

11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması Sırasında Kutup Tüycükleri Gözlemleri

T. Özışık¹, N. Al², A. Ökten²

¹TÜBİTAK Ulusal Gözlemevi

²İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü

Özet

Bu çalışmada, 11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması sırasında Güneş Koronası'nda kutuplar civarında gözlenen "Kutup Tüycükleri" nin oluşum yerleri, boyutları ve şekilleri ortaya konmuştur. Bunun için Elazığ'da kurulan gözlem yerleşkesinde Meade LX200 modeli, 20 cm açıklıklı, f/6.3 bir teleskop ve buna bağlı 768x512 piksel formatında CCD kamera kullanılarak gökyüzünde 1.4"/piksel uzaysal çözünürlük elde edilmiştir. Bilgisayar yardımıyla Güneş kutuplarına otomatik olarak yönlendirilen bu sistemle, toplam 2dak 03san olan tam tutulma safhasında 9 adet yüksek çözünürlüklü beyaz ışık CCD görüntüsü alınmıştır. İndirgemeler sonucunda Güneş'in kuzey kutup bölgesinde tespit edilmiş iki aday yapının bazı özellikleri verilerek uydu görüntüleriyle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş tutulması, tutulma gözlemi, kutup tüycükleri, CCD görüntüleme, otomatik teleskop kontrolü, görüntü işleme.

1. GİRİŞ

Güneş tutulmaları sırasında koronal deliklerin içinde veya yakınlarında gözlenebilen kutup tüycüklerinin özellikleri Newkirk ve Harwey (1968) tarafından yapılan bir çalışmada ayrıntılı olarak verilmiştir. Son yıllarda SOHO uydusu (Solar and Heliospheric Observatory) tarafından koronal deliklerin yapısı ve buralardaki yüksek hızlı madde fıskırmalarını incelemek üzere programlı gözlemler yürütülmüştür. Bu incelemelerde kutup tüycüklerine ait daha ayrıntılı, sadece tutulmalar gibi zamana bağlı olmayan ve farklı dalgaboyu bölgelerinde veriler elde edilmiştir (DeForest ve Gurman, 1998; DeForest ve ark., 1997; Fleck, 1997; Hassler, 2000; Li ve ark., 2000; Lites ve ark., 2000; Wilhelm ve ark., 1998).

Kutup tüycükleri hakkında şimdiye kadar elde edilmiş bazı temel özellikler şöyledir:

- Kutup tüycükleri, Güneş'in kutupları yakınlarında görünür, morötesi ve yumuşak X-ışınları bölgelerinde görünen doğrusal yapılardır.
- Yoğunlukları, kendilerini çevreleyen ortamdan daha fazla olduğundan dolayı tabanlarına yakın bölgelerde kuvvetli bir ısıtma mekanizması olmalıdır.
- Bir senaryoya göre kutup tüycükleri, bir koronal delik içerisinde hakim polariteli büyük bir akı bölgesi ile zıt polariteli daha küçük bir akı bölgesinin etkileşimi sonucu oluşurlar (Wang ve ark., 1997).
- NeVIII (770 Å) bölgesindeki görüntülerden kutup tüycükleri için tipik genişlik 30" (~22 000 km) olarak verilmekte, uzunluklar diskten dışarı doğru 50-100 bin km kadar olabilmektedir.
- Kutup tüycüklerinin Güneş rüzgarlarının kaynağı olabileceğine dair kesin bir kanıt elde edilememiştir.

Bu çalışmada, diğer tutulma gözlemlerinde de kullanılabilecek otomatik yönlendirmeli bir gözlem sistemi geliştirilmiş, 11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması sırasında bu gözlem sistemi ile yapılan gözlemlerden elde edilen veriler üzerinde muhtemel kutup tüycüklerinin yerleri, boyutları ve şekilleri ile bunların koronal deliklerin nerelerinde olduğu araştırılmıştır.

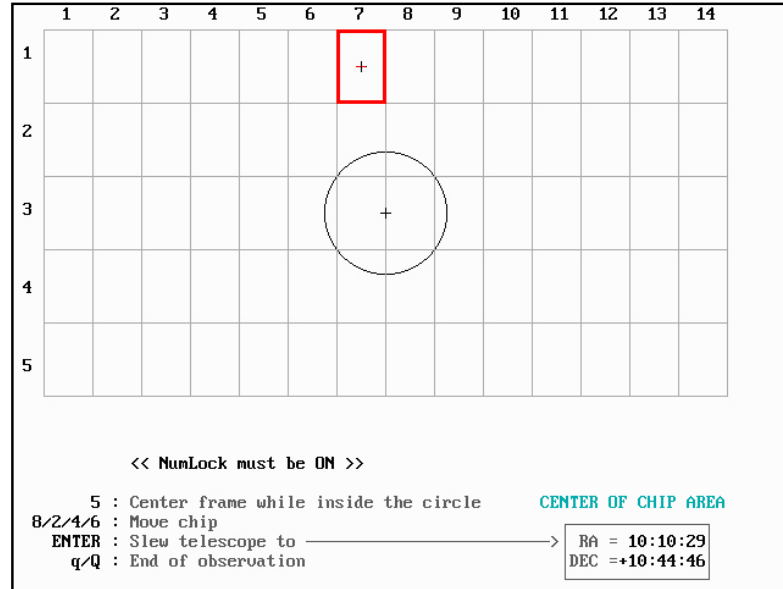
2. GÖZLEM SİSTEMİ VE KUTUP TÜYCÜKLERİ GÖZLEMİ

Güneş'in her iki kutup bölgesinde koronanın yüksek ayırma güçlü beyaz ışıktaki görüntülerini alabilmek için 20 cm açıklıklı, f/6.3 Meade LX200 modeli bir teleskop kullanılmıştır. Bu teleskobun odak düzlemine 16-bit dinamik aralığa sahip herbiri 9x9 mikronluk 768x512 adet piksele sahip bir CCD kamera yerleştirilmiştir (Şekil-1). Bu sistemle Güneş üzerinde elde edilecek ayırma gücü $\sim 1.4''$ /piksel ve görüş alanı da $18' \times 12'$ olmuştur. CCD kameranın kontrol edilmesi ve görüntülerin bilgisayar diskine hızlı aktarılması için "SCSI" arabirimi kullanılmıştır. Sistemin performansını ölçmek için Dolunay ile İstanbul Üniversitesi Gözlemevi ve Elazığ'daki tutulma yerleşkesinde yapılan test gözlemlerinden, poz süresinin 5 ms olması gerektiği ve tam çözünürlükte bir CCD görüntüsünün (768x512 piksel, 65536 gri seviye) diske yüklenme süresinin de 14 saniye olduğu saptanmıştır. Buradan, Elazığ'da 2dak 03san süren tam tutulma safhası boyunca herşey yolunda giderse en fazla 9 görüntü alınabileceği anlaşılmıştır.



Şekil-1 Meade LX200 teleskop, CCD kamera ve kılavuz teleskopta bulunan video CCD kamera.

Kısa sürecek ve hatasız gerçekleşmesi gereken böyle bir gözlem için Güneş'in kuzey kutup bölgesinden 4, merkezden 1 ve güney kutup bölgesinden de 4 görüntü alacak şekilde mozaik bir gözlem metodu tasarlanmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için, bilgisayarla kontrol desteği bulunan teleskopu daha önceden koordinatları tespit edilen bu bölgelere hızlı bir şekilde hatasız yönlendirebilecek bir yazılım hazırlanmıştır. Bu yazılım, bilgisayar ile teleskopun RS232 arabirimi ile heberleşmesini sağlayarak gözlemcinin teleskopu hatasız olarak Güneş koronası üzerinde istenen bölgelere yönlendirebilmesini sağlamıştır. (Şekil-2).

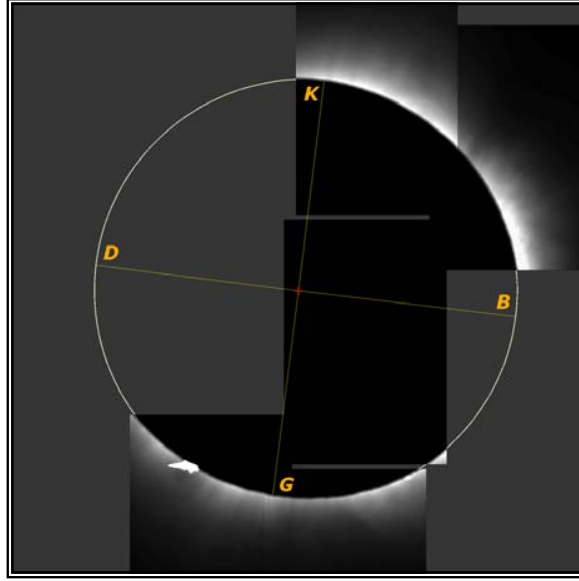


Şekil-2 Teleskop kontrol yazılımının matris benzeri ekran görüntüsü. Daire Güneş'i ve dikdörtgen ise CCD'nin görüş alanını temsil etmektedir. Gözlemci, klavyedeki yön tuşları yardımıyla, dikdörtgen kılavuzu ekrandaki herhangi bir matris elemanına (dolayısıyla teleskopu Güneş civarında bir bölgeye) yönlendirebilmektedir.

Teleskopun yönlenmesini kontrol etmek ve tüm tutulmanın daha düşük çözünürlüklü fakat geniş alanlı bir video kaydını yapabilmek için 8x50'lik kılavuz teleskopa da bir video CCD kamera bağlanmıştır. Bu video sinyali bir monitöre ve video kayıt cihazına gönderilmiştir. Tam tutulma dışındaki Güneş diskini ve parçalı safhaları görüntüleyebilmek için ana teleskopta ve kılavuz teleskopta 10^{-5} geçirgenlikli ve tam açıklıklı cam Güneş filtreleri kullanılmıştır.

Tam tutulma safhası başladığı anda iki PC türü bilgisayarda biri CCD kamerayı kontrol etmek, diğeri de teleskobu sırasıyla hedef bölgelere yönlendirmek üzere iki çalışmacı 2dak 03san boyunca

adeta “hipnotize” bir şekilde gözlemi gerçekleştirmişlerdir. Gözlem sırasında, Şekil 2’den takip edilebileceği üzere, (1,7), (1,8), (2,7), (2,8), (4,7), (4,8), (5,7), (5,8) ve bir de disk merkezinden planlandığı gibi 9 adet CCD görüntüsü alınmıştır. Tam tutulmayı müteakip, görüntülerin kalibrasyonu için de parçalı tutulma safhası sırasında gökyüzünün temiz bir bölgesinden Düz Alan, teleskop açıklığı kapatılmak suretiyle de Kara Akım görüntüleri alınmıştır. Tam tutulmaya ait görüntüler incelendiğinde sebebini anlayamadığımız bir şekilde teleskopun (2,7) bölgesi yerine (2,9) bölgesine yönlendiği görülmüştür. Sonuç olarak başarılı geçen bu deney sırasında alınan görüntülerden (2,9), (2,8), (4,7), (4,8) ve bir de merkez civarındaki görüntü seçilerek montajlanmış bir görüntü oluşturulmuştur (Şekil-3).



Şekil-3 11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması sırasında alınmış CCD görüntülerinden oluşturulmuş iç koronaya ait görüntü.

3. VERİ İNDİRGEME

Öncelikle, CCD görüntülerinin kalibrasyonları için alınan düz alan ve kara akım görüntülerinden ortalama bir düz alan ve kara akım görüntüsü hesaplanmıştır. Sonra, tam tutulma safhasına ait görüntülerden önce ortalama kara akım görüntüsü çıkartılmış sonra da bu görüntüler ortalama kara akım görüntüsü çıkartılmış düz alan görüntüsüne bölünerek temizlenmiş görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntüler incelendiğinde kuzey kutup bölgesindeki iki ilginç yapının kutup tüycüğü adayı olabileceği düşünüldükçe, aşağıda adımları verildiği şekilde, ayrıntılı incelemesi yapılmıştır.

Kuzey kutup noktası civarında incelenecek bölgenin seçimi: Ayrıntılı inceleme amacıyla biri Güneş’in kutup noktasının doğu tarafında, diğeri de batı tarafında kalan iki yapıyı içeren bir CCD görüntüsü seçilmiş (2,8) ve bu görüntü içinde de kenar eğriliği ihmal edilebilecek şekilde 160x380 piksellik bir bölge üzerinde çalışılmıştır.

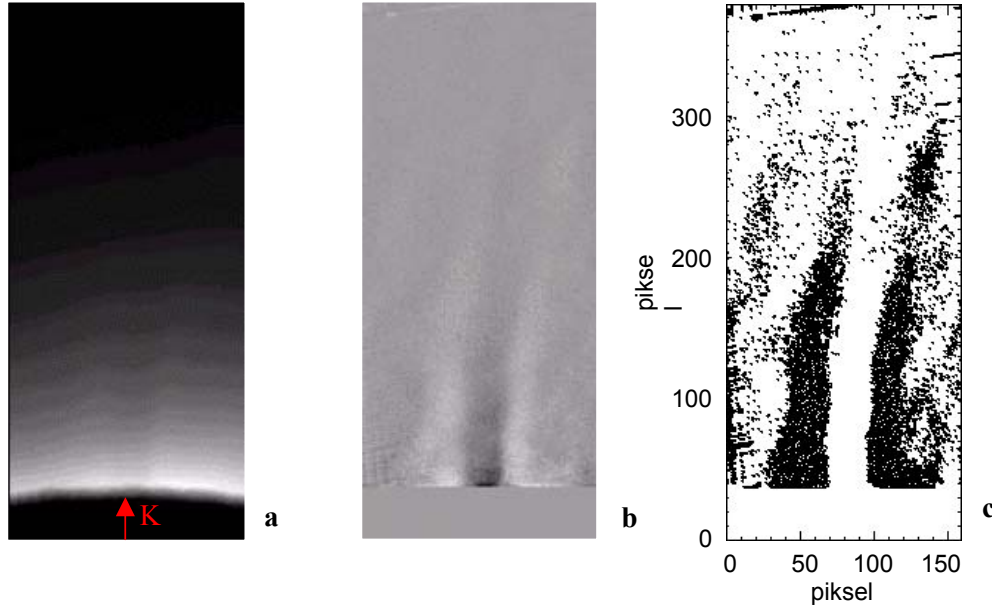
Disk kenarından dışarı doğru yüzey aydınlatmasının indirgenmesi: Güneş diskinden gelen ışınının iç koronayı aydınlatması sonucu görüntüde yukarı doğru azalan bir aydınlanma oluşur. Bunu kaldırmak için görüntüdeki her satıra yükseklikle azalan aydınlanmayı temsil eden 3. dereceden bir polinom fiti uygulanmış ve elde edilen bu fit verisi uygulandığı satırdan çıkartılmıştır.

Disk kenarından itibaren yoğunluk değişimleri: Gözönüne alınan yapılar boyunca disk kenarından itibaren seçilen 1.1, 1.2 and 1.3 R_☉ yüksekliklerinde şiddet değişimlerine bakılmıştır.

Otokorelasyon fonksiyonunun hesaplanması: Yukarıda belirlenen yüksekliklerdeki şiddet değişimleri ve bu değişimlerin aralıklarına bakılmıştır..

Ortalama Güç Spektrumunun hesaplanması: İncelenen yapılara ait bazı boyutların ortaya konması için her satır boyunca uygulanan güç spektrumlarının ortalaması alınarak bir grafik oluşturulmuştur.

İncelenmek üzere seçilen bölge, indirgemeler için gerektiği üzere, Ay kenarı yatay eksene paralel olacak şekilde döndürülmüştür. Bu bölge ve disk aydınlanmasının ortadan kaldırılarak incelenecek yapıların daha da belirgin olduğu görüntü Şekil-4a ve b'de verilmiştir. Şekil-4b'deki düzeltilmiş görüntüye ait eşyoğunluk haritası da Şekil-4c'de verilmiştir. Aday yapıların doğrusal olarak koronada yaklaşık 250 000 km kadar dışarıya doğru uzandıkları ve açık manyetik alanların bir göstergesi olarak da dönme eksenini ile batı yönüne doğru belirgin bir açı yaptıkları söylenebilir. Burada yapıların uzanımlarının kullanılan poz süresi ile doğru orantılı olduğunu da unutmamak gerekir.



Şekil-4 (a) İncelenmek üzere seçilen ve kalibrasyonu yapılmış beyaz ışık CCD görüntüsü. K doğrultusu Güneş'in Kuzey kutbunu göstermektedir. (b) Bu bölgedeki disk aydınlatmasının çıkartıldığı ve aday yapıların daha belirgin olduğu görüntü. (c) Bölgenin eşyoğunluk haritası.

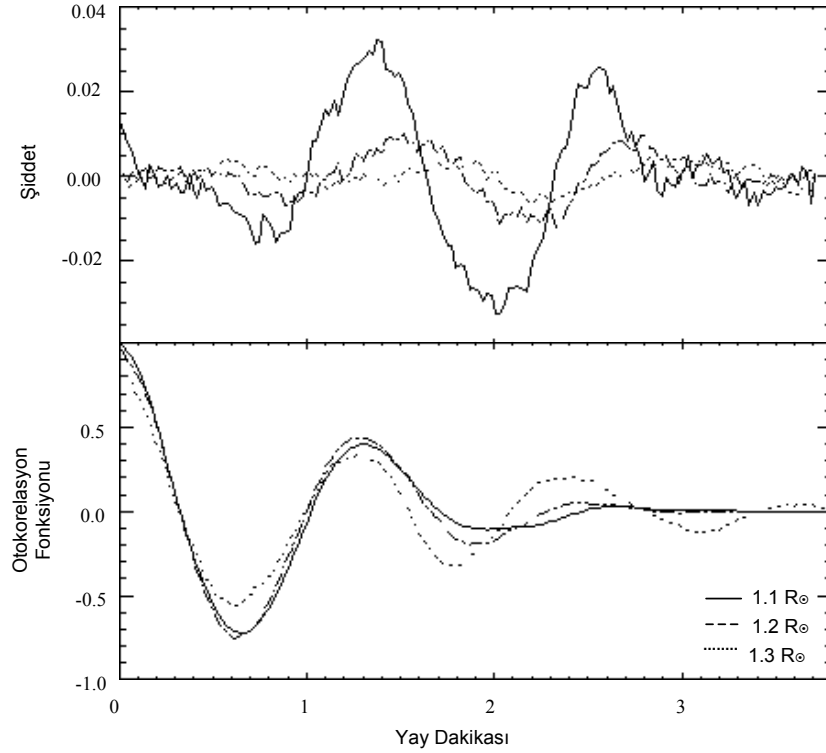
Düzeltilmiş görüntü üzerinde Güneş diski kenarından itibaren farklı yüksekliklerdeki (1.1, 1.2 and 1.3 $R_{\odot}$) şiddet değişim profilleri ve bunlara karşılık gelen otokorelasyon fonksiyonları Şekil-5'te verilmiştir. Otokorelasyon fonksiyonundan yararlanarak görülen yapıların genişlikleri ve aralarındaki mesafeler tespit edilmiş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. İki aday yapının disk kenarından itibaren belirli yüksekliklerdeki genişlikleri ve aralarındaki mesafe.

Disk Kenarından Yükseklik ($R_{\odot}$)	Genişlik (")	Ara Mesafe (")
1.1	34.2	75.6
1.2	34.6	72.8
1.3	29.9	75.6

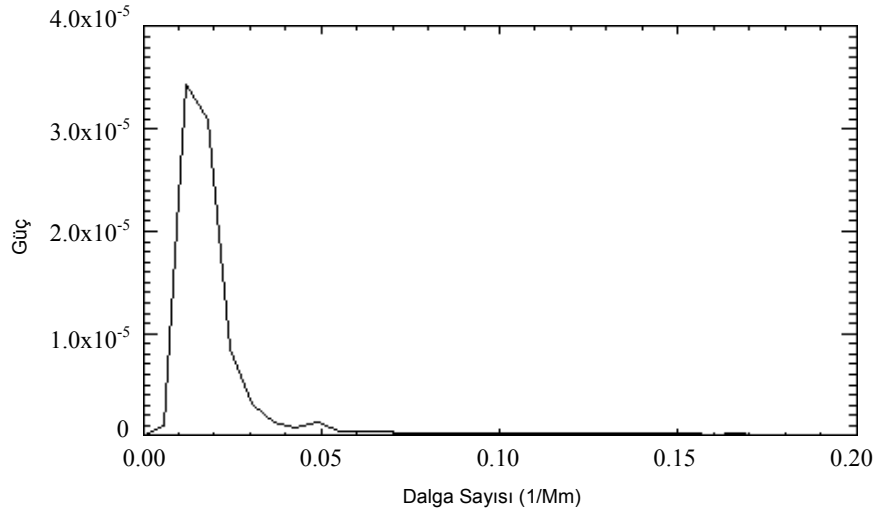
Şekil-4b'de verilen düzeltilmiş görüntüye ait iki-boyutlu veride her satırın güç spektrumu alınmış ve tüm bunların ortalaması alınarak Şekil-6'daki ortalama güç spektrumu oluşturulmuştur. Bu grafikten görüleceği üzere maksimum değerlere karşılık gelen dalgasayısı aralığı 0.01-0.02 (1/Mm) olmaktadır ((Mm: Mega Metre). Burada, dalgasayısından dalgaboyuna geçecek olursak;

$$\begin{aligned} \text{Dalgasayısı} &= 1/\text{Dalgaboyu} & (16 \times 60)'' & \times 700\,000 \text{ km} \\ & & & \times 10^5 \text{ km} \\ 1/0.01 &= 100 \text{ Mm} \rightarrow 10^5 \text{ km} \end{aligned}$$



Şekil-5 Disk kenarından itibaren üç farklı yükseklikte yatay doğrultu boyunca şiddet değişimleri (üstte) ve bu değişimlere ait otokorelasyon grafiği (altta)

$x=137''$ olarak bulunur. Benzer şekilde 0.02 1/Mm için de $69''$ bulunur. Bunların yarılarından da, Şekil 4c'den görüleceği gibi, bu yapıların taban ve ortalama genişlikleri $68''$ ve $35''$ olarak belirlenmiş olur. Grafikte ikinci fakat çok zayıf bir tepe noktası da 0.05 (1/Mm) olarak $28''$ lik bir değer vermektedir.

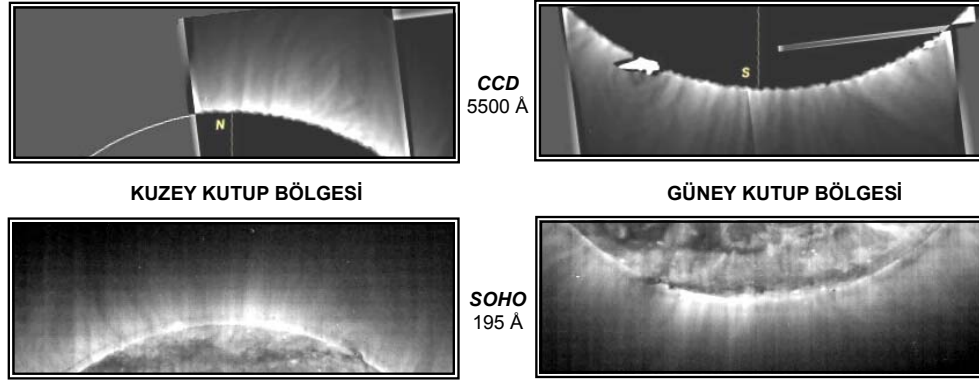


Şekil-6 İncelenen yapıların taban ve ortalama genişliklerinin bulunması için hesaplanan güç spektrumu.

5. SONUÇ

Bu çalışmada 11 Ağustos 1999 Tam Güneş Tutulması sırasında Güneş'in Kuzey kutup noktası civarında gözlenen iki belirgin kutup tüycüğü adayının yerleri, boyutları ve şekilleri saptanmıştır. Benzer bu iki yapı 1.3 Güneş yarıçapına kadar uzanmakta ve madde yoğunluğunda diskten dışarı doğru %80'lere varan bir azalma olmaktadır. Tutulma günü için Güneş'e ait Kitt Peak 10830 Å

görüntüsü, Sacramento Peak FeXIV koronal haritası ve SOHO görüntülerinden, her iki kutup bölgesinde önemli bir koronal delik olmadığı görülmüştür. Tutulma sırasında SOHO uydusundan alınan Güneş görüntüleri ile tarafımızdan alınan görüntülerin bir karşılaştırılması yapılarak Şekil-7'de verilmiştir. Buradan, incelenen yapıların birer koronal tüycük olduğu ve bölgede daha başka aday yapıların da olduğu rahatça söylenebilir. Beyaz ışıktaki yer temelli koronal tüycük gözlemlerinin son derece az olması, bu çalışmada tasarlanan gözlem sistemi ile elde edilen iç koronaya ait yüksek ayırma güçlü görüntüler ve elde edilen ilk sonuçlar daha ilerideki benzer çalışmalar için ümit vericidir.



Şekil-7 Her iki kutup bölgesi civarında beyaz ışıktaki CCD görüntüleriyle SOHO uydusundan alınan görüntülerin karşılaştırılması. İki farklı dalgaboyundaki yapıların benzerlikleri dikkat çekicidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Gözlemevi, Araştırma ve Uygulama Merkezi, İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu (UP-15/16031999 ve UP-16/16031999 no'lu projeler), TÜBİTAK (Bulgar/554 no'lu proje) ve Bulgaristan Ulusal Bilim Fonu (815/98 no'lu proje) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca gözlem sitesinin hazırlanmasındaki gayretlerinden dolayı Elazığ Fırat Üniversitesi'nin idari ve akademik personeline minnettarız. Tüm çalışma boyunca yardımlarından dolayı Ali Kılçık, Z. Funda Bostancı ve Burcu E. Özgür ile Gürcistan Tutulma ekibi elemanlarına da teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- DeForest C. E., Hoeksema J. T., Gurman J. B., Thompson B. J., Plunkett S. P., Howard R., Harrison R. C., Hassler D. M., *Polar Plume Anatomy: Results of a Coordinated Observation*, Sol. Phys., **175**, No.2, 1997, 393-410.
- DeForest C. E., Gurman J. B., *Observation of Quasi-Periodic Compressive Waves in Solar Polar Plumes*, The Astrophysical Journal, **501**, 1998, L217-L220.
- Fleck B., *The First Results from SOHO*, Solar Physics, **175**, No.2, 1997.
- Hassler D. M., Dammasch I. E., Lemaire P., Brekke P., Curdt W., Mason H. E., Vial J.-C., Wilhelm K., *Solar Wind Outflow and the Chromospheric Magnetic Network*, Science, **283**, No. 5403, 1999, 749-892.
- Hassler D. M., *Spectroscopic Observations of Polar Plumes with SOHO/SUMER*, Last Total Solar Eclipse of the Millenium (Eds. W. Livingston and A. Özgüç), ASP Conference Series, **205**, 2000, 83.
- Li J., Kuhn J., Labonte B., Raymond J. C., Acton L. W., *Global Solar Corona Revealed by Time Series Observations*, The Astrophysical Journal, **538**, 2000, 415-423.
- Lites B. W., Card G., Elmore D. F., Holzer T., Lecinski A., Streander K. V., Tomczyk S., Gurman J. B., *Dynamics of Polar Plumes Observed at the 1998 February 26 Eclipse*, Sol. Phys., **190**, 2000, 185-206.
- Newkirk G., Harvey J., *Coronal Polar Plumes*, Sol. Phys., **3**, 1968, 321-343.
- Wang Y.-M., Sheeley N. R. Jr., Dere K. P., Duffin R. T., Howard R. A., Michels D. J., Moses J. D., Harvey J. W., Branston D. D., Delaboudiniere J.-P., Artzner G. E., Hochedez J. F., Defise J. M., Catura R. C., Lemen J. R., Gurman J. B., Neupert W. M., Newmark J., Thompson B., Maucherat A., Clette F., *Association of Extreme-Ultraviolet Imaging Telescope (EIT) Polar Plumes with Mixed-Polarity Magnetic Network*, Astrophysical Journal Letters, **484**, 1997, L75-L78.
- Wilhelm K., Marsch E., Dwivedi B. N., Hassler D. M., Lemaire P., Gabriel A. H., Huber M. C. E., *The Solar Corona above Polar Coronal Holes as seen by Sumer on SOHO*, The Astrophysical Journal, **500**, 1998, 1023-1038.