

Beyaz Işık Gözlemlerine Spekl Yönteminin Uygulanması

Asuman Gültekin¹, Adnan Ökten¹

¹ İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34452, Üniversite/Beyazıt/İstanbul
asumangultekin@hotmail.com, aokten@istanbul.edu.tr,

Özet: Bu çalışmada Kanarya adalarından biri olan Tenerife adasındaki Vakum Kule Teleskopu'yla, Güneş'in disk merkezine yakın bir bölgede 30 ms'lik poz süreleri ile alınan 144 adet granülasyon görüntüsüne spekl yöntemi uygulanmıştır. Yeniden oluşturma işlemlerinin sonunda Arz atmosferinin bozucu etkilerinin uzaklaştırıldığı tek bir görüntü elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş: fotosfer– teknik: görüntü işleme

Abstract: In this work, speckle technique has been applied to 144 images of solar granulation in a region near solar disc center, which were observed with the Vacuum Tower Telescope at Tenerife, Canary Islands. Exposure time was 30 ms. In the end of the reconstruction processes, one image from which deleterious effects of the Earth's atmosphere were eliminated has been obtained.

Key words: The Sun: Photosphere – technique: image processing

1. Giriş

Güneş fotosferindeki küçük ölçekli yapıları yüksek uzaysal ayırma gücü ile gözlemek önemlidir. Büyük açıklıklı güneş teleskopları teorik olarak yüksek ayırma gücüne sahip olsa da, Arz atmosferi, istenilen çözünürlükte görüntü elde etmeye engel olur. Spekl yöntemi ile Arz atmosferinin görüntüler üzerindeki bozucu etkisi uzaklaştırılabilmektedir. Spekl interferometrisi ilk olarak Antonie Labeyrie (1970) tarafından ortaya konmuş daha sonra Güneş gözlemlerine uygulanarak sürekli geliştirilmiştir.

Spekl yönteminde, atmosferik değişiklikler için geçerli olan zaman aralığından daha kısa poz süresiyle (görünür bölgede ≤ 20 milisaniye) alınmış, art arda çok sayıda (100'den fazla) görüntü çeşitli görüntü işleme tekniklerinden geçirilir. Poz süresinin bu kadar kısa tutulmasıyla atmosferik değişiklikler dondurulmuş olur. Spekl yönteminde atmosferik çalkantıdan dolayı birbirinden farklı olan ardışık görüntülerden Fourier uzayında çeşitli ortalamalar kullanılarak tek bir görüntü elde edilir.

2. Spekl Yöntemi

Gözlemle elde edilen bir görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümü, ideal bir teleskopla gözlenen kaynağın, atmosferin bozucu etkisinin olmadığı durumdaki gerçek görüntüsünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümü ile atmosfer ve

teleskoptan oluşan sisteminin optik transfer fonksiyonunun çarpımıdır. Bu çarpım aşağıdaki gibi verilir;

$$F_i(\vec{s}) = F_o(\vec{s})S_i(\vec{s}) \quad (1)$$

\vec{s} , iki boyutlu uzaysal frekanstır. $F_i(\vec{s})$, N tane görüntüden oluşan bir serinin i. görüntüsünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümü, $F_o(\vec{s})$ ise gerçek görüntünün şiddet dağılımının Fourier dönüşümüdür. $S_i(\vec{s})$, i. görüntünün alındığı anda atmosfer ve teleskoptan oluşan görüntüleme sisteminin nokta dağılım fonksiyonunun Fourier dönüşümü, başka bir deyişle anlık optik transfer fonksiyonudur (OTF). OTF, kaynağın orijinal şiddet dağılımıyla karşılaştırıldığında odak düzlemindeki bir görüntüdeki bilgi kaybını belirler. $F_o(\vec{s})$ yani Fourier genliklerinin tespiti için N adet görüntüden oluşan serinin ortalama güç spektrumu hesaplanır. Güç spektrumlarının ortalaması yani Fourier dönüşümlerin mutlak değerlerinin karelerinin ortalaması aşağıdaki gibidir;

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i(\vec{s})|^2 = |F_o(\vec{s})|^2 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |S_i(\vec{s})|^2 \quad (2)$$

ya da

$$\langle |F(\vec{s})|^2 \rangle = |F_o(\vec{s})|^2 \langle |S(\vec{s})|^2 \rangle \quad (3)$$

şeklinde verilir. Buradaki açılı parantezler ortalamayı gösterir. $\frac{1}{N} \sum |S_i(\vec{s})|^2$ terimine, yani anlık optik transfer fonksiyonunun güç spektrumuna, spekl transfer fonksiyonu (STF) denir. Spekl transfer fonksiyonu bilindiği takdirde ortalama güç spektrumu ve Fourier genliği ($F_o(\vec{s})$) elde edilebilir. Spekl transfer fonksiyonunun belirlenmesi için öncelikle Fried parametresinin hesaplanması gerekir. Fried parametresi (r_o), yüksek açılal frekanslardaki bilginin spekl interferometrisi ve spekl görüntüleme teknikleriyle tekrar kazanılması için önemlidir. Fried parametresini hesaplamak için spektrel oran tekniği (Sanchez ve ark., 1992) kullanılır. Bu tekniğin esası, bir serideki görüntülerin Fourier dönüşümlerinin ortalamasının mutlak değerinin karesi ile görüntülerin güç spektrumlarının ortalamasının oranına dayanır. Bu iki niceliği oranlarsak,

$$\text{Spektrel Oran } \varepsilon = \frac{\left| \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F_i(\vec{s}) \right|^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i(\vec{s})|^2} \quad (4)$$

$$= \frac{|F_o(\vec{s})|^2 \langle |S_i(\vec{s})|^2 \rangle}{|F_o(\vec{s})|^2 \langle |S_i(\vec{s})|^2 \rangle} = \frac{\langle |S_i(\vec{s})|^2 \rangle}{\langle |S_i(\vec{s})|^2 \rangle} \quad (5)$$

elde edilir. Bu oran gözlenen cisimden bağımsız ve sadece atmosferik değişimlerin istatistiklerine bağlıdır. Spektrel orandan yola çıkarak r_o (cm),

$$r_o = A s^B D \quad (6)$$

bağıntısından hesaplanır. s , spektrel oranın (ε) 0.5, 0.3, 0.2 ve 0.1 değerlerini aldığı dalga sayısıdır. A ve B, spekl oranın değerine bağlı sabitlerdir. D, teleskopun açıklığıdır. Spektrel oranın verilen bu dört farklı değeri için dört farklı s , A, B ve r_o değeri elde edilir. Buradaki A ve B sabitleri, de Boer (1993)'un verdiği modellerden alınmıştır.

Tablo.1. Spektrel oranının dört farklı değerine karşılık gelen A ve B sabitleri.

ε	A	B
0.5	1.030	1.063
0.3	0.753	0.992
0.2	0.626	0.939
0.1	0.492	0.873

r_o , atmosferden kaynaklanan Fourier genliklerindeki azalmanın telafi edilip, genliklerin yeniden oluşturulması için gerekli uygun bir STF modelinin

bilgisayarda hesaplanmasında kullanılır. Hesaplamalar sırasında genellikle r_o yerine,

$$\alpha = r_o / D = A s^B \quad (7)$$

yani görüş parametresi kullanılır.

Bir cismin gerçek görüntüsünü elde etmek için Fourier genlikleri ile beraber Fourier fazlarını da belirlemek gerekir. Atmosferin bozucu etkisi altındaki görüntülerin fazlarını yeniden oluşturmak için spekl maskeleyme yöntemi kullanılır (Pehlemann, E ve ark., 1989, De Boer, C.R., 1996).

3. Gözlemler

Bu çalışmada kullanılan gözlemler 2 Mayıs 2002 tarihinde, Kanarya adalarından biri olan Tenerife'de, açıklığı 70cm olan Vakum Kule Teleskopu'yla yapılmıştır. Görüntüler Güneş'in disk merkezine yakın ve kromosfer tabakasında zayıf bir aktivite gösteren bir bölgeden alınmıştır. Gözlem süresince yarı şiddetdeki tam genişliği 50 Å ve merkezi dalgaboyu 6563 Å olan bir girişim filtresi ile 30 ms poz süresi kullanılarak toplam 144 adet beyaz ışık görüntüsü (bir seri) alınmıştır. Görüntülerin bilgisayarın geçici hafızasına kaydedilmesi ve oradan da sabit diske aktarılması 49 saniyede gerçekleşmiştir. Ayrıca indirgemelerde kullanılmak üzere 20 adet 30 ms 'lik poz süresi ile kara akım görüntüsü ve 144 adet düz alan görüntüsü alınmıştır. Görüntülerin alınmasında bir CCD kamera kullanılmıştır. CCD'nin boyutları 384x286 pikseldir. Piksel başına 0".1 'lik çözünürlükten dolayı CCD'nin görüş alanı 38".4x28".6'dır.

4. İndirgemeler

4.1. Ön İşlemler

Spekl yönteminin bir seriye uygulanmasından önce bütün görüntüler için kara akım ve düz alan düzeltmeleri yapılır. Öncelikle ortalama kara akım görüntüsü ve ortalama düz alan görüntüsü oluşturulur. Ortalama kara akım görüntüsü, tek tek her bir beyaz ışık görüntüsünden çıkarılır. Daha sonra görüntüler, ortalama düz alan görüntüsü ile elde edilen bir kazanç tablosu görüntüsüne bölünür.

Kara akım ve düz alan düzeltmeleri ile beyaz ışık görüntüleri, CCD 'nin, üzerine hiç ışık düşmediği zaman ürettiği sahte sinyallerden yani elektronik gürültüden ve optik parçalar ile CCD üzerindeki kir, toz vs. gibi Güneş'e ait olmayan istenmeyen yapılardan arındırıldıktan sonra görüntü hareketi için düzeltme yapılır.

Bir seri içindeki görüntüler art arda ekrana getirilip izlendiğinde sağa sola, yukarı aşağı bir görüntü hareketinin olduğu görülür. Seri içindeki görüntülerin birbirlerine göre bu şekildeki

hareketleri, rüzgarın sebep olduğu ayna sarsıntılarında kaynaklanmaktadır. Spekl yönteminin uygulanabilmesi için serideki görüntüler içinde bir referans görüntünün belirlenmesi ve diğerlerinin referans görüntüye göre ne kadar kaydığının diğer bir deyişle hareket miktarının hesaplanması gerekir. Görüntülerdeki kaymaların düzeltilmesiyle bütün görüntülerin aynı görüş alanına sahip olmaları sağlanır. Her bir görüntünün referans görüntüye göre kayma miktarının hesaplanması, görüntülerin referans görüntüyle çapraz korelasyonuna dayanır. Çapraz korelasyonun maksimum olduğu yerin koordinatları referans görüntü ile işleme alınan görüntü arasındaki kaymayı verir. Bir serideki referans görüntü, o taramada kontrastı en büyük olan görüntüdür.

4.2. Görüntülerin Bölünmesi

Spekl yönteminin Güneş gibi yüzey gösteren kaynaklara uygulanması sırasında eş düzlem olmama (anisoplanatism) sorunuyla karşılaşılır. Bu sorunun kaynağı atmosferdeki çalkantıdır. Eş düzlemde bulunmama sorununun üstesinden gelmek için bir serideki bütün görüntüler, Arz atmosferinde kırılma indisinin aynı olduğu bölgenin boyutuna eşit boyutlardaki alt alanlara bölünürler.

Bütün görüntüler, her biri 64x64 piksel boyutlarında, yatay ekseninde 8, dikey ekseninde 6 adet olacak şekilde 48 parçaya bölünür. Daha sonra Güneş'in aynı bölgesini gören 144 adet alt alan görüntüsü bir dosyaya kaydedilir. Böylece her birinde 144 alt alan içeren 48 alt alan serisi olmuş olur. Bundan sonraki adımlarda bu alt alanlar ayrı ayrı spekl görüntüleme işlemlerden geçirilir. Bütün işlemler sonucunda her bir alt alan serisinden tek bir alt alan görüntüsü elde edilir ve bu şekilde spekl yöntemiyle yeniden oluşturulmuş alt alanlar birleştirilerek tek bir görüntü elde edilir.

4.3. Spekl Transfer Fonksiyonunun Belirlenmesi

Bölüm 4.2'de anlatıldığı şekilde kaydedilen her bir alt alan serisi için bir spektrel oran hesaplanır. Ancak, spektrel oran için kullanılan ortalamaları hesaplamadan önce, görüntülerin Fourier dönüşümlerinde istenmeyen suni yapıları yok etmek için, bütün alt alan görüntülerinin kenarları Hanning pencere fonksiyonu ile maskelenerek sıfıra yaklaştırılır.

48 adet alt alan serisi için spektrel oran hesaplandıktan sonra bu oranların ortalamaları alınır. Ortalama spektrel oran kullanılarak görüş parametresi, yani teleskopun D açıklığı biriminde verilmiş Fried parametresi olan α , (7) bağıntısından

hesaplanır. Bu α değerine karşılık gelen spekl transfer fonksiyonu, daha önce kaydedilmiş teorik spekl transfer fonksiyonları içinden okutulur.

4.4. Gürültü Düzeltmesi Yapılmış Güç Spektrumu

Foton gürültüsünü beyaz ışık görüntülerinden arındırmak için gürültü düzeltmesi yapılmış güç spektrumu hesaplanır ve (3) eşitliğinde $\langle |F(s)|^2 \rangle$

yerine bu güç spektrumu yazılır. Gürültü düzeltmesi yapılmış güç spektrumu için önce gürültü güç spektrumu hesaplanır. Bunun için düz alan görüntüleri kullanılır. Ham düz alan görüntüleri, daha önce beyaz ışık görüntülerinde olduğu gibi kara akım ve düz alan düzeltmelerinden geçirilirler. Bundan sonra her bir düz alan görüntüsü, beyaz ışık görüntülerinin alt alanlara bölünmesinde olduğu gibi 64x64 piksel boyutlu alt alanlara ayrılır. Alt alanların her birinin Fourier dönüşümleri, ardından da dönüşümlerin mutlak değerlerinin karesi yani güç spektrumları hesaplanır. Bu şekilde 144 adet düz alan görüntüsünün alt alanlarının Fourier dönüşümlerinin mutlak değerlerinin karesi toplanıp 144'e bölünerek ortalama bir güç spektrumu yani,

$\frac{1}{144} \sum_{i=1}^{144} |R_i|^2$ elde edilir. Ortalama gürültü güç spektrumları, beyaz ışık görüntülerinin alt alanlarının ortalama güç spektrumlarından çıkarılarak, her bir alt alan serisi için gürültü düzeltmesi yapılmış güç spektrumları elde edilir.

$$O(\bar{s}) = \frac{1}{144} \sum_{i=1}^{144} |F_i(\bar{s})|^2 - \frac{1}{144} \sum_{i=1}^{144} |R_i(\bar{s})|^2 \quad (8)$$

Burada, $F_i(\bar{s})$, 144 görüntüden oluşan bir beyaz ışık alt alan serisinin i. görüntüsünün Fourier dönüşümü, $R_i(\bar{s})$, düz alan görüntüsünün alt alan serisindeki i. görüntünün Fourier dönüşümü ve $O(\bar{s})$, bir alt alanın gürültü düzeltmesi yapılmış ortalama güç spektrumdur. Gürültü düzeltmesi yapılmış ortalama güç spektrumu $O(\bar{s})$, ele alınan seri için belirlenen STF'ye oranlanarak, atmosferin bozucu etkileri altındaki güç spektrumları düzeltilmiş ve yeniden yapılandırılmış olur.

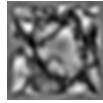
5. Gürültü Filtresi

$O(\bar{s})$, Fourier uzayındaki yüksek sinyal-gürültü oranına sahip bölgeler için bir filtre yapılmasında da kullanılır. Bu filtrenin yapılmasındaki amaç, gürültü düzeltmesi yapılmış ortalama güç spektrumundaki fazlalıkları bastırmaktır. Gürültü filtresi,

$$\frac{O(\bar{s})}{\frac{1}{144} \sum_{i=1}^{144} |F_i(\bar{s})|^2} \quad (9)$$

den bulunur.

Spekl maskeleyme yöntemi (Gültekin, A., 2004) ile Fourier fazları ve fazlar için bir faz filtresi de tespit edildikten sonra yeniden oluşturulan Fourier genliği, Gürültü filtresi ile çarpılır. Çarpıma ters Fourier dönüşümü uygulandığında yeniden oluşturulmuş alt alan görüntüsü elde edilir. Şekil 1'de birinci alt alan serisinden yeniden oluşturulmuş birinci alt alan gösterilmektedir.

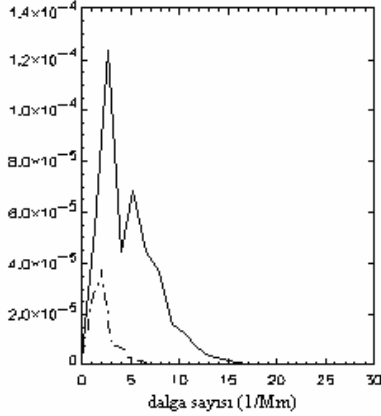


Şekil 1. Birinci alt alan

Diğer alt alanlar için de benzer işlemler yapıldıktan sonra bütün alt alanlar tekrar birleştirilerek tek bir görüntü oluşturulur.

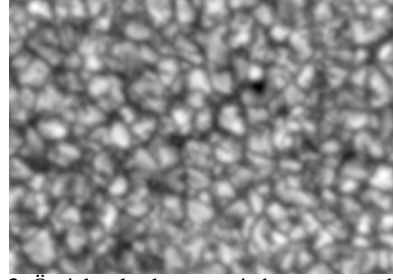
6. Sonuçlar

Şekil 2'de birinci alt alan için hesaplanan gürültü düzeltilmesi yapılmış ortalama güç spektrumu $O(\bar{s})$ ve bu güç spektrumunun ele alınan seri için belirlenen STF'ye oranlanmasıyla elde edilen ortalama güç spektrumu karşılaştırılmaktadır.

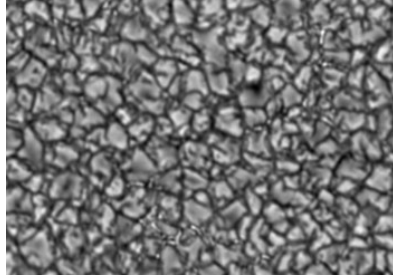


Şekil 2. Düz çizgi STF düzeltilmesi yapılmış ortalama güç spektrumunun, kesikli çizgi $O(\bar{s})$ 'nin ortalamasını göstermektedir.

Şekil 3, Şekil 4'te sırasıyla bir taramada ön işlemlerden geçmiş ham görüntülerinin ortalaması ve spekl yöntemi sonucunda 144 görüntüden elde edilen son görüntü görülmektedir. Ham görüntülerin boyutları 384x286 piksel iken, spekl yöntemleri sonucunda yeniden oluşturulan görüntünün boyutu 350x249 pikseldir.



Şekil 3. Ön işlemlerden geçmiş ham görüntülerinin ortalaması



Şekil 4. 144 adet beyaz ışık görüntüsü içeren bir seriye ait spekl yöntemi sonucunda elde edilen tek bir görüntü.

Bu seriye ait Fried parametresi, 17.1 cm olarak bulunmuştur. Buna karşılık gelen astronomik görüş, 0".78'dir.

7. Kaynaklar

- De Boer, C.R., 1993, Speckle-Interferometrie und ihre Anwendungen auf die Sonnenbeobachtung, Doktora, der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultaten, der Georg-August- Universtat zu Göttingen
- De Boer, C.R., 1996, Noise Filtering in Solar Speckle Masking Reconstructions, Astronomy and Astrophysics, 120, 374-390.
- Gültekin, A., 2004, Beyaz ışık Güneş Gözlemlerine Spekl Yönteminin Uygulanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Labeyrie, A., 1970, Attainment of Diffraction Limited Resolution in Large Telescopes by Fourier Analysing Speckle Patterns in Star Images, Astronomy and Astrophysics, 6, 85-87.
- Pehlemann, E., Von Der Lühe, O., 1989, Technical Aspects of the Speckle Masking Phase Reconstruction Algorithm, Astronomy and Astrophysics, 216, 337-346.
- Sanchez, F., Colados, M., Vazquez, M., 1992, Solar Observations: Techniques and Interpretation, Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge University, 0 521 40251 4.