Güneş Lekesi Grubu Eğiklik Açılarının Etkinlik Çevrimleri ile İlişkisi

Program Kodu: 1001

Proje No: 114F372

Proje Yürütücüsü:

Yrd. Doç. Dr. Emre IŞIK

Bursiyerler:
Seda IŞIK
Bahar B. KABASAKAL

AĞUSTOS 2016

İSTANBUL

ÖNSÖZ

Güneş'in ortalama 11 yıl dönemli manyetik etkinliğinin hangi baskın süreçlerce denetlendiği, 20. yüzyılda anlaşılamamış, 21. yüzyılda ise halen anlaşılmaya çalışılmaktadır. Güneş'in yüzeyde gözlenen çift kutuplu manyetik bölgeleri olan leke gruplarının ortalama özelliklerine dayanan Babcock-Leighton (BL) mekanizması, 1960'lı yıllarda öne sürülmüştür. Bu düzenek, gözlenen etkinlik düzeyinin çevrimden çevrime yarı düzenli ya da düzensiz biçimde dalgalanmasını tek başına açıklayamaz durumdadır. BL mekanizmasının özü, leke gruplarının kutuplarını birleştiren eksenin doğu-batı doğrultusu ile bir "eğiklik açısı" yaparak ortaya çıkmalarıdır. BL mekanizmasının ve dolayısıyla eğiklik açısının önemi, yıllar süren bir ihmalin ardından yeni yeni anlaşılmış olduğu için, eğiklik açısı ölçümlerinin istatistiği ve gözlemevi/yöntem çeşitliliği henüz yetersizdir. Bu proje ile birlikte, 2010 yılında saptanmış olan çevrim şiddeti - eğiklik açısı ters korelasyonu ilk defa bağımsız bir veri seti oluşturularak denetlenmeye çalışılmıştır. 1954 - 2015 yılları arasında, 32658 güneş lekesi grubu gözlemi için konum, alan ve eğiklik açısı değerleri ölçülerek önemli bir veri tabanı oluşturulmuştur. Başka gözlemlerle karşılaştırılabilmenin dışında, sağladığımız veri tabanı, ileride BL dinamo modellerinde de kullanılabilecektir.

Tüm verilerini ağ sayfası üzerinden paylaştığı için Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne, ayrıca projeye bir mektupla destek verdiği için enstitü müdürü Haluk Özener'e ve yine sağladığı destek için Maria Dasi-Espuig'e (Imperial College London) teşekkür ederiz. Bilimsel çalışma ziyaretleri sırasında yaptığımız fikir alışverişi için Rainer Arlt (AIP, Potsdam) ve Robert Cameron'a (MPS, Göttingen) teşekkürlerimizi sunarız. Bu proje, TÜBİTAK-ARDEB 1001 programınca, Matematik-Fizik Araştırma Destek Grubu (MFAG) koordinatörlüğünde desteklenmiştir.

Bu belge yürütücü tarafından LaTeX ile hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

ÖZET v

ABSTRACT vi

1 GİRİŞ 1

2 LİTERATÜR ÖZETİ 2

2.1 Eğiklik Açısı Ölçümlerinin Önemi 2

2.2 Beyaz Işık Gözlemleri 2

2.3 Manyetografik Gözlemler 3

3 GEREÇ VE YÖNTEM 5

3.1 Gözlemler 5

3.2 Alan ve Eğiklik Açısı Ölçüm Yöntemi 5

3.2.1 Ham Veriler 5

3.2.2 Verilerin İndirgenmesi 6

4 BULGULAR 8

4.1 Çevrimlerin Kelebek Diyagramı ve Alan Değişimi 8

4.2 Eğiklik Açısının Enleme Bağlılığı 9

4.3 Eğiklik Açısının Çevrim Zaman Ölçeğinde Değişimi 11

4.4 Eğiklik Açısının ve Saçılmanın Alana Bağlılığı 13

4.5 Eğiklik Açısı ile Çevrim Şiddeti Arasındaki İlişki 13

4.6 Leke Gruplarının Eğiklik Açısı Evrimleri 15

5 TARTIŞMA VE İLERİYE BAKIŞ 18

ŞEKİL LİSTESİ

1 (a) 19-24. Güneş çevrimlerinin kelebek diyagramı, (b) Günlük toplam (noktalar) ve aylık ortalama (kırmızı çizgi) leke alanı. 9

2 1986-1999 aralığı için Kandilli (siyah) ve Debrecen (kırmızı) leke alanlarının dağılımı. Kandilli gözlemleri, küçük alanlı lekelere doğru bir yanlılık göstermektedir. 10

3 Tüm Kandilli verileri için ortalama Joy kuralı (eğiklik açısının enlem bağlılığı). Sürekli çizgi doğrusal, noktalı çizgi sinüs uydurmasını gösterir. Her iki durumda da eğriler orijinden geçmeye zorlanmıştır. 10

4 (a) Eğiklik açısının, (b) enleme normlanmış eğiklik açısının 300 günlük ortalamalarının zamanla değişimi. Leke alanı aylık ortalamaları gri ile gösterilmiştir. İki dikey bant, 1993 ve 2002'de görülen iki veri boşluğunu temsil eder. 12

5 (a) Eğiklik açısının 30 MSH alan aralıklarında umbral leke alanına ortalama bağlılığı. Kesikli çizgi genel ortalamayı, hata çubukları ise her bir aralıktaki ortalama değerin standart sapmasını gösterir. (b) Eğiklik açılarının histogramı. Dikey çizgi ortalama değeri, sürekli eğri ise onu merkez alan Gauss fonksiyonu uydurmasını göstermektedir. 13

6 Eğiklik açısının ortalama değeri etrafındaki saçılmanın (standart sapma) umbral leke alanına bağlılığı. Sürekli çizgi şimdiki çalışmadan elde edilen logaritmik fonksiyon uydurmasını, noktalı çizgi ise Jiang vd. (2014) tarafından Mt. Wilson ve Kodaikanal ölçümlerinden elde edilen uydurmayı gösterir. 14

7 Çevrimlik enlem ortalamasına boylanmış çevrimlik eğiklik açısı ortalamalarının çevrim şiddetine göre değişimi. Çevrim şiddeti, lekelerin kapladığı alanın çevrim süresi üzerinden toplamıdır ve Güneş'in yarıküre alanı cinsinden verilmiştir. 15

8 Kümeleme örneği. 1976 yılı boyunca leke gruplarının enlem ve boylam değerleri, her bir küme için farklı renkte gösterilmiştir. 16

9 2014 yılında birkaç leke grubunun eğiklik açısının değişimi. 16

TABLO LİSTESİ

1 Farklı veri tabanları için Joy kuralı nicelikleri 11

ÖZET

Bu proje ile Güneş'te 19. çevrimin başı ile 24. çevrimin ikinci yarısı arasında (1954-2015) ortaya çıkan leke gruplarının eğiklik açıları B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı veri tabanı kullanılarak, proje öncesinde geliştirilen bilgisayar destekli bir yöntemle ölçülmüştür. Ölçümlerin amacı, ortalama eğiklik açısının diğer leke grubu parametreleri ile ve özellikle de çevrim şiddeti ile ilişkilerinin belirlenmesidir. Ölçüm sonuçları, literatürde tek bir makalede duyurulan çevrim şiddeti - eğiklik açısı ters korelasyonunu doğrular niteliktedir. Eğiklik açısının gösterdiği doğal saçılmanın leke grubu alanı ile gösterdiği değişim, literatürdeki sonuçlarla tutarlı şekilde bulunmuştur. Yapılan kümeleme analizinde, eğiklik açısının leke gruplarının evrimi boyunca büyük değişimler gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu durum kısmen yerel atmosferik görüş koşullarından etkileniyor olabilir.

Anahtar Kelimeler: Güneş fiziği, Güneş'in manyetik etkinliği

ABSTRACT

We have measured sunspot group tilt angles, using the sunspot drawing database of Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, and a pre-developed computer-based method. The purpose of the study has been to determine relationships between cycle-means of the tilt angle and other sunspot group properties, in particular the strength of solar cycles. The results of tilt angle measurements indicate a validation of the anti-correlation between cycle-averaged tilt angle and cycle strength, which has recently been reported and not confirmed so far. The intrinsically large scatter of the tilt angle around its mean values shows a dependence on sunspot group area for a wide range of areas, which confirms recent findings. Clustering analysis has shown that the tilt angle of a given sunspot group can exhibit large fluctuations around the mean value, which is partly affected by local atmospheric seeing conditions.

Keywords: solar physics, solar magnetic activity

1. GİRİŞ

Güneş lekeleri, birbirine komşu iki bölgeden oluşan bir grup (leke grubu) halinde ortaya çıkar. Bu iki komşu bölge, genellikle birbirinden ayrı kutba sahiptir. Bu kabul altında Güneş'in dönme yönünde daha ileride giden bölge *öncü kutup*, arkada giden ise *izleyen kutup* diye anılır. Leke grupları, birçok manyetik akı tüpünün konveksiyon bölgesinden gelip yüzeyi kesen, genleşen ve bu sırada Coriolis ivmesinden dolayı doğu-batı ekseninden sistematik bir sapma gösteren kısımlarından oluşur. Güneş'in bu zaman ölçeklerinde sabit sayılabilecek dönme açısal momentumu korunarak yukarı doğru yükselip genleşen akı tüplerine kuzey ve güney yarıkürede öncü kutuplar izleyen kutba göre daha düşük enlemde olacak biçimde bir eğiklik kazandırır. Diğer yandan, doğu-batı ekseninde yönelmiş akı tüplerinin yükselişleri sırasında çevrelerindeki konvektif akışlardan etkilenmesi de söz konusudur. Bu durum, ya da henüz araştırılmamış başka etkiler, eğiklik açısının $\pm 90^{\circ}$ aralığında rastlantısal değerler almasına yol açar. Eylemsiz çerçevede açısal momentumun korunumu ya da Güneş'le birlikte dönen çerçevede Coriolis ivmesinin etkisiyle gerçekleşen bükülme, üzerinde önemli bir rastgele bileşenin olduğu sistematik bir etkidir. Her iki yarımkürede de pozitif eğiklik açısına yol açan bu etkinin varlığı, enlemsel kuşaklar üzerinden ortalaması alınmış eğiklik açısının enlemle artması (Joy kuralı) biçiminde kendini gösterir.

Eğiklik açısının önemi, özellikle gözlemlerle beslenen Babcock-Leighton türü hidromanyetik dinamo modelleri bağlamında ancak yakın zamanda anlaşılmıştır. Buna karşın, eğiklik açısının çok sayıda Güneş çevrimini kapsayan ölçümleri konusunda literatür pek zengin değildir. Hem bu nedenlerle, hem de Kandilli Rasathanesi'nde 1950'li yıllardan bu yana yapılagelen Güneş lekesi çizimlerini değerlendirerek literatüre önemli bir katkı vermek ve özellikle 2010 yılında duyurulmuş eğiklik açısı - çevrim şiddeti ters korelasyonunu test etmek, bu projenin temel hareket noktalarıdır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Eğiklik Açısı Ölçümlerinin Önemi

Güneş lekesi gruplarının eğiklik açılarının gösterdiği sistematik eğilimler ilk olarak Hale vd. (1919) tarafından belirlenmiştir. Bu eğilimin Güneş etkinliğinde can alıcı bir etkiye neden olabileceği ise Babcock (1961) tarafından fark edilmiştir. Konveksiyon bölgesinde yükselen manyetik akı tüplerinin özellikle yüzeye çıkış evresinde yaşadıkları hızlı genleşme, Coriolis ivmesini hissederek bükülmelerine neden olur (Fan, 2009). Bu bükülme, açısal momentumun korunumu gereği Güneş'in kuzey ve güney yarıkürelerinde birbirine zıt yönde olur ve her ikisi de beklenen durum olduğu için "pozitif eğiklik açısı" olarak sınıflanır. Aksi yöndeki bükülmelerde eğiklik açısı negatiftir. Beklenen pozitif açılardan her türlü sapma, çalkantılı konvektif akışların akı tüpleri üzerinde yaptığı iş sorumlu tutulur (Fan, 2009). Buna göre, sistematik olarak pozitif eğiklik açıları, Güneş'in manyetik alanının poloidal bileşeninin toroidal bileşenden üretilmesine neden olur. Daha sonra yapılan dinamo modellerinde (Charbonneau, 2010, ve oradaki ilgili atıflar) ve yüzeysel akı taşınım modellerinde (Mackay vd., 2002; Baumann vd., 2004; Jiang vd., 2010; Mackay ve Yeates, 2012) eğiklik açısının önemi gösterilmiştir. Yüzeysel akı taşınımı (Cameron vd., 2010; Cameron ve Schüssler, 2012) ve Babcock-Leighton türü akı taşınım dinamo modelleri (Jiang vd., 2013) içerisinde Mount Wilson ve Kodaikanal Gözlemevi eğiklik açısı verileri kullanılmış, eğiklik açısı ölçümlerinin genişletilmesine ihtiyaç doğmuştur. Çünkü bu iki gözlemevinin de eğiklik açısı verileri aynı otomatik algoritmaya dayanmaktadır ve bazı sistematik hatalar nedeniyle eğiklik açılarının gerçek değerlerin altında ölçülmesine yol açtığı bildirilmiştir (Senthamizh Pavai vd., 2015). Bu çalışmanın yayınlanmasının öncesinde, projemizin öneri metninde de Mt. Wilson ve Kodaikanal veritabanındaki sistematik hata kaynaklarından söz edilmiştir.

2.2 Beyaz Işık Gözlemleri

Şimdiye dek üretilmiş olan en uzun dönemli beyaz ışık eğikli açısı verileri 1917-1985 aralığı için Mt. Wilson gözlemlerine dayanan Howard (1991) ve 1906-1987 aralığı için Kodaikanal gözlemlerini kullanan Sivaraman vd. (1999) tarafından yayınlanmıştır. Bu gözlemlerin yeniden incelenmesi ve Joy kuralı katsayılarının belirlenmesi, McClintock ve Norton (2013) tarafından yapılmıştır. Her iki gözlemevi verilerinde de leke grupları, Howard vd. (1984) tarafından geliştirilmiş olan otomatik bir algılama yöntemi ile belirlenmiştir. Yöntemde, enlemde 3°, boylamda 5° boyutlarında bir pencere, Güneş diski üzerinde gezdirilmiş, her bir lekenin komşuluğunda bu pencere içine giren lekeler o leke ile aynı gruba dahil edilmiştir.

Howard vd. (1984)'nin yaptığı otomatik gruplama yönteminin, birbirine yakın leke gruplarını tek bir leke grubu olarak kaydetmek gibi olumsuz bir sonucu olabilir. Gerçekten de Senthamizh Pavai vd. (2015) bu duruma dikkat çekmiş, 15-21. çevrimler için verilen Mt. Wilson ve Kodaikanal eğiklik açılarında tek kutuplu grupların "yanlışlıkla" dahil edilme oranı yüzde 10 olduğunda bile bu durum ortalama eğiklik açısını 5 dereceden 4.5 dereceye çekebilmektedir.

Literatürde var olan bir diğer veri tabanı, Debrecen Gözlemevi'nin 1974 sonrası için fotoheliyografik arşivine dayanan eğiklik açılarını içerir. Bu verileri kullanan Baranyi (2015), Debrecen ile Mt. Wilson/Kodaikanal verilerini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada da yine Mt. Wilson/Kodaikanal verilerinde boylamsal ayrıklığı çok küçük olan (2-3 derecenin altında) bölgelerin muhtemelen tek kutuplu olduğu, diğer gruplara dahilmiş gibi görünerek eğiklik açısı değerlerini ortalamada düşürdüğünü göstermiştir.

Son olarak, Schwabe ve çağdaşı astronomların çizimlerini sayısallaştıran Senthamizh Pavai vd. (2015), 7-10. Güneş çevrimleri (1825-1867) için eğiklik açılarını ölçerek literatüre kazandırmıştır. Ortalama eğiklik açısı, modern değerlere yakın, 5.85° olarak bulunmuştur.

Projemizde ölçümleri yapılan lekelerin grup tayini, ilgili gözlemci tarafından ardışık günler arası ve başka gözlemevleriyle yapılan karşılaştırmalar sonucunda önceden belirlenmiştir. Bu yapılırken boylamsal ayrıklığın en az 3° olmasına zaten dikkat edilmektedir.

Mt. Wilson ve Kodaikanal gözlemlerini alarak eğiklik açılarının çevrimsel ortalamalarını belirleyen Dasi-Espuig vd. (2010, 2013), alan verilerini Balmaceda vd. (2009) çalışmasından alarak çevrim şiddeti ile eğiklik açısının çevrimsel ortalaması arasında bir ters korelasyon bulmuştur. 15-21. çevrimler için bulunan bu ters ilişki, Güneş dinamosunun doğrusal olmayan süreçlerle (örneğin, eğikliği baskılayan akışların manyetik akı ile orantılı olması) doyuma ulaşabileceğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, henüz başka veri setleri kullanılarak denetlenmemiştir. Projemizin amaçlarından biri de bunu gerçekleştirmek olmuştur.

2.3 Manyetografik Gözlemler

Güneş'in düşük çözünürlüklü fotosferik manyetik alan ölçümleri, Mt. Wilson ve SOHO uydusu (Solar and Heliospheric Observatory) arşivlerinde vardır. Bu verileri kullanan Li ve Ulrich (2012), leke barındırma durumunu ayırt etmeksizin tüm çift kutuplu manyetik bölgelerin eğiklik açılarını 1974-2012 aralığı için ölçmüş ve analiz etmiştir. Bu çalışmada genel olarak eğiklik açısının orta değerlerinin güney yarıkürede kuzeye göre daha büyük olduğu, ayrıca farkların enlemle arttığı belirlenmiştir. Stenflo ve Kosovichev (2012) ise, SOHO/MDI veri setine odaklanarak 1995-2011 yılları arasında gözlenen çift kutuplu manyetik bölgelerin eğiklik açısı ortalaması için 10° civa-

rında, beyaz ışıktan bulunanlara göre oldukça yüksek bir değer vermiştir. Bu durumu incelemeye alan Wang vd. (2015), iki önemli etkinin öne çıktığını ifade etmiştir. Birincisi, beyaz ışık gözlemlerinde tek kutuplu bölgelerin incelemeye katılması (projemizde bu durum söz konusu değildir), ikincisi ise faküla/plaj bölgeleri ile ilişkili manyetik elemanların ortalamada daha büyük eğiklik açılarına sahip olmalarıdır.

Genel özellikleri yirminci yüzyılın başında fark edilmesine karşın, leke grubu eğiklik açısı ölçümlerinin ve ayrıntılı analizinin son on yılda yeniden sıcak bir konu haline geldiğini görmekteyiz. Bunun nedeni, yukarıda açıklandığı üzere, eğiklik açısının Güneş etkinliğinin çevrim şiddetlerini belirlemede çok önemli bir parametre olduğunun anlaşılmasıdır. Örneğin Cameron vd. (2013), ekvatora yakın ve büyük bir eğilik açısı ile (ya da ekvatoru geçerek) ortaya çıkan leke gruplarının Güneş'in yüzeysel akı taşınımında ne denli önemli olduğunu göstermiştir.

3. GEREÇ VE YÖNTEM

Güneş lekesi gruplarının eğiklik açılarının ölçülmesi için kullanılan yöntem, proje yürütücüsü ve doktora bursiyeri S. Işık tarafından proje başlamadan önce geliştirilmiştir. Ancak proje yürürlükte iken de yöntemde bazı küçük iyileştirmeler yapılmıştır.

Ölçümler, tüm bursiyerler tarafından, proje bütçesinden alınan bilgisayarlar ve sunucu olarak kullanılan masaüstü bilgisayarda kurulu `IDL` Minilab-5 lisanslı hesaplama/programlama ortamı kullanılarak yapılmıştır.

3.1 Gözlemler

Web üzerinde bir arşivde[1] taranmış görüntüler olarak yayınlanan beyaz ışık (fotosfer) çizimleri, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü bünyesinde bulunan 20 cm çaplı, 307 cm odak uzaklıklı, ekvator kurgulu Carl-Zeiss mercekli teleskobu kullanılarak, çok sayıda gözlemci tarafından yapılmıştır. Teleskobun gözlemci tarafında oluşturulan beyaz ışık izdüşüm görüntüsünde Güneş diskinin görünür çapı, ortalama 25 cm'dir. Özel hazırlanmış beyaz kağıtlar üzerine düşürülen bu görüntü üzerinde Güneş lekelerinin merkezi umbra bölgeleri ve por yapıları, siyah kurşun kalemle çizilmiştir. Penumbrası olan lekelerde bu yapılar daha hafif bir tonda, gri renkte çizilmiştir. Güneş diskinin leke dağılımı çizimi üzerinde, her bir leke grubu için McIntosh/Zürih sınıfı, harfler ve leke sayıları ile birlikte el yazısı ile verilmiştir. Bunları ayırt etmenin zorlukları nedeniyle tümüyle otomatik bir desen algılama algoritması kullanılmamış, bunun yerine kullanıcı arayüzü eşliğinde gerçekleşen bir konum ve alan ölçümü prosedürü kullanılmıştır.

Kandilli Rasathanesi'nde 1946 yılından bu yana leke çizimleri yapılmışsa da, 1946 ile 1954 arasındaki çizimlerde lekelerin yalnızca konumları işaretlenmiş, konturları izlenmemiştir. Projede eğiklik açısının ölçümünde ağırlıklandırma için leke alanı önemli olduğundan, 19. çevrimin başı olan 1954 yılından başlanarak ölçüm yapılmıştır. Çizimler, 2488x1761 piksel boyutlarında, JPEG formatında taranmış görüntüler şeklinde sayısallaştırılmıştır. Bu koşullarda, en küçük lekelerin (por) boyutları 1-3 piksel arasında değişmektedir.

3.2 Alan ve Eğiklik Açısı Ölçüm Yöntemi

3.2.1 Ham Veriler

Fotosfer çizimlerini yapan gözlemci tarafından belirlenmiş leke gruplarının alan, konum (enlem ve boylam) ve eğiklik açısı ölçümleri, yürütücünün proje öncesinde geliştirdiği `IDL` kodları ile

[1] `http://www.koeri.boun.edu.tr/astronomy/years.asp`

yapılmıştır. Bu bağlamda ölçümler, kartezyen dizgede lekelerin konum ve alanlarının belirlenmesinden oluşmaktadır. Her bir gözlem kağıdı için kullanıcı, Güneş'in gerçek dönme ekseninin Güneş'in görünen disk çemberi üzerindeki izdüşümü olan noktaları, gözlemcinin işaretlediği noktaları göz önüne alarak işaretler. Ardından herhangi bir leke grubunu seçerek grup içerisindeki her bir umbral bölgeyi işaretler. Program, IDL'in ROI (Region of Interest) işlevlerini kullanarak umbral bölgenin alanını çevresindeki açık renkli penumbra veya daha açık tondaki fotosfer bölgelerini dışlayarak belirler. Bunu yaparken belli bir eşik değerin üstünde kalan pikseller dışlanır. Bu eşik, yapılan testlerde 100/255 (bayt ölçeğinde) olarak seçilmiştir. İşaretleme sonrasında programın belirlediği ROI'deki piksellerin ortalama kartezyen koordinatları, ilgili leke umbrasının konumu olarak belirlenir. Böylelikle her bir grup içindeki lekelerin kartezyen koordinat sistemindeki konum ve alan (A_{pix}) değerleri piksel sayısı cinsinden kaydedilir.

Ölçümlerde, Zürih sınıflamasına göre A ve H sınıfı lekeler, tek bir kutba ilişkin leke(ler) barındırdıkları için (eğiklik açısı ölçülemeyeceği için) örneklem dışı bırakılmıştır.

3.2.2 Verilerin İndirgenmesi

Enlem ve boylam hesabı için öncelikle kartezyen koordinatları kutupsal koordinatlara dönüştürme işlemi yapılır. Kaydedilmiş konum verilerinden yararlanılarak Güneş diski merkezi belirlenir. İşaretlenmiş her lekenin disk merkezine olan günmerkezli (heliocentric) açısal uzaklığı ve konum açısı bulunur. Daha sonra günmerkezli açısal uzaklık ρ kullanılarak alan verilerine izdüşüm düzeltmesi uygulanır. Böylece, verilen bir lekenin umbral alanı, Güneş'in görünen yarıküresi alanının milyonda biri cinsinden (mikro-güneş-yarıküresi, μSH, MSH)

$$A \;=\; \frac{A_{\mathrm{pix}}}{10^{-6} 2\pi R_{\mathrm{pix}}^2 \cos\rho}. \qquad (1)$$

Burada R_{pix}, Güneş'in izdüşümsel kutuplarının (P ve P′) arasındaki piksel uzaklığı, başka bir deyişle Güneş'in görünür çapıdır.

Bir sonraki aşamada, Güneş'in dönme ekseninin gökyüzü düzlemi ile yaptığı p_1, ona dik düzlemle yaptığı B_0 açıları ve Carrington boylamı ϕ_o, IDL için yazılmış *SolarSoft*[2] kullanılarak belirlenir. Kullanıcının işaretlediği izdüşümsel kutuplardan (PP') ölçülen p_1 açısı ile kuramsal p_0 arasındaki fark $\Delta p = p_0 - p_1$ olarak kaydedilir. $|\Delta p|$ eğer 1 derecenin üzerinde ise program uyarı verir. Bu durumda kullanıcı, ilgili görüntülerde p açısının doğru verilip verilmediğini ve kağıdın ne kadar eğik tarandığını gözle denetler. Gerekirse ölçümler doğru p açısı ile yeniden yapılır. Her durumda, gözlem kağıdının eğik taranmasından ileri gelen hata, her bir lekenin

[2] `http://www.lmsal.com/solarsoft/`

konum açısı ölçümüne yansıyacaktır. Oluşan sistematik hatanın giderilmesi için, yerel kuzey yönünden doğuya doğru 0° ile 360° arasında ölçülen konum açısı θ,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right) + \Delta p, \tag{2}$$

biçiminde hesaplanır. Burada a ve b, disk merkezine olan, sırasıyla yatay ve dikey kartezyen uzaklıklardır. Buradan her bir lekenin λ enlemi ve ϕ boylamı,

$$\sin\lambda = \sin\lambda_0 \cos\rho + \cos\lambda_0 \sin\rho \cos(p_0 - \theta) \tag{3}$$

$$\sin\phi = \phi_0 + \sin\rho \sin(p_0 - \theta)/\cos\lambda, \tag{4}$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanır.

Her bir leke grubu için eğiklik açısının ölçülmesi için ilk olarak grubun alan ağırlıklı ortalama enlem ve boylamı, her bir lekenin helyografik koordinatları ve alanı kullanılarak bulunur. Grubun ortalama boylamının batı ve doğu yanlarında kalan lekelerin, sırasıyla öncü ve izleyen bölgede olduğu varsayılır. Öncü ve izleyen bölgelerin alan ağırlıklı ortalama enlem ve boylamları belirlenir. Bu bölgeler arasındaki enlem ve boylam farkları $\Delta\lambda$ ve $\Delta\phi$ olmak üzere α eğiklik açısı,

$$\tan\alpha = \frac{\Delta\lambda}{\Delta\phi \cos\lambda_g}, \tag{5}$$

eşitliğinden hesaplanarak belirlenmiş olur. Burada λ_g, grup enlemidir.

Tanımı gereği eğiklik açısı, öncü bölümün izleyen bölüme göre daha alçak bir enlemde bulunması durumunda, her iki yarıkürede de pozitif olarak alınır. Tersi durumda ise eğiklik açısı negatif değer alır. Kullandığımız veriler, manyetik kutupluluk bilgisi içermediğinden, Hale kutupluluk kuralının ihlal edilmediği varsayılmıştır. Bu kuralın ihlal edildiği durumların, tüm leke gruplarının ortalama yüzde 8'i olduğu belirlenmiştir (McClintock vd., 2014).

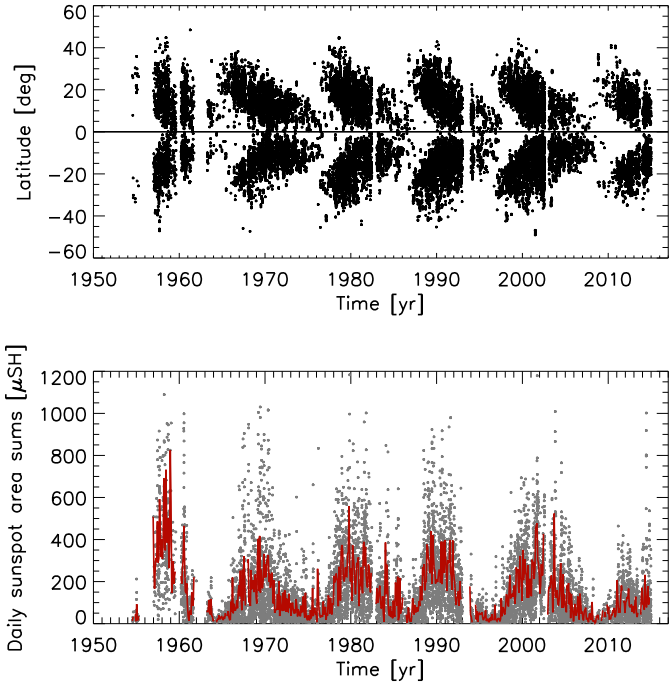
4. BULGULAR

4.1 Çevrimlerin Kelebek Diyagramı ve Alan Değişimi

1954 - 2015 arasını kapsayan dönem için elde edilen kelebek diyagramı (leke gruplarının enlem-zaman çizgesi), Şekil 1a'da gösterilmiştir. 1993 ve 2002 yılları gibi bazı yıllarda teleskop bakımda olduğu için veri boşlukları göze çarpmaktadır. En uzun boşluk 22. çevrimin son evreleri olan 1993 yılında ve 2002-2003 yılındaki yaklaşık 6 aylık boşluk ise ortalama eğiklik açılarını belirlemede çok önemli eksikler değildir. Son yüz yılın en zayıf çevrimi olan 24. çevrimde leke gruplarının en yüksek enlem düzeyi, önceki çevrimlere göre daha düşüktür. Bu durum, Güneş çevriminin bilinen bir özelliğidir.

Leke grubu umbral alanının zamanla değişimi Şekil 1b'de verilmiştir. Penumbral alanlar ve tek kutuplu görünen leke grupları dışlandığı için, çevrim maksimumlarının eriştiği grup alanı düzeyi, literatürde başvuru kaynağı olarak alınan RGO/SOON veri tabanında verilenden sistematik olarak düşük çıkmıştır. Şekil 1b'de verilen alan değişimini Debrecen Gözlemevi fotohelyografik veritabanında[3] verilen umbral grup alanları ile karşılaştırılmış, 22. çevrim üzerinden ortalama değerlerin aynı mertebede, 300 MSH civarında olduğu görülmüştür. Bu durum, projemizde çizimler üzerinden ölçülen umbral alanların gerçek değerlerden pek uzak olmadığını gösterir. 1986-1999 arasındaki dönem için Kandilli ve Debrecen leke grubu alan dağılımlarının bir karşılaştırması, Şekil 2'de gösterilmiştir. Birinci gelişme raporunda da sunulan bu dağılımlarda, çizimlerde umbral alanların fotografik verilerdekine göre daha küçük alanlarda yoğunlaştığı, diğer yandan büyük alanlı leke gruplarının çizimlerde beklenenden daha az sayıda çıktığı görülmektedir. Büyük leke gruplarında görülen durum, çizimlerde kullanılan izdüşüm görüntüsünde, ortalamada daha az sayıda lekenin görünmesi şeklinde yorumlanmıştır. Diğer yandan, küçük lekelerin ve özellikle porların tümü, Kandilli çizimlerinde kurşun kalemle çizilebilecek en küçük noktalar şeklinde işaretlenmiştir. Dolayısıyla, bu tür küçük ölçekli yapıların alan dağılımının kalem ucu boyutlarından etkilenmiş olması kaçınılmazdır. Projenin ana amacı olan eğiklik açısı ölçümünde, her bir grup için ayrı ayrı yapılan alan ağırlıklandırmasına bu yanlılığın nasıl etki edeceğini daha iyi anlamak ve bir dönüşüm katsayısı bulabilmek için en iyi yol, uydu verilerini kullanarak Kandilli ile aynı yöntemle karşılıklı eğiklik açısı ölçümleri yapmaktır. Böyle bir karşılaştırma, görece kısa olan proje süresinde yapılamamıştır. Örneğin SDO (Solar Dynamics Observatory) verileriyle çağdaş Kandilli verilerinin karşılaştırması, aynı zamanda meridyen çizgisi ve p açısının getirdiği gelişigüzel hataların boyutunu da ortaya koyacak, böylece Kan-

[3] http://fenyi.solarobs.unideb.hu/deb_obs_en.html



Şekil 1. (a) 19-24. Güneş çevrimlerinin kelebek diyagramı, (b) Günlük toplam (noktalar) ve aylık ortalama (kırmızı çizgi) leke alanı.

dilli eğiklik açıları için ölçüm hatalarını belirleyebilmemize olanak verecektir. Bu karşılaştırma ölçümlerinin, proje bittikten sonra yayın aşamasında yapılması planlanmıştır.

4.2 Eğiklik Açısının Enleme Bağlılığı

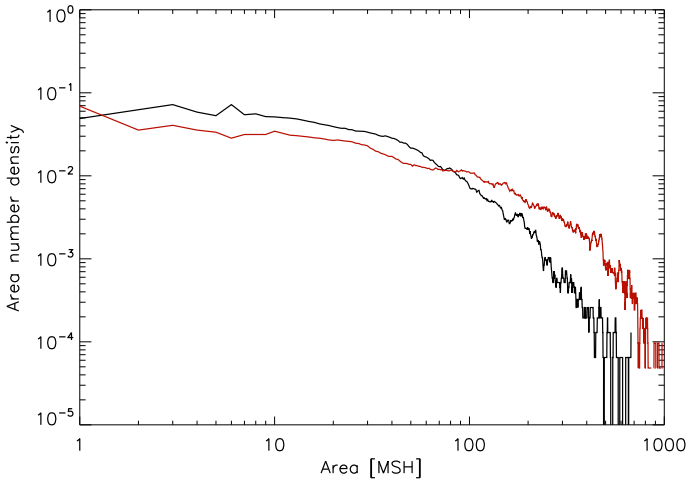
Grup eğiklik açısının enlemle doğrusala yakın olan ilişkisi, literatürde *Joy Kuralı* olarak bilinir. Projede elde edilen veriler üzerinden ortalama Joy kuralı grafiği, Şekil 3'de gösterilmiştir. Doğrusal olmayan Levenberg-Marquardt en küçük kareler yöntemiyle verilen doğru,

$$\alpha(\lambda) \quad = \quad (0.32 \pm 0.01)\lambda + (0.92 \pm 0.25), \tag{6}$$

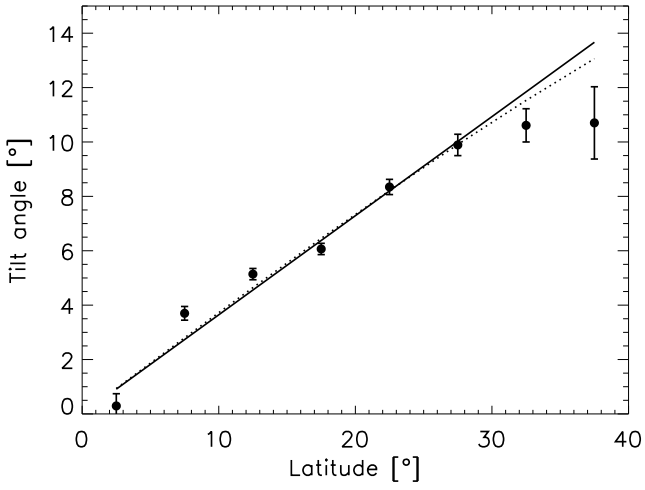
biçimindedir. Grafikteki noktalar 5 derecelik aralık ortalamalarını, hata çubukları ise bu ortalamaların standart sapmasıdır. Her bir ortalamaya katılan N tane verinin standart sapması σ olmak üzere ortalamanın duyarlılığını belirten bu sapma, $\sigma/\sqrt{N}$ biçiminde hesaplanmıştır. Doğru uydurma sıfıra zorlandığında ise

$$\alpha(\lambda) \quad = \quad (0.36 \pm 0.01)\lambda, \tag{7}$$

biçiminde bir eğim bulunmuştur. Burada bulunan eğimler, literatürde bulunan beyaz ışık kökenli eğiklik açısı ölçümlerinde verilenlerden belirgin olarak daha büyüktür (Dasi-Espuig vd., 2010;



Şekil 2. 1986-1999 aralığı için Kandilli (siyah) ve Debrecen (kırmızı) leke alanlarının dağılımı. Kandilli gözlemleri, küçük alanlı lekelere doğru bir yanlılık göstermektedir.



Şekil 3. Tüm Kandilli verileri için ortalama Joy kuralı (eğiklik açısının enlem bağlılığı). Sürekli çizgi doğrusal, noktalı çizgi sinüs uydurmasını gösterir. Her iki durumda da eğriler orijinden geçmeye zorlanmıştır.

Tablo 1. Farklı veri tabanları için Joy kuralı nicelikleri

Eğim	$\alpha(0)$	Çevrimler	Kaynak
0.32 ± 0.01	0.92 ± 0.25	19-24	Kandilli; bu çalışma
0.26	0.58	15-21	MWO North; McClintock ve Norton (2013)
0.13	1.38	15-21	MWO South; McClintock ve Norton (2013)
0.36 ± 0.01	0	19-24	Kandilli; bu çalışma
0.26 ± 0.05	0	15-21	MWO; Dasi-Espuig vd. (2010)
0.28 ± 0.06	0	15-21	Kodaikanal; Dasi-Espuig vd. (2010)
0.5 ± 0.2	-0.9 ± 0.3	21-23	MWO+SOHO manyetogramları; Li ve Ulrich (2012)

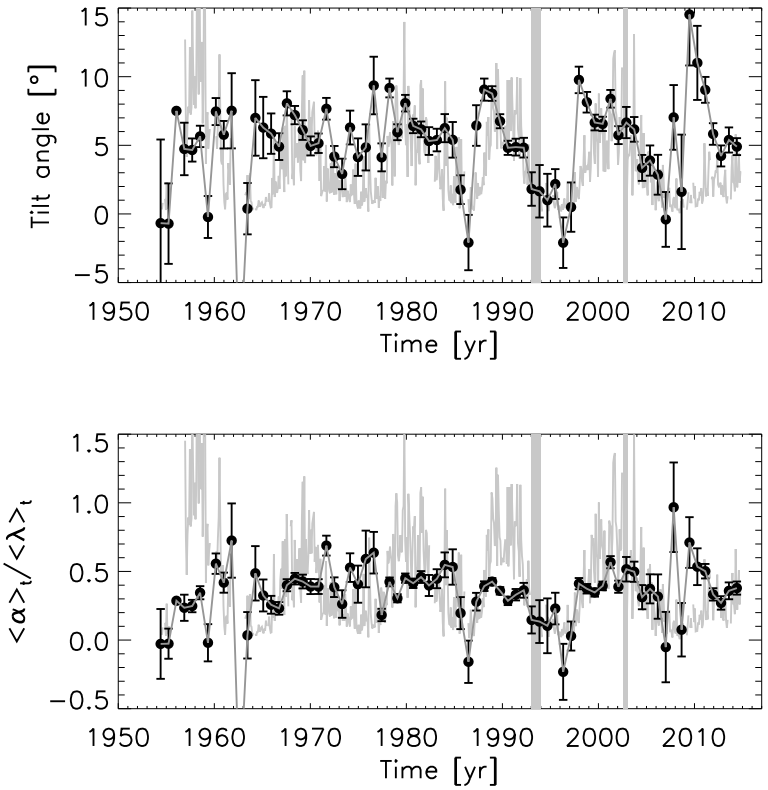
McClintock ve Norton, 2013). 21-23. çevrimler için manyetogramlara dayalı olarak ölçülen Joy kuralı eğimlerine göre ise yine de daha küçük bir eğim bulunmuştur (Stenflo ve Kosovichev, 2012; Li ve Ulrich, 2012). Farklı veri tabanlarından elde edilmiş Joy kuralı sabitleri, Tablo 1'de verilmiştir.

4.3 Eğiklik Açısının Çevrim Zaman Ölçeğinde Değişimi

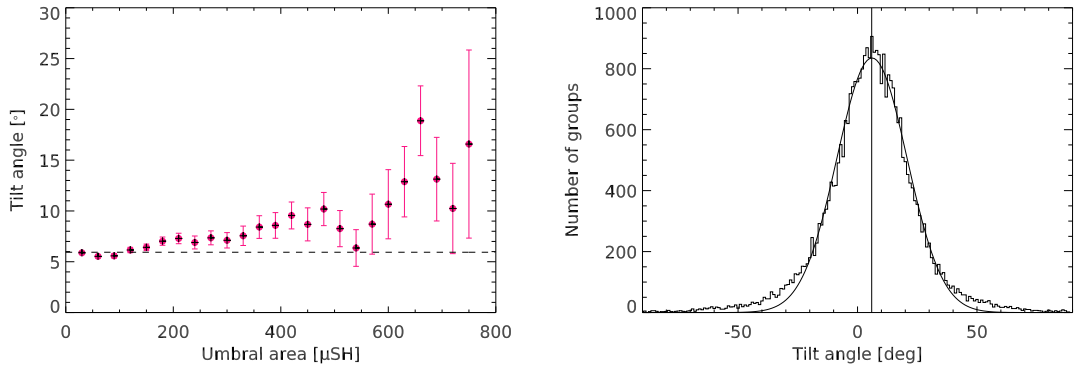
Eğiklik açısının 300 günlük ortalamaları, ortalama leke grubu alanı ile birlikte Şekil 4a'da verilmiştir. Burada, her bir çevrimin başlarında ortalama eğiklik açısının yüksek olduğu, sonradan düşüşe geçtiği görülmüştür. Bunun nedeni, çevrim başlarında leke gruplarının 35-40 derece enlemlerde ortaya çıkması, sonradan çıkan grupların giderek daha düşük enlemlerde belirmesidir. Son üç çevrimde daha belirgin görünen bu durum, Joy Kuralı'nın ortalama eğiklik açılarındaki izidir. Ortalama eğiklik açılarını Joy kuralının getirdiği etkiden arındırarak ortalama leke grubu enlemine boylanmış halini incelemek, bir sonraki çevrimin şiddetini belirleyecek ekvatoru geçen manyetik akıyı göstermesi bağlamında önemlidir. Leke grubu eğiklik açılarının ilgili grup enlemine oranlanmış halinin 300 günlük ortalamaları Şekil 4b'de gösterilmiştir. Bu grafikte, her bir çevrim için bir sonraki çevrimin şiddeti ile pozitif korelasyon göstermesini beklediğimiz ortalama eğiklik açısı görülmektedir. Enleme oranlanmış eğiklik açısı için hata çubukları,

$$\sigma_{\alpha/\lambda} = \left|\frac{\langle\alpha\rangle}{\langle\lambda\rangle}\right| \sqrt{\left(\frac{\sigma_\alpha}{\langle\alpha\rangle}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_\lambda}{\langle\lambda\rangle}\right)^2} \quad (8)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Her bir çevrim maksimuma yaklaşırken $\langle\alpha/\lambda\rangle$ oranında bir baskılanma görülmektedir. Bu olayın nedeni, aktif enlemlere doğru akışlar (Jiang vd., 2010) ya da derin konveksiyon bölgesinde çevrim şiddeti ile orantılı sistematik katmanlaşma değişimleri (Işık, 2015) olabilir.



Şekil 4. (a) Eğiklik açısının, (b) enleme normlanmış eğiklik açısının 300 günlük ortalamalarının zamanla değişimi. Leke alanı aylık ortalamaları gri ile gösterilmiştir. İki dikey bant, 1993 ve 2002'de görülen iki veri boşluğunu temsil eder.



Şekil 5. (a) Eğiklik açısının 30 MSH alan aralıklarında umbral leke alanına ortalama bağlılığı. Kesikli çizgi genel ortalamayı, hata çubukları ise her bir aralıktaki ortalama değerin standart sapmasını gösterir. (b) Eğiklik açılarının histogramı. Dikey çizgi ortalama değeri, sürekli eğri ise onu merkez alan Gauss fonksiyonu uydurmasını göstermektedir.

4.4 Eğiklik Açısının ve Saçılmanın Alana Bağlılığı

Leke grubu eğiklik açıları, her bir enlem için ortalama değerler etrafında oldukça büyük bir saçılma gösterir. Bu saçılmanın leke alanına bağlılığı, Jiang vd. (2014) tarafından incelenmiştir. Kandilli verilerinden elde ettiğimiz eğiklik açısı - alan bağlılığı, 30 MSH'lik alan aralıklarının ortalamaları alınarak Şekil 5a'da gösterilmiştir. Şekil 5b'de ise tüm eğiklik açılarının histogramı görülmektedir. 19-24. çevrimler için ölçtüğümüz tüm eğiklik açılarının ortalaması 5.94°, Senthamizh Pavai vd. (2015) tarafından 7-10. çevrimler için bulunan 5.85° değerine oldukça yakındır.

Eğiklik açısının alan bağlılığı, Jiang vd. (2014) tarafından Mt. Wilson ve Kodaikanal verilerine dayalı olarak

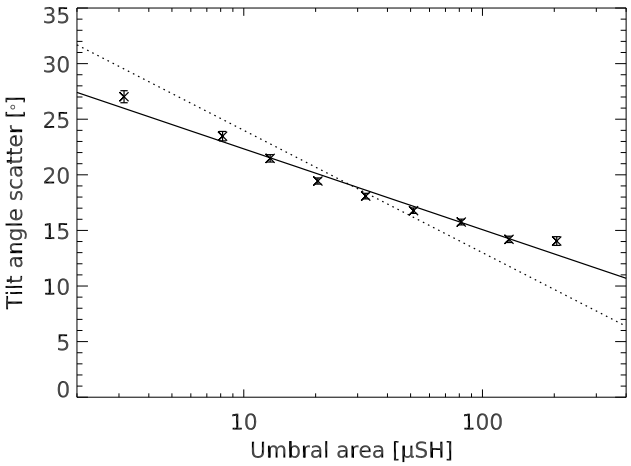
$$\sigma_\alpha \;=\; C_1 \log(A_U) + C_2 \tag{9}$$

biçimindeki logaritmik ilişkide (C_1, C_2) için (-11,35) değerleri bulunmuştu. Şekil 6'da sunulan Kandilli eğiklik açısı saçılma verilerine aynı fonksiyonu uydurduğumuzda (C_1, C_2) için (-7,30) değerleri bulunmuştur.

4.5 Eğiklik Açısı ile Çevrim Şiddeti Arasındaki İlişki

Çevrim şiddeti ile eğiklik açısının çevrim ortalaması arasında olduğu iddia edilen ters korelasyon, Dasi-Espuig vd. (2010) tarafından önerilmiştir[4]. Projemizin temel amaçlarından biri de bu

[4]Bu çalışma sonrasında Mt. Wilson verileri ile ilgili küçük bir düzeltme, Dasi-Espuig vd. (2013) tarafından yayınlanmıştır

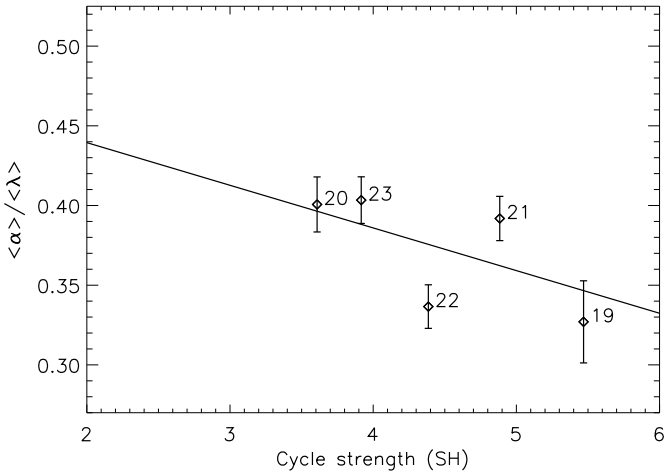


Şekil 6. Eğiklik açısının ortalama değeri etrafındaki saçılmanın (standart sapma) umbral leke alanına bağlılığı. Sürekli çizgi şimdiki çalışmadan elde edilen logaritmik fonksiyon uydurmasını, noktalı çizgi ise Jiang vd. (2014) tarafından Mt. Wilson ve Kodaikanal ölçümlerinden elde edilen uydurmayı gösterir.

ilişkiyi test etmek idi. Bu raporun yazıldığı tarihlerde henüz bu ilişkinin bağımsız bir testi, literatüre yansımamıştır.

Şekil 7, 19-23. çevrimlerden ölçtüğümüz leke grubu eğiklik açılarının çevrim şiddeti ile ilişkisini göstermektedir. Çevrim şiddeti, Dasi-Espuig vd. (2010) çalışmasında olduğu gibi, Balmaceda vd. (2009) tarafından yapılan farklı veri tabanları arasında düzeltilmiş leke grubu alan ölçümleri kullanılarak hesaplanmıştır. Çevrimlerin başlangıç ve bitiş tarihleri, National Geophysical Data Center veritabanından alınmıştır. [5] Leke grubu alanları, ilgili çevrim üzerinden toplanmış ve Güneş'in yarıküre alanı biriminde gösterilmiştir. Makalenin eki olarak sunulan zaman serisindeki boşluklar, yine Dasi-Espuig vd. (2010)'in yaptığı gibi doğrusal interpolasyon yapılarak doldurulmuştur. Grup alanlarının çevrim toplamını daha doğru tahmin etmek için interpolasyon yapmaktan daha iyi bir yöntem yoktur. 24. çevrim henüz bitmediği için toplam şiddeti henüz bilinmemektedir. Bu nedenle, bu çevrime ilişkin eğiklik açısı ölçümlerimiz olsa da, bu analizde kullanılmamıştır. Yine de, şiddet olarak yakın olduğu tahmin edilen 15. çevrimin şiddeti 24. için kullanıldığında, 2014 sonuna dek olan verilerle bulunan 0.35 değeri, bu çevrimde beklenenden çok daha düşük eğiklik açıları oluştuğuna işaret etmektedir. Tabii burada yapılması gereken, çevrimin sonlanması için birkaç yıl daha bekleyerek veri toplamaktır. Grup alanı ile ağırlıklandırılmış eğiklik açılarını kullanarak enleme normalizasyon yapıldığında, korelasyon düzeyi artmamıştır. 19-23. çevrimler göz önüne alındığında korelasyon katsayısı -0.69 olarak

[5] `http://www.ngdc.noaa.gov/stp/space-weather/solar-data/solar-indices/sunspot-numbers/cycle-data/table_cycle-dates_maximum-minimum.txt`



Şekil 7. Çevrimlik enlem ortalamasına boylanmış çevrimlik eğiklik açısı ortalamalarının çevrim şiddetine göre değişimi. Çevrim şiddeti, lekelerin kapladığı alanın çevrim süresi üzerinden toplamıdır ve Güneş'in yarıküre alanı cinsinden verilmiştir.

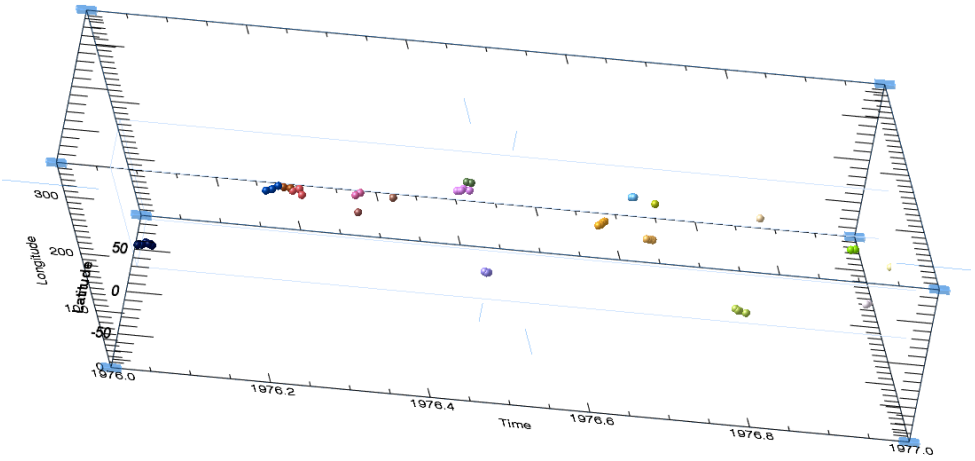
bulunmuştur. Dasi-Espuig vd. (2010) ve Dasi-Espuig vd. (2013) tarafından bulunan katsayılar, Mt. Wilson için -0.79, Kodaikanal için -0.93 idi. Daha fazla çevrimin eklenmesiyle bu korelasyonun güçlenmesi beklenmektedir.

4.6 Leke Gruplarının Eğiklik Açısı Evrimleri

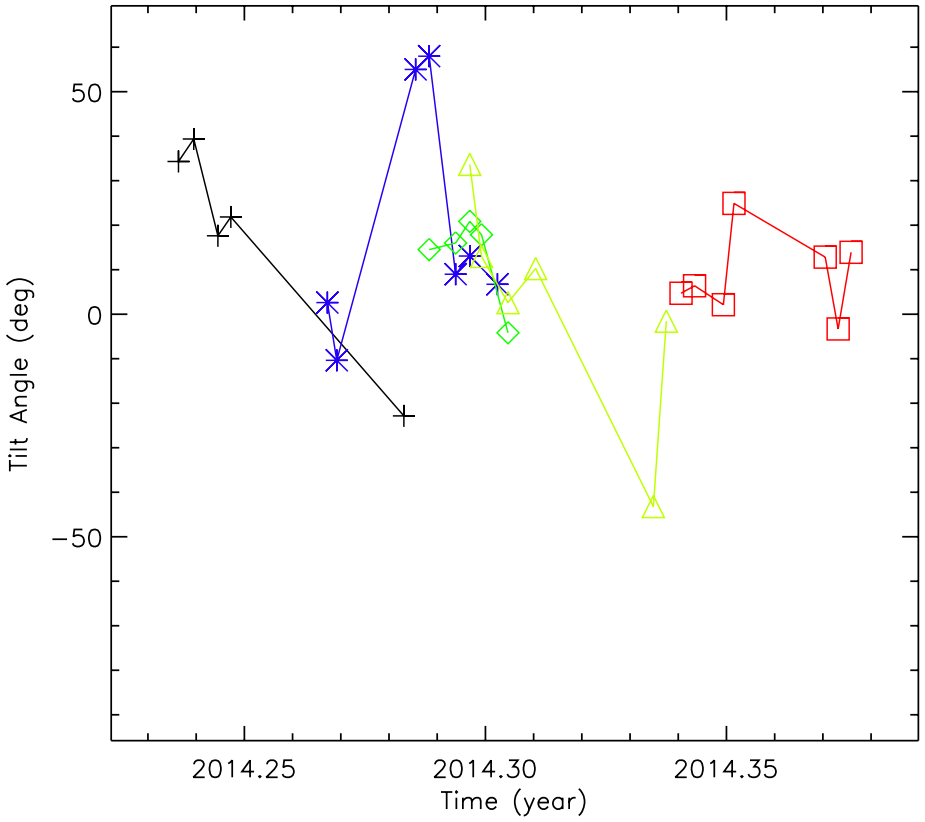
Bu noktaya kadar, leke gruplarının eldeki tüm gözlemleri aynı potada değerlendirilmiştir. Aynı leke grubunun birbirine yakın günlerde farklı evrim aşamalarındaki hallerinin tümünün ortalamasını almak, çevrimsel ortalamaların incelenmesinde bir sorun ya da yanlılık yaratmaz. Ancak leke gruplarının eğiklik açısı evrimi, farklı evrim aşamalarında ne düzeyde katkıda bulunduğu ayrıca incelenmeyi hak eden bir olaydır.

Her bir leke grubunun farklı zamanlardaki gözlemlerini elle ayırmak yerine, enlem-boylam-zaman parametre uzayında k-ortalama kümeleme algoritmaları çalıştırılarak Güneş minimumları için kısmen başarılı kümeleme yapılabildiyse de, özellikle leke gruplarının çok sayıda olduğu diğer çevrim evrelerinde zorluklar yaşanmıştır. Bunun önemli bir nedeni, enlem-boylam-zaman uzayındaki küme sayısının baştan bilinmiyor olmasıdır.

Proje önerisindeki B planında söz edildiği gibi, bu durumda bir kümeleme algoritması, yürütücünün gözetiminde lisans bursiyeri tarafından geliştirilmiş ve 21.-23. çevrimlere uygulanmıştır. Bu kümelemede, 14 günlük zaman pencerelerinde gözlenen grupların enlem ve boylamlarına bakılmış, enlemi ve boylamı 3°'nin altında farklar gösteren gruplar "aynı grup" şeklinde kaydedil-



Şekil 8. Kümeleme örneği. 1976 yılı boyunca leke gruplarının enlem ve boylam değerleri, her bir küme için farklı renkte gösterilmiştir.



Şekil 9. 2014 yılında birkaç leke grubunun eğiklik açısının değişimi.

miştir. Farklı grupların aynı kümeye karışmasını engellemek için kümeleme için minimum grup alanı 25 MSH olarak seçilmiştir. 1976 yılını kapsayan bir örnek, Şekil 8'de gösterilmiştir.

Birinci gelişme raporunu izleyen beş aylık dönemde, kümeleme için lisans bursiyerinin geliştirdiği MATLAB kodu denetlenmiş ve gerekli bazı geliştirmeler yapılmıştır. 1976 - 1999 dönemi için Kandilli'de gözlenmiş tüm çift kutuplu leke gruplarının enlem-boylam-zaman uzayında kümeleme işlemi tamamlanmıştır. Böylece kümelenmiş verilerin, leke gruplarının alan - eğiklik açısı evriminin ortalama davranışını belirlemeye olanak sağlamıştır. Şekil 9'de de görüldüğü gibi, rastgele alınan birçok leke bölgesinin evrimi boyunca eğiklik açısının 10 dereceyi aşan zıplamalar yapabildiği görülmüştür. Bu etkiye bünyesel sistematik süreçlerin yanında, ilgili gözlem günündeki atmosferik görüş koşullarının da önemli olduğu fark edilmiştir.

5. TARTIŞMA VE İLERİYE BAKIŞ

Bu projede Güneş lekesi grubu eğiklik açılarının çevrim şiddeti ile ilişkisini incelemek ve 20. yüzyıla ait sadece iki veri tabanının olduğu literatüre önemli bir katkı yapmayı amaçladık. Projede varılan sonuçlar aşağıda maddeler halinde tartışılmış, ileriye dönük öneriler sunulmuştur.

- Literatürdeki en kapsamlı veri tabanını oluşturan Mt. Wilson ve Kodaikanal gözlemevleri, özellikle otomatik gruplamaya dayandığı için, eğiklik açısı ölçümlerinde sistematik hata kaynakları söz konusudur. Senthamizh Pavai vd. (2015) tarafından ayrıntılı biçimde öne sürülen bu durum, çevrimsel ortalama eğiklik açılarının sistematik olarak düşük çıkmasına neden olmaktadır. Projemizin önerisinde de belirttiğimiz gibi, 1954 yılından beri dikkatli biçimde gruplama yapan nice gözlemci sayesinde, Kandilli verileri böyle bir hata kaynağına sahip değildir. El çizimlerinden kaynaklanan hatalar ise rastgele hatalar oluşturmakta, bu hataların ortalama büyüklüğü, eğiklik açısının bünyesel olarak gösterdiği doğal saçılmanın altında kalmaktadır. Burada bulduğumuz ortalama eğiklik açısı, yukarıda anılan çalışmanın 7-10. çevrim çizimleri için bulduğu ortalama değere çok yakındır.
- Joy kuralının eğimi, 1. gelişme raporunda gösterildiği üzere, çevrimden çevrime ve kuzey-güney yarıküreler arasında değişmektedir.
- Foto-helyografik sonuçlarla karşılaştırıldığında, Kandilli çizimlerinden bulunan leke alanlarında sistematik olarak küçük alanlara doğru bir yanlılık görülmektedir. Bunun nedeni için yüksek çözünürlüklü görüntülerle karşılaştırmaya gereksinim vardır. Bu durum, eğiklik açılarında önemli bir hata kaynağı değildir.
- Eğiklik açısının leke grubu alanına bağlılığı, ilginç bir şekilde, büyük grup alanlarına gidildikçe eğiklik açısının büyüdüğünü göstermiştir. Bu durum ilk kez bu projede saptanmıştır; ancak kesin bir yargıda bulunmadan önce yine SOHO veya SDO görüntüleri aynı yöntemle ölçülerek karşılaştırma yapılması gereklidir.
- Eğiklik açısındaki saçılmanın grup alanına bağlılığı, Güneş çevrimlerinin öngörülebilmesinde önemli bir belirsizlik kaynağıdır. Bu duruma ilk kez dikkat çeken Jiang vd. (2014) çalışmasından sonra ilk kez bu projede ilgili fonksiyonel bağımlılık yeniden saptanmış, benzer bir eğim bulunmuştur.
- Leke gruplarının evrimleri boyunca eğiklik açısı alanla birlikte önemli miktarlarda değişmektedir. Bu durum da yine, atmosferik bozucu etkilerden yoksun olan uydu verileriyle çapraz testler yapılarak denetlenmelidir.

Önümüzdeki bir-iki ay içerisinde, projede yapılan çalışmaların, iki makale halinde *Astronomy & Astrophysics* ve/veya *Solar Physics* dergilerine gönderilmesi planlanmaktadır. İlk makalenin gönderilmesine engel olan durum, çizimlere dayandığı için önyargılı bakılacağının düşünülmesidir. Bu nedenle, SOHO ve SDO tüm disk görüntülerinden aynı yöntemle yeterli miktarda eğiklik açısı ölçerek Kandilli çizimleri ile karşılaştırmalar yapmak gereklidir. Yapılacak testler, yerel meridyen doğrultusundan sapmalar, görünür disk çapı değişimleri vb. gibi sorunların neden olduğu hataların boyutunun saptanmasını sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Babcock, H. W. 1961. “The Topology of the Sun’s Magnetic Field and the 22-YEAR Cycle”, The Astrophysical Journal, 133, 572.

Balmaceda, L. A., Solanki, S. K., Krivova, N. A., ve Foster, S. 2009. “A homogeneous database of sunspot areas covering more than 130 years”, Journal of Geophysical Research (Space Physics), 114, A07104.

Baranyi, T. 2015. “Comparison of Debrecen and Mount Wilson/Kodaikanal sunspot group tilt angles and the Joy’s law”, Mon. Not. Royal Astronomical Society, 447, 1857–1865.

Baumann, I., Schmitt, D., Schüssler, M., ve Solanki, S. K. 2004. “Evolution of the large-scale magnetic field on the solar surface: A parameter study”, Astronomy and Astrophysics, 426, 1075–1091.

Cameron, R. H., Dasi-Espuig, M., Jiang, J., Işık, E., Schmitt, D., ve Schüssler, M. 2013. “Limits to solar cycle predictability: Cross-equatorial flux plumes”, Astronomy and Astrophysics, 557, A141.

Cameron, R. H., Jiang, J., Schmitt, D., ve Schüssler, M. 2010. “Surface Flux Transport Modeling for Solar Cycles 15-21: Effects of Cycle-Dependent Tilt Angles of Sunspot Groups”, The Astrophysical Journal, 719, 264–270.

Cameron, R. H. ve Schüssler, M. 2012. “Are the strengths of solar cycles determined by converging flows towards the activity belts?”, Astronomy and Astrophysics, 548, A57.

Charbonneau, P. 2010. “Dynamo Models of the Solar Cycle”, Living Reviews in Solar Physics, 7.

Dasi-Espuig, M., Solanki, S. K., Krivova, N. A., Cameron, R., ve Peñuela, T. 2010. “Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle”, Astronomy and Astrophysics, 518, A7.

Dasi-Espuig, M., Solanki, S. K., Krivova, N. A., Cameron, R., ve Peñuela, T. 2013. “Sunspot group tilt angles and the strength of the solar cycle (Corrigendum)”, Astronomy and Astrophysics, 556, C3.

Fan, Y. 2009. “Magnetic fields in the solar convection zone”, Living Reviews in Solar Physics, 6(4).

Hale, G. E., Ellerman, F., Nicholson, S. B., ve Joy, A. H. 1919. “The Magnetic Polarity of Sun-Spots”, The Astrophysical Journal, 49, 153.

Howard, R., Gilman, P. I., ve Gilman, P. A. 1984. “Rotation of the sun measured from Mount Wilson white-light images”, The Astrophysical Journal, 283, 373–384.

Howard, R. F. 1991. “Axial tilt angles of sunspot groups”, Solar Physics, 136, 251–262.

Işık, E. 2015. “A mechanism for the dependence of sunspot group tilt angles on cycle strength”, The Astrophysical Journal Letters, 813(1), L13.

Jiang, J., Cameron, R. H., Schmitt, D., ve Işık, E. 2013. “Modeling solar cycles 15 to 21 using a flux transport dynamo”, Astronomy and Astrophysics, 553, A128.

Jiang, J., Cameron, R. H., ve Schüssler, M. 2014. “Effects of the Scatter in Sunspot Group Tilt Angles on the Large-scale Magnetic Field at the Solar Surface”, The Astrophysical Journal, 791, 5.

Jiang, J., Işık, E., Cameron, R. H., Schmitt, D., ve Schüssler, M. 2010. “The Effect of Activity-related Meridional Flow Modulation on the Strength of the Solar Polar Magnetic Field”, The Astrophysical Journal, 717, 597–602.

Li, J. ve Ulrich, R. K. 2012. “Long-term measurements of sunspot magnetic tilt angles.” The Astrophysical Journal, 758(2), 115.

Mackay, D. ve Yeates, A. 2012. “The Sun’s Global Photospheric and Coronal Magnetic Fields: Observations and Models”, Living Reviews in Solar Physics, 9.

Mackay, D. H., Priest, E. R., ve Lockwood, M. 2002. “The Evolution of the Sun’s Open Magnetic Flux - I. A Single Bipole”, Solar Physics, 207, 291–308.

McClintock, B. H. ve Norton, A. A. 2013. “Recovering Joy’s Law as a Function of Solar Cycle, Hemisphere, and Longitude”, Solar Physics, 287, 215–227.

McClintock, B. H., Norton, A. A., ve Li, J. 2014. “Re-examining Sunspot Tilt Angle to Include Anti-Hale Statistics”, The Astrophysical Journal, 797, 130.

Senthamizh Pavai, V., Arlt, R., Dasi-Espuig, M., Krivova, N. A., ve Solanki, S. K. 2015. “Sunspot areas and tilt angles for solar cycles 7-10”, Astronomy and Astrophysics, 584, A73.

Sivaraman, K. R., Gupta, S. S., ve Howard, R. F. 1999. “Measurement of Kodaikanal white-light images - IV. Axial Tilt Angles of Sunspot Groups”, Solar Physics, 189, 69–83.

Stenflo, J. O. ve Kosovichev, A. G. 2012. “Bipolar Magnetic Regions on the Sun: Global Analysis of the SOHO/MDI Data Set”, The Astrophysical Journal, 745, 129.

Wang, Y.-M., Colaninno, R. C., Baranyi, T., ve Li, J. 2015. “Active-region Tilt Angles: Magnetic versus White-light Determinations of Joy’s Law”, The Astrophysical Journal, 798, 50.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Yrd. Doç. Dr. EMRE IŞIK
Proje No:	114F372
Proje Başlığı:	Güneş Lekesi Grubu Eğiklik Açılarının Etkinlik Çevrimleri İle İlişkisi
Proje Türü:	1001 - Araştırma
Proje Süresi:	15
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	İSTANBUL KÜLTÜR Ü. FEN EDEBİYAT F. FİZİK B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	15/04/2015 - 15/07/2016
Onaylanan Bütçe:	89010.0
Harcanan Bütçe:	79490.32
Öz:	Bu proje ile Güneş?te 19. çevrimin başı ile 24. çevrimin ikinci yarısı arasında (1954-2015) ortaya çıkan leke gruplarının eğiklik açıları B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Astronomi Laboratuvarı veri tabanı kullanılarak, proje öncesinde geliştirilen bilgisayar destekli bir yöntemle ölçülmüştür. Ölçümlerin amacı, ortalama eğiklik açısının diğer leke grubu parametreleri ile ve özellikle de çevrim şiddeti ile ilişkilerinin belirlenmesidir. Ölçüm sonuçları, literatürde tek bir makalede duyurulan çevrim şiddeti - eğiklik açısı ters korelasyonunu doğrular niteliktedir. Eğiklik açısının ve gösterdiği doğal saçılmanın leke grubu alanı ile gösterdiği değişim, literatürle tutarlı şekilde bulunmuştur. Yapılan kümeleme analizinde, eğiklik açısının leke gruplarının evrimi boyunca büyük değişimler gösterebildiğini ortaya koymuştur.
Anahtar Kelimeler:	Güneş fiziği, Güneş'in manyetik etkinliği
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır

TÜBİTAK