Spektrometre' ile H α çizgisinde gözlenmiştir. Gözlem süresince sözkonusu çizgi taranarak her bir tarama noktasında eşzamanlı geniş-bant ve dar-bant görüntüler elde edilmiştir. Görüntülerin işlenmesinden sonra beyaz-ışık görüntülerine 'spektrel oran' ve 'spekl masking' metodları, dar-bant görüntülerine ise 'spekl rekonstrüksiyon' tekniği uygulanarak, Arz atmosferinin görüntüler üzerindeki bozucu etkileri yok edilmiştir. Bu çalışmada tek bir tarama setine 'lambdametre' yönteminin ve Bulut Modeli' nin uygulanması ile elde edilen ve orta kromosferde gözlenen ince yapıların özelliklerine dair sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: güneş: kromosfer: ince yapı

Abstract: In May 2002, the solar chromosphere was observed in the H α line with the two-dimensional spectrometer which is mounted in the Vacuum Tower Telescope at the Observatory del Teide/Tenerife. During the observation, the spectral line was scanned and broad-band and narrow-band images were taken simultaneously. After image processing, the 'spectral ratio' and 'speckle masking' methods were applied to the broad-band images for compensation for the effects of the earth's atmosphere, while 'speckle reconstruction' was used with the narrow-band images. In this paper, we will present results concerning the chromospheric fine structure which were obtained by applying the 'lambdameter' method and the so-called cloud model.

Key words: sun: chromosphere: fine structure

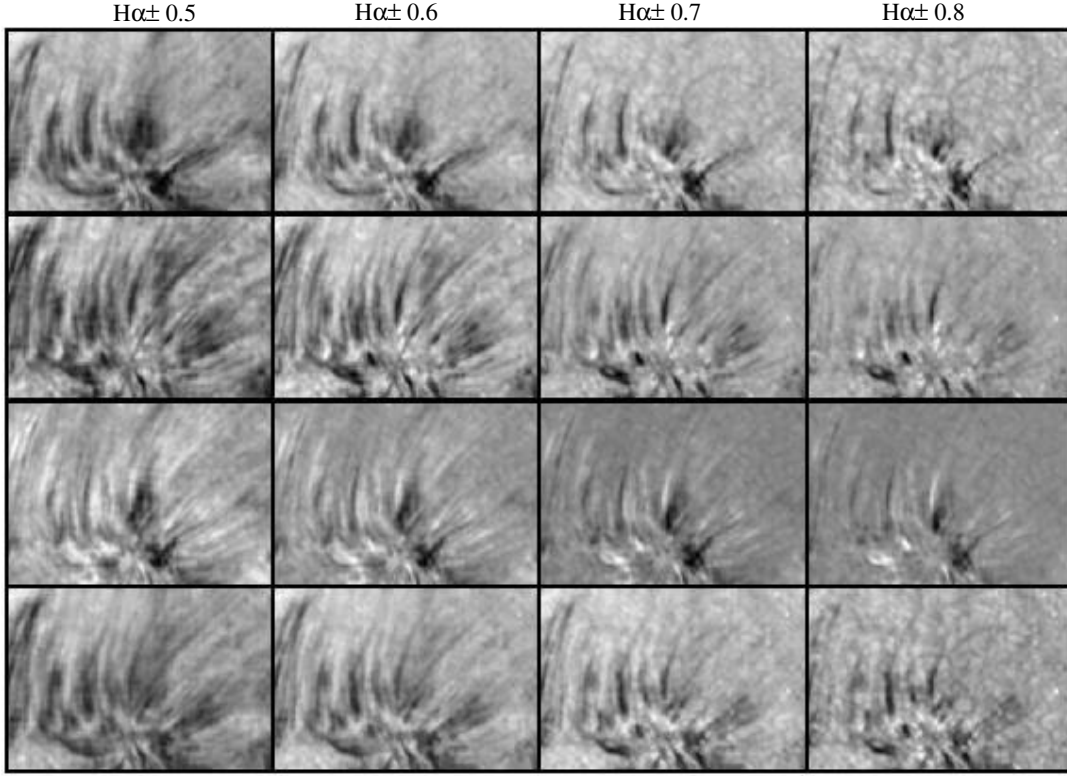
1. Giriş

Güneş diski üzerinde kromosfer tabakasında H α spektrel çizgisinin kanat bölgesinde gözlenen en belirgin yapılar beneklerdir (mottles). Süpergranül hücrelerinin sınırlarında yer alan ve manyetik alan çizgileri boyunca uzanan bu jet tipi yapılar 'rozet' veya 'benek zinciri' olarak isimlendirilen gruplar halinde gözlenirler. Rozetler en az üç süpergranül hücrelerinin bir araya geldiği bölgelerde oluşurlar. Literatürde genellikle koyu ve parlak benekler arasında ayırım yapılır (Zachariades ve ark. 2001). Bunların aynı bölgede fakat farklı yüksekliklerde yer aldığı ifade edilmektedir. Parlak beneklerin çizgi profilleri, kanatlarda absorpsiyon merkezde emisyon gösterirken, koyu benekler geniş bir U-şeklini andıran düşük merkezi şiddetli profillere sahiptirler (Tsiropoula ve ark. 1994).

Bu çalışmada bu yapılara ait, 'lambdametre' (Tsiropoula ve ark. 1993) ve Beckers' in (1964) 'Bulut Modeli' gibi değişik metodlarla elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. Gözlemlerin Gerçekleştirilmesi ve Verilen İndirgenmesi

Kullanılan veriler Mayıs 2002 tarihinde del Teide Gözlemevi' nde (Tenerife) kurulu Vakum Kule Güneş Teleskobu' ndaki 'İki Boyutlu Spektrometre' (Koschinsky ve ark. 2001) ile H α çizgisinde gözlem yapılarak alınmıştır. Gözlem süresince sözkonusu çizgi 125 mÅ' luk adımlarla taranarak her bir tarama noktasında eşzamanlı kısa poz süreli 8 adet geniş-bant ve dar-bant görüntüleri ($\Delta\lambda=72$ mÅ) elde edilmiştir. Piksel başına düşen ayırma gücü 0".1 olup, gözlenen görüş alanı 38".4x28".6 boyutlarındadır. 144 görüntüden oluşan tarama setlerinden başka, düz alan ve kara akım görüntüleri de alınmıştır.



Şekil 1. Farklı $H\alpha \pm \Delta\lambda$ değerlerine tekabül eden kontrast, Doppler ve şiddet görüntüleri.

Kara akım, düz alan ve görüntü kaymasına ilişkin düzeltmeler yapıldıktan sonra, geniş-bant görüntüleri 'spektral oran' (von der Lühe 1984) ve 'spekl masking' (Weigelt 1977) yöntemleri yardımıyla restore edilerek Arz atmosferinin bozucu etkilerinden arındırılmıştır. Bu restorasyondan elde edilen 'Optik Transfer Fonksiyon' daha sonra Hirzberger ve ark. (2001)'nin çalışmasında açıklandığı gibi indirgenen dar-bant görüntülere uygulanarak yeniden oluşturulmuştur (Bostancı 2004 ve tezdeki referanslar).

3. İnce Yapıların Özelliklerinin Ortaya Konmasında Kullanılan Yöntemler

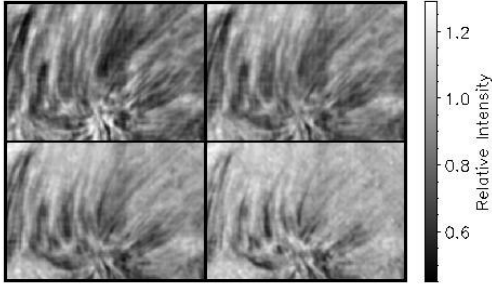
Kromosfer tabakasında gözlenen ince yapıların gerek morfolojik gerekse fiziksel özelliklerinin ortaya konması için Doppler ve şiddet görüntülerine ihtiyaç vardır. Bu görüntüler ise farklı yöntemlerle oluşturulur. En basit yöntem çizgi profilinin merkezi dalga boyundan eşit $\Delta\lambda$ uzaklıkta profilin kırmızı ve mavi kanadında alınan görüntülerin birbirinden çıkarılması ve toplanmasıdır. Birinci işlem Doppler görüntüsünü, ikincisi ise şiddet görüntüsünü verir. Ancak belirli bir $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$ için oluşturulan Doppler veya şiddet görüntülerinden

yapıların evrimini görüntüler arasındaki kontrast farklılığından dolayı izlemek zordur. Bu nedenle görüş alanı içerisindeki her bir piksel için aşağıdaki bağıntıda tanımlandığı gibi (I_0 küçük sakin bir bölgenin ortalama şiddeti olmak üzere) kontrast değerleri hesaplanarak kontrast görüntüleri oluşturulur ve bu yeni görüntülerden Doppler ve şiddet görüntülerine geçilir (Suematsu ve ark. 1995).

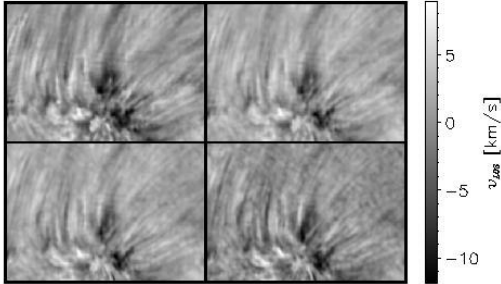
$$C = \frac{(I - I_0)}{I_0} \quad (1)$$

Şekil 1' de 1., 2., 3. ve 4. sütunda sırasıyla $H\alpha \pm 0.5$ Å, $H\alpha \pm 0.6$ Å, $H\alpha \pm 0.7$ Å ve $H\alpha \pm 0.8$ Å için oluşturulan kırmızı ve mavi kanattaki kontrast görüntüleri ile bunlardan elde edilen Doppler ve şiddet görüntüleri görülmektedir. Doppler görüntüsündeki koyu ve açık tonlar sırasıyla aşağı ve yukarı hareketlerin olduğu bölgeleri göstermektedir. Yay şeklindeki ince ipliksi yapıların genişlikleri $0''.5-1''.0$ arasında değişirken uzunlukları farklı atmosferik yüksekliklerde farklı değerler göstermektedir. Bu yöntemin dezavantajı Doppler görüntüsünün mevcut hız değerlerine ait hiçbir sayısal bilgi vermemesidir. Bu nedenle

Tsiropoula ve ark.'ın (1993) çalışmasında da açıklanan 'lambdametre' yöntemi yardımıyla yeniden şiddet ve Doppler görüntüleri oluşturulmuştur. Yöntem incelenen bölgeye ait çizgi profilindeki belirli çizgi genişliğinin referans çizgi profilinde aynı çizgi genişliğine göre gösterdiği yer değiştirme miktarının tespitine dayanmaktadır. Dikkate alınan çizgi genişliği için bulunan kayma miktarı Doppler formülü yardımıyla hızı, çizgi genişliğinin derinliği ise şiddeti vermektedir.



Şekil 2. 0.510 Å, 0.765 Å, 1.020 Å ve 1.275 Å çizgi genişlikleri için oluşturulan şiddet görüntüleri.



Şekil 3. 0.510 Å, 0.765 Å, 1.020 Å ve 1.275 Å çizgi genişlikleri için oluşturulan Doppler görüntüleri.

Şekil 2 ve Şekil 3' de lambdametre yöntemi ile sırasıyla 0.510 Å, 0.765 Å, 1.020 Å ve 1.275 Å çizgi genişlikleri için oluşturulan şiddet ve Doppler görüntüleri verilmiştir. Sonuçta her iki Şekilde de sol üstte ve sağ altta yer alan görüntüler Güneş'in kromosfer tabakasında en yüksek ve en alt atmosferik bölgelere tekabül etmektedir.

Gerek şiddet gerekse Doppler görüntüleri H α çizgisinde yapılan kromosfer gözlemlerinde görünen filamenter yapılar göstermektedir. Şekil 3'deki hız görüntülerinde ortaya çıkan en büyük ve en küçük hız değerleri sırasıyla 8.9 ve -10.7 km/s, 7.4 ve -11.9 km/s, 6.4 ve -10.2 km/s ile 6.9 ve -7.9 km/s'dir.

Bu yapılara ait hız, kaynak fonksiyonu, optik derinlik ve Doppler genişlemesi gibi fiziksel parametrelerin elde edilmesinde özellikle Beckers'in (1964) 'Bulut Modeli' kullanılmaktadır. Modelin uygulanabilmesi için incelenen yapıların H α spektral çizgisinin kor bölgesinin oluşum yüksekliğinin üzerinde yer almaları, diğer bir ifade ile sakin atmosfer üzerinde 'bulut' olarak dikkate alınabiliyor olmaları gerekir. Bu modele göre böyle bir yapı içerisindeki bir elemanın kontrastı;

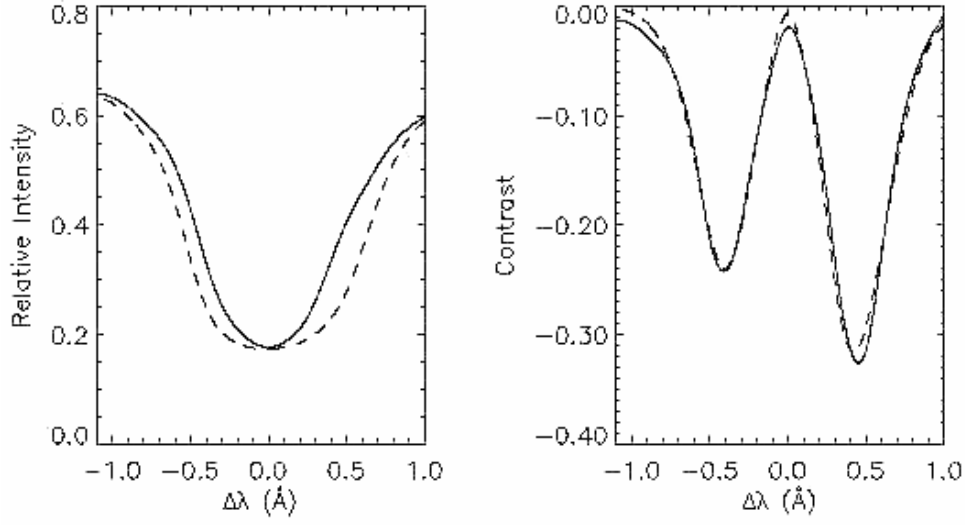
$$C(\lambda) = \frac{I(\lambda) - I_0(\lambda)}{I_0(\lambda)} = \left(\frac{S}{I_0(\lambda)} - 1 \right) \cdot (1 - e^{-\tau(\lambda)}) \quad (2)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Burada $I_0(\lambda)$ hiç bir yapı içermeyen sakin bir bölgeden alınan referans çizgi profilini, S kaynak fonksiyonunu, $\tau(\lambda)$ ise, (3) bağıntısında verildiği gibi, optik kalınlığın dalgaboyuna bağlılığını ifade etmektedir. Son bağıntıda, τ_0 merkezi dalgaboyundaki optik derinliği, $\Delta\lambda_D$ Doppler genişlemesini ve λ_C ise incelenen yapıya ait spektral çizginin merkezi dalgaboyunu göstermektedir.

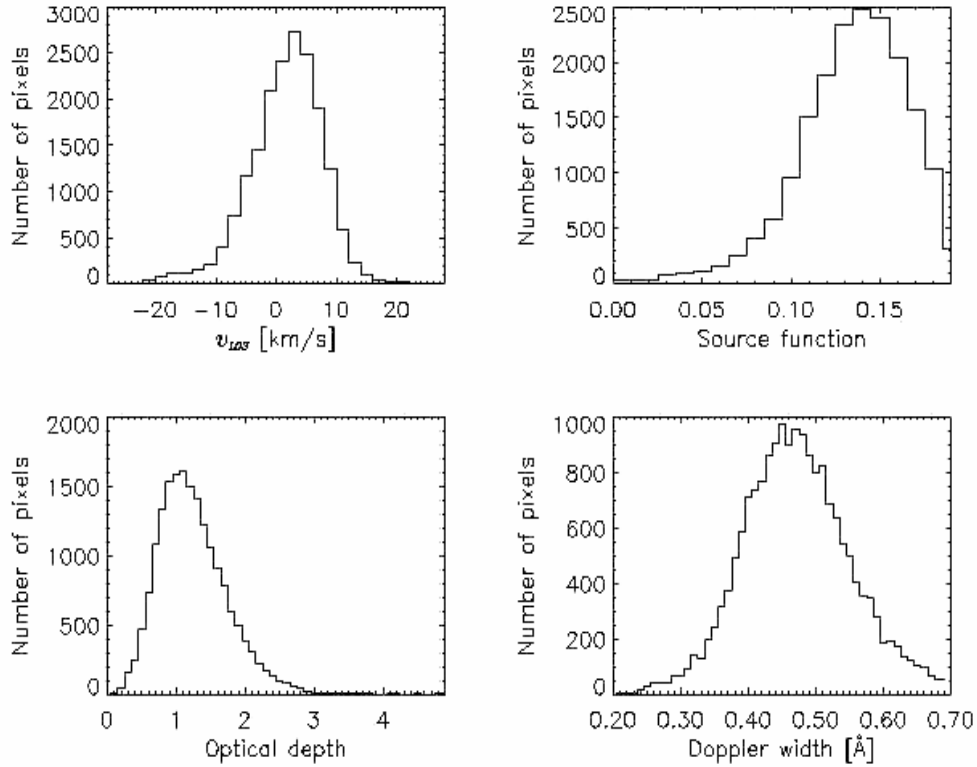
$$\tau(\lambda) = \tau_0 \cdot e^{-\left(\frac{\lambda - \lambda_C}{\Delta\lambda_D} \right)^2} \quad (3)$$

Modelin uygulanmasında hızın, Doppler genişlemesinin ve kaynak fonksiyonunun yapı içerisinde bakış doğrultusu boyunca sabit olduğu kabul edilmektedir (Klasik Bulut Modeli). Çözüme gözlemlerden hesaplanan ve en büyük kontrast değeri 0.1'den küçük olan kontrast profillerine lineer olmayan fonksiyonlar için uygulanan en küçük kareler fiti uygulanarak ve en iyi uyumu veren S , τ_0 , $\Delta\lambda_D$, λ_C parametre seti bulunarak gidilmiştir. Bu işlemlerin sonunda toplam 72450 piksel içerisinde kaynak fonksiyonu 0.2'den ve optik derinliği 5'den küçük olan sadece 18339 piksel bir sonraki incelemeler için dikkate alınmıştır.

Şekil 4'ün solunda bir koyu beneğe ait spektral çizgi profili ile referans çizgi profili sunulmuştur. Aynı şekilde sağda ise incelenen profil için (1) bağıntısına göre hesaplanan gözlemsel kontrast profili ile 'Bulut Model' inden elde edilen teorik kontrast profili verilmiştir. Bu profili veren v (bulut hızı), S , τ_0 ve $\Delta\lambda_D$ değerleri sırasıyla -2.35 km/s, 0.17 I_C (I_C süreklilik şiddeti olmak üzere), 1.96 ve 0.45 Å olarak bulunmuştur.

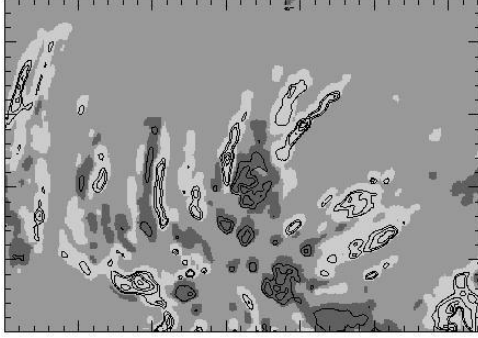


Şekil 4. Solda bir koyu beneğe ait spektral çizgi profili (kesik çizgi) ile referans çizgi profili, sağda ise aynı profil için hesaplanan kontrast profili (kesik çizgi) ile Bulut Modeli'nden elde edilen kontrast profili (düz çizgi) görülmektedir.



Şekil 5. Bulut Modeli'nden elde edilen hız, kaynak fonksiyonu, optik derinlik ve Doppler genişlemesine ait değerlerin histogramları.

Şekil 5'de Bulut Modeli'nden elde edilen parametrelerin histogramları verilmiştir. Hesaplanan hız değerleri 27.9 ile -24.7 km/s arasında kalırken, yığılma 2 - 4 km/s aralığındadır. Burada sunulan dağılımlar için elde edilen ortalama değerler sırasıyla 1.55 km/s, 0.14 I_C , 1.29 ve 0.48 Å'dur. Tsiropoula ve ark. (1993) inceledikleri koyu beneklere ait parametrelerin ortalama değerleri için -0.26 km/s, 0.163 I_C , 1.8 ve 0.37 Å vermişlerdir. Lee ve ark. (2000) da koyu benekleri incelemiş, yapılar içerisinde -15 ile +10 km/s arasında kalan hız değerleri bulmuşlardır.



Şekil 6. Bulut Modeli'nden elde edilen hız değerlerine ait bir kontür haritası.

Şekil 6'da Bulut Modeli'nden elde edilen hız değerlerine ait bir kontür haritası verilmiştir. Şekilde en açık ton hızın 1 km/s'den büyük olan bölgeleri, en koyu olan ise hızın -1 km/s'den küçük olan bölgeleri göstermektedir. Arada kalan bölgede hız değerleri ya sıfıra yakındır yada Bulut Modeli bu bölgelerde uygulanamamıştır.

Optik derinliğin ve Doppler genişlemesinin ortalama değerlerinden itibaren aşağıdaki bağıntı yardımıyla elektronu ikinci seviyede bulunan H'nin sayı yoğunluğu N_2 ile incelenen yapının geometrik genişliği olan L 'nin çarpımını bulmak mümkündür.

$$N_2 L = \frac{1}{0.135 \cdot 10^{-20}} (\tau_0 \cdot \Delta\lambda_D) \quad (4)$$

Yukarıda verilen τ_0 ve $\Delta\lambda_D$ 'nin ortalama değerleri ile $N_2 L$ için $\sim 4.58 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ elde edilmiştir. L için 700 km ($\approx 1''$) alınır, N_2 için $\sim 6.5 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$ bulunur. Bu değer Vernazza ve ark.'nın (1981) çalışmasında verilen ağyapı bölgesi için geçerli olan atmosfer modelindeki parametrelerle karşılaştırılırsa, yapılar ait N_e elektron yoğunluğunu ve sıcaklığı tespit etmek mümkündür. Sonuç itibarıyla her iki büyüklük için sırasıyla $\sim 5.7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ ve 6830° K bulunmuştur.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada Güneş'in kromosfer tabakasında gözlenen bir 'rozet' bölgesinin yüksek uzaysal ayırma güçlü görüntülerine 'lambdametre' metodu uygulanarak farklı çizgi genişlikleri (dolayısıyla farklı atmosferik yükseklikler) için ince yapıların yüksekliğe bağlı morfolojik değişimlerini de yansıtan şiddet ve Doppler görüntüleri oluşturulmuştur. Kendilerini özellikle $H\alpha \pm 0.6 \text{ \AA}$ ve $H\alpha \pm 0.7 \text{ \AA}$ için oluşturulan kontrast görüntülerinde belli eden koyu beneklerin fiziksel özellikleri ise Bulut Model'i yardımıyla incelenmiştir. Bulut hızına ilişkin değerler 27.9 ile -24.7 km/s arasında kalırken, yığılma 2-4 km/s aralığındadır. Bu, Şekil 6'dan da görülebileceği gibi yapılar içerisindeki madde hareketinin yukarıya (gözlemciye) doğru ağırlıklı olduğuna işaret etmektedir. Optik derinlik için bulunan ortalama değer 1.29 civarında olup, beneklerin optik olarak ince olduğunu göstermektedir. İncelenen yapıların sıcaklığı için ise 6830° K bulunmuştur. Bu değer Tsiropoula ve Schmieder'in (1997) verdiği sıcaklık değerleri arasında kalıp, Tziotziou'nun (2003) da bulduğu sıcaklık değerinden ($11\,000^\circ \text{ K}$) küçüktür.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında bu çalışmada incelenen tarama setinin ait olduğu zaman serisi ele alınacak ve beneklerin dinamiğine ilişkin sonuçlara gidilmeye çalışılacaktır.

5. Kaynaklar

- Beckers, J. M. 1964, Doktora Tezi, Utrecht
 Bostancı, Z. F. 2004, Yüksek Lisans Tezi, İ. Ü. Fen Bilimleri
 Hirzberger, J., Koschinsky, M., Kneer, F. ve Ritter, C. 2001, A&A, 367, 1011
 Koschinsky, M., Kneer, F. ve Hirzberger, J. 2001, A&A, 365, 588
 Lee, C. Y., Chae, J. ve Wang, H. 2000, ApJ, 545, 1124
 Suematsu, Y., Wang, H. ve Zirin, H. 1995, ApJ, 450, 411
 Tsiropoula, G., Alissandrakis, C. ve Schmieder, B. 1993, A&A, 271, 574
 Tsiropoula, G. ve Schmieder, B. 1997, A&A, 324, 1183
 Tziotziou, K., Tsiropoula, G. ve Mein, P. 2003, A&A, 402, 361
 Vernazza, J. E., Avrett, E. H. ve Loeser, R. 1981, ApJS, 45, 635
 von der Lühe, O. 1984, J. Opt. Soc. Am., A1, 510
 Weigelt, G. P. 1977, Optics Comm., 21, 55
 Zawaharidis, Th. G., Dara, H. C., Alissandrakis, C. E., Koutchmy, S. ve Contidakis, C. 2001, Sol. Phys., 202, 41