

Değişen Yıldız Olarak Güneş ve Güneş Işığı Değişimlerinin Modellenmesi

Zeki EKER¹, Peter N. BRANDT², Arnold HANSLMEIER³, Wolfgang OTRUBA⁴, Michael STEINEGGER³

¹Department of Astronomy, King Saud University, Riyadh 11451, Saudi Arabia

²Kiepenheuer-Institut für Sonnenphysik, Schöneckstrasse 6, D-79104 Freiburg, Germany

³Institut für Astronomie, Universitätsplatz 5, A-8010 Graz, Austria

⁴Sonnenobservatorium Kanzelhöhe, A-9521 Treffen, Austria

e-mail: eker@ksu.edu.sa

ÖZET: Bugünkü anlamda güneşin bir yıldız, yıldızların da birer güneş oldukları yaklaşık 300 yıldan beri bilinmektedir. Galile (1612) den beri bilinen güneş lekeleri, yirminci yüzyılın başlarına kadar, değişen yıldızların parlaklık değişimlerini açıklayan leke modeline ilham olmasına rağmen, güneş ışınımının periyodik değiştiği, yani güneşin bizzat kendisi değişen yıldız olduğu ancak 20 yıl kadar önce anlaşılmıştır. Duyarlılığı artırılmış radyometrelerle donatılmış uydu gözlemleri, özellikle ACRIM I (Active Cavity Radiometer Monitoring I) ve NIMBUS-7 uydusundaki ERB (Earth Radiation Budget) deneyiminin 1979 yılında başlayan sürekli 10 yılı aşkın güneş sabiti ölçümleri güneş ışırtmasının leke (%0.3) ve fakulaların (%0.08) geçişiyle ilgili kısa periyodlu, ve manyetik aktivite periyodu 11 yıllık uzun süre içinde de %1 e yakın genlikle değiştiği belirlenmiştir. Bu durumda güneş, güneş benzeri manyetik aktivitesi ve üstündeki soğuk lekelerle değişim gösteren RS CVn türü bir değişen, ama tek yıldız konumundadır. Öte yanda, global 5 dakikalık titreşimlerin (Claverie ve ark.1979) keşfi ile güneşin zonklama nedeniyle değişen sefeit, RR Lyrea yıldızları gibi bir değişime gösterdiği de ortaya çıkmıştır. Ancak, spektroskopik radyal hız ölçümleriyle belirlenen global 5 dakikalık titreşimlerin parlaklık değişimine katkıları, leke ve fakulaların etkisinden çok daha küçüktür, yani değişimin genliği $3 \cdot 10^{-5}$ rms (root mean square) veya 30 ppm (parts per million) dan daha küçüktür. Burada, leke ve fakulalarla ilgili ACRIM ve ERB verilerine uygulanan modelleme teknikleri gözden geçirilmiş, ve 1996 da başlayan SOHO/VIRGO (Solar and Heliospheric Observatory / Variability of IRradiance and Gravity Oscillations) verileriyle ilgili gelişmeler anlatılmıştır.

1. Giriş

Bugünkü anlamda güneşin bir yıldız, yıldızların da birer güneş oldukları yaklaşık 300 yıldan beri bilinmektedir. Güneşin bir yıldız olarak parametreleri Tablo 1 de gösterilmiştir. Bu tablo benzer yıldız tablolarıyla karşılaştırılırsa, eksikliği olmayan ve hatası en küçük (en doğru) değerleri gösteren bir tablo olduğu görülür. Bize en yakın yıldız güneşin en iyi bilinmesi elbette doğaldır. Bu tabloya göre güneş olağan dışı özellik göstermeyen, kararlı, alalâde, istatistik olarak en çok raslanan yıldızlardan biridir. İnsanoğlu güneşle ilgili doğru bilgilere, teleskopun keşfinden (1612, Galileo) sonra ulaşabilmiştir. Galile'nin en önemli astronomik keşiflerinden biri de güneş lekeleridir. Güneşin manyetik aktivitesiyle doğrudan ilgili leke gözlemleri günümüzde önemi daha da artmış olarak Galile'den bu güne aralıksız sürdürülmektedir. Değişen yıldızların keşfinden sonra (1667, Ismael Boulliau, Omikron Ceti), üstündeki lekelerle güneş değişen yıldızların ışık değişimlerini açıklamak için ilham kaynağı olmuştur.

Tablo 1. Bir yıldız olarak Güneş.

Tayf türü	G2V
Etkin Sıcaklık (T_{eff})	5770 °K
Görünür parlaklık	$m_v = V = -26.74$ kadir
	B = -26.09 "
	U = -25.96 "
	$m_{\text{BOL}} = -26.82$ "
Mutlak parlaklık	$M_V = +4.84$ "
	$M_B = +5.48$ "
	$M_U = +5.61$ "
	$M_{\text{BOL}} = +4.75$ "
Renk indeksi	B-V= +0.65 "
	U-B= +0.13 "
	U-V= +0.78 "
Bolometrik düzeltme	BC = +0.08 "
Işınım gücü	$L_{\odot} = 3.826 \times 10^{26}$ watt
Yarıçap	$R_{\odot} = 695\,990$ km
Kütle	$M_{\odot} = 1.989 \times 10^{33}$ gram
Yoğunluk	$\rho_{\odot} = 1.4$ gr/cm ³
Yüzey çekim ivmesi	$g_{\odot} = 2.7398 \times 10^4$ cm/s ²
Yaş	5×10^9 yıl

Yirminci yüzyılın başlamasına kadar her türlü değişen yıldız, örten değişen çiftler, zonklayanlar, hatta nova ve süpernovalar bile leke hipotezi ile açıklanıyordu (Eker 1999). Ne yazık ki, değişen yıldızların parlaklık değişimlerini açıklamak için ilham kaynağı olan güneşin değiştiği, yani güneşin bizzat değişen yıldız olduğu ancak 20 yıl gibi çok yakın bir zamanda anlaşılmıştır.

2. Tarihçe

Ortaçağda iç içe kürelerden oluşan yer merkezli evren görüşü, yani Aristo paradigması hakimdi. Aristo (MÖ. 384-322)' ya göre ay'ı taşıyan ay küresi ve üstünde gezegenleri, yıldızları taşıyan diğer küreler, evrenin merkezinde olduğu düşünülen yer etrafında dönerler. Ayüstü alem (heavens, sema, gök alemi) ebedidir ve değişmez, kusursuzdur, mükemmeldir. Kusur ve değişme fani ay altı aleminin özellikleridir. Güneş kusursuz ay üstü aleme aittir. Bu nedenle kusursuz olması gerektiği gibi, değişmemesi de gerekir.

Aristo dünya görüşünden kopmamış Galile zamanındaki diğer bilim adamları, bu yüzden, Galile'nin teleskopunda gördükleri güneş lekelerine inanmadılar. Gördükleri lekelerin güneşten değil, objektifin üstündeki toz veya kirden olduğunu iddia ettiler. Objektif ve oküleri silip temizledikleri halde lekelerin genede görünüyor olması karşısında bile, ilk defa gördükleri, bilmedikleri bu aletin anlayamadıkları bir kusurundan olduğunu düşünüyorlardı.

Parlaklık ve ışık şiddeti ölçümleri yoktu ama, güneşin, ay'ın ve diğer 5 gezegenin (Merkür, Venüs, Mars, Jüpiter, Satürn) yıldızlara göre konumlarını veren gözlemlerin M.Ö. 2000 den beri yapıldığı, Babil'de kil tabletler üstüne yazıldığı biliniyordu. Eski Yunan biliminin kurucuları dahil (Thales, Babil gözlemlerinden elde ettiği istatistik bilgi ile M.Ö. 585 deki güneş tutulmasını önceden haber vermişti) Aristo devri bilgileri bu gözlemlerden haberdardı (Lindberg 1972). Tutulmalar dışında güneşin ve ışığının değiştiğini gösteren ne bir belge, ne bir haber, ne de bir emare vardı. Zaten, eski yunanlı bilginler tutulma sırasında güneş ışığının azalmasına dünya ile güneş arasına giren ay'ın sebep olduğunu biliyorlardı. Güneş hep aynı güneşti. Doğal olarak yunanlı bilginler güneşin değiştiğine veya değişebileceğine ihtimal bile vermediler. Ama öte yanda, astronomi geleneği, gözlem tekniği Babil kadar eski (M.Ö. 2000) olan çin medeniyetinde başka türlü düşünenler de vardı. Eski yunan astronomik bilgileri, epicycle teorileri ile birlikte güneş ve ay tutulmalarının doğru açıklamaları Büyük İskender (M.Ö. 334 - 323)'in fetihleriyle Hindistan'a, oradan budist hacılarıyla Çin'e ulaşmasına rağmen, çinli astronom Wang Chog (1.inci yüzyıl) tutulma sırasında güneş ışığının azalmasına ay'ın sebep olduğunu yin-yang prensibi gereği kabul etmiyordu (Thurston 1996). Toprak gibi edilgen, pasif, dışı yani yin olan ay, nasıl olurda tam tersi yang olan güneşe etki edip ışığı azaltabilirdi. Yang olan güneş yang (etkin) olması gereği ışığı kendisi azaltıyor ve tekrar kendisi eski haline getiriyor olmalıdır.

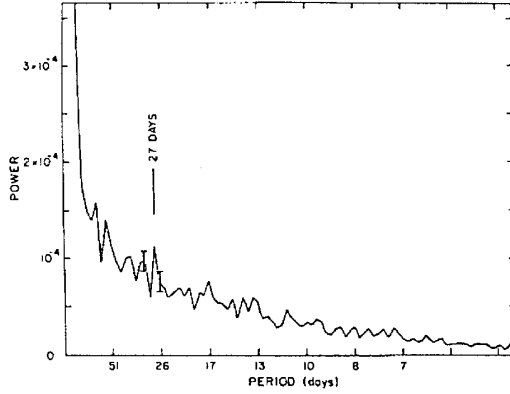
11.inci yüzyılda (Galile'den 500 yıl kadar önce) güneşin ve ışığının değişimiyle ilgili bir başka ilginç felsefik tartışma Bağdat'ta yaşanmıştır. Tartışma Kindi (796-872), Farabi (780-950) ve İbni-Sina (980-1037)'nın temsil ettiği felasife (felsefeciler) ekolü ile Eş'ari ekolünün temsilcisi Gazzali (1058-1111) arasında geçen maddi alemin (evren-kozmoz) hadis (sonradan yaratılan) veya kadim (ezeli) oluşu hakkındadır. Kozmozun ezeli (not: ezeli olan aynı zamanda ebedidir) olduğunu savunan felsefecilerin başka tezleri yanında güneşi de ilgilendiren tezleri şudur: "... Güneş yokluğu kabul etseydi, uzun süre sonunda onda zayıflama meydana gelirdi. Güneş bu uzun sürede zayıflamadığına göre bu güneşin bozulmadığını (mükemmel ve ezeli olduğunu) gösterir." Karlığa (1981). Felsefeciler "bu uzun süre" derken 3500 yılı aşkın referanslarla sabit olan Babil'lilere kadar geri uzanan astronomik gözlemleri kastetmektedirler. Değiştiğini söyleyen yoktur; Güneş hep aynı güneştir; demekki değişmemiştir.

Felsefecilerin tezlerini tutarlılık açısından değerlendirmeye tabi tutan ve güneş konusunda daha temkinli, daha bilimsel yaklaşımı sergileyen Gazzali'dir. O "Tehafüt el- Felasife" (Felsefecilerin Tutarsızlığı) ismini verdiği kitabında karşı tez olarak "... Bozulmanın ancak zayıflama ile olduğu kabul edilse bile, güneşe zayıflamanın sirayet etmediği nereden bilinmektedir? Belki de zayıflama vardır, ve günümüze kadar bir dağ miktarı veya daha fazla azalmıştır da duyular bu miktarı kavrayamamaktadır" diyerek felsefecilere itiraz etmiştir. (Karlığa 1981)

Gazzali'nin haklı şüphesi teleskopla keşfedilen lekeler (1612, Galileo), leke gözlemleri ve sürekli keşfedilen değişen yıldızlara, hatta değişen yıldızları açıklamakta kullanılan leke hipotezine rağmen 20.inci yüzyıl ortalarına kadar dikkat çekmedi. Güneşin değişmezliğine dair Aristo dünya görüşünün mirası menfi önyargının güneş ışığı ölçümlerine bile yansımaları "güneş sabiti" terimi açıkça göstermektedir. Güneş sabiti, ortalama dünya-güneş uzaklığında birim yüzeye birim zamanda bütün dalga boylarında güneşten gelen ışınım enerjisi olarak tanımlanmıştır. Birimi watt/m² dir.

Güneş sabiti terimi geçen yüzyılda ortaya atılmıştır. İlk ölçümleri de (1837) Pouillet tarafından yapılmıştır. Bu yüzyılın başlarında Amerikan Smitsonian Enstitüsü yerden yüksek dağ istasyonları, balonlar ve uçaklarla; atmosfer dışından 1960 lı yıllarda roketler ve Mariner uzay aracı vasıtasıyla sürekli gözlem ve ölçüm sonuçları almıştır. İşte bu gözlemler, güneş sabitinin sabit olmadığını gösteren ilk gözlemlerdir. Ama güvenilir değillerdir.

Duyarlılık ve seçici soğurma problemleri vardır (Pap 1997).



Şekil 1. Güneş sabitinin ortalama power spektrumu. 27 günlük (rotasyon) periyod ve standart sapmalar işaretlenmiştir. (Foukal ve ark.1977)

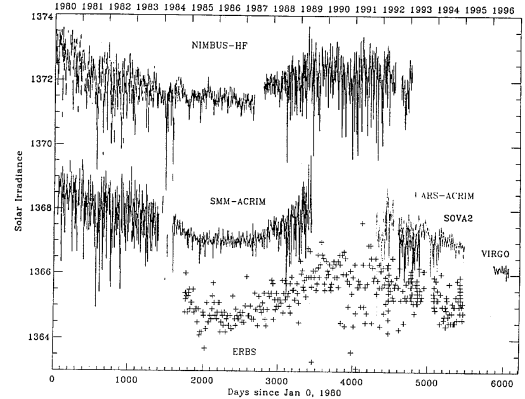
2.1. Değişmeyen Güneşten Değişen Güneş

Çok değil sadece 22 yıl önce Astrophysical Journal da yayınlanmış bir makale (Foukal, Mack ve Vernazza 1977, ApJ.,215,952) Mariner 6 ve 7 uzay araçlarındaki radyometrelerle alınmış güneş sabiti ölçümlerini değerlendiriyor ve ölçülebilir bir değişimin olmadığını iddia ediyordu. Foukal ve ark.(1977)'nin verdiği ölçülebilirlik sınırı %0.03 idi. Güneş ışınımının lekeler değil de fakullar sebebi ile %0.1 mertebesinde değiştiğini ima eden 1923 -1952 döneminde alınmış Simitsonian verilerine de atıf yapan yazarlar, bu daha yeni, daha duyarlı ölçümlerde bile, güneş sabiti ölçümlerinin power spektrumunda 27 günlük periyoda (güneşin dönme periyodu) karşılık gelen sinyalin gürültü içinde kaybolduğunu gösteriyordu. Şekil 1 de Foukal ve ark. (1977)'nin elde ettiği power spektrum ve 27 günlük periyoda karşılık gelen sinyal ve verilerin standart sapması gösterilmektedir.

Güneş ışığının şüpheye meydan vermeden

Tablo 2. Son 20 yılda güneş sabiti ölçümleri ile ilgili atmosfer dışı projeler.

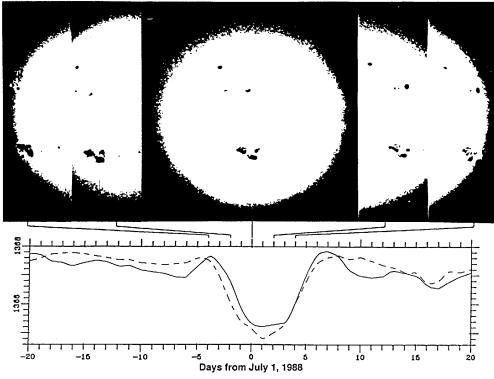
DENEY ADI	UZAY ARACI	RADYOMETRE	ZAMAN
ERB Earth Radiation Budget	NIMBUS-7	HF	Kasım 78 - Ocak 93
ACRIM I Active Cavity Radiometer Irradiance Monitoring I	SMM Solar Maximum Mission	ACRIM	Şubat 80 - Kasım 89
ACRIM II	UARS Upper Atmosphere research Satellite	ACRIM	Eylül 91 -
ERBE Earth's Radiation Budget Experiment	ERBS Earth Radiation Budget Satellite	ACRIM gibi	Ekim 84 -
SOVA I Solar Variability Experiment	EURECA European Retrievable Carrier	DIARAD Differential Dual Absolute Radiometer	Temm.92 - Haz.93
SOVA II	"	PMO-6	94 - ?
VIRGO Variability of Irradiance and Gravity Oscillations	SOHO Solar and Heliospheric Observatory	DIARAD PMO-6	Aralık 95 -



Şekil2. Son 20 yılın uzay uçlarıyla elde edilen güneş sabiti ölçümleri (SOHO dan)

gerçekten değiştiği 1970 li yılların sonunda başlayan duyarlılığı artırılmış radyometreler ile donatılmış uydu gözlemleri özellikle ACRIM I (Active Cavity Radiometer Monitoring I) ve NIMBUS-7 uydusundaki ERB (Earth Radiation Budget) deneylerinin 10 yılı aşkın süreyle sürekli aldıkları ölçümler ile ortaya çıkmıştır. 1979 ve sonrası güneş sabiti ölçümleriyle ilgili deneyler, uydular ve kullanılan detektörlerin (ölçü aleti) cinsi ve zamanlatı Tablo 2 de gösterilmiştir.

Son 20 yılın güneş sabiti ölçümleri de Şekil 2 de tek grafik olarak verilmiştir. Düşey eksen watt/m² cinsinden güneş ışıması yani güneş sabitidir. Yatay eksende günler (alt) ve yıllar (üst) işaretlenmiştir. NIMBUS-7 ve SMM-ACRIM I gözlemlerinin mutlak değer olarak farklı olması ölçüm hatalarından kaynaklanır. Ama, bu iki bağımsız uydunun elde ettiği bu gözlemlerin grafik üstünde şekil olarak benzerliği, yani 1980 den 1986 yılına kadar olan azalma ve tekrar 1990 yılına doğru artış, ölçümlerin relatif değişimlere daha duyarlı olduğunu gösterir. Şekil 2 de güneşin en az parlak olduğu 1986 yılları güneş aktivite periyodunun minimum dönemine rastlar. Bu da bu gözlemlerin ortaya koyduğu süpriz bir sonuçtur. Lekelerin güneş ışığını tamamen olmasa da kısmen bloke ettiği bilinmektedir. Ama tersine lekelerin olmadığı dönemde güneş ışığı daha



Şekil 3. SMM/ACRIM I verilerine göre güneşin ışık eğrisi (düz çizgi) ve PSI (Photometric Sunspot Index) modeline göre (kesikli çizgi) teorik ışık eğrisi ve eğri üstünde belli zamanlarda güneş yüzeyindeki lekelerin konumu.

azdır. Bir başka ifade ile, güneş üstünde lekelerin en çok görüldüğü, 11 yıllık aktivite periyodunun maksimumunda, parlaklığını yani uzaya yaydığı ışınım enerjisini de arttırmaktadır. Ama bu durum lekelerin güneş ışığını azaltmadığı anlamına da gelmez.

Düşey ekseninde gürültüymüş gibi görünen ölçümler zaman skalası (yatay eksen) daha da genişletilip güneşin eş zamanlı yüzey görüntüleri ile karşılaştırılınca düşey eksenindeki saçılmanın bir gürültü olmadığı ve lekelerin sönmükleştirici etkisiyle, görünen yüzeydeki leke miktarı ve konumuyla ilgili bir değişim olduğu hemen fark edilecektir.

Şekil 3 bir leke gurubunun geçişini ve bu zamanlara tekabül eden SMM/ACRIM I gözlemlerini ve PSI (Photometric Sunspot Index) modeli ile hesaplanan değişimleri göstermektedir.

Lekelerin çok olduğu, 11 yıllık periyodunun maksimumunda görülen güneşin lüminositesindeki artış fakulaların etkisiyle açıklanmaktadır. Sonuç olarak güneş ışınımındaki değişimler şöyle özetlenir: Güneş sabiti lekelerin geçişiyle ilgili %0.3 ve fakulaların geçişiyle ilgili %0.08 oranında kısa periyodlu (27 gün) değişim gösterdiği gibi manyetik aktivite periyodu 11 yıllık süre içinde de % 1 e yakın bir genlikle değiştiği belirlenmiştir.

2.2. Global Titreşimlerle İlgili Değişimlerin Keşfi

Güneş diskinin merkez bölgesinde lokal radyal hızları inceleyen Leighton, Noyes ve Simon (1962), periyodu 5 dakika olan titreşimleri bulmuştu. Sonra, modifiye edilmiş manyetogram kullanarak güneş diskinin merkez bölgesindeki hızlar ile, dış kenar (halka) bölgelerdeki hızları karşılaştırmakla, Sevrny, Kotov ve Tsap (1976),

160 dakikalık titreşimleri buldu. Aynı zamanda bir başka çalışma (Brookes, Isaak ve van der Raay 1976), 7699 K I ve 5890, 5896 Na I çizgilerini kullanıp, bütün diskin (yıldız gibi) hızını incelemekle periyodları $2^h.65$, ve $2^h.7$ saat ve genlikleri 2.7 ve 4.5 m/s olan titreşimler yanında, yine periyodları 58^m ve 40^m dakika olan 0.8 ve 0.7 m/s lik genlikli titreşimlerden haber veriyordu. Yine bu arada, disk çapı ölçümleri yapan Hill, Stebbins ve Brown (1976) gurubu da periyodları 6^m ila 66^m dakika arasında değişen genlikleri 0.01 açı saniyesi civarında çok sayıda titreşim olduğunu söylüyordu.

Ancak, güneşteki bu titreşimlerin global nitelikte olduğunu, 7699 K I çizgisi ile entegre (yıldız gibi) güneş ışığının duyarlı Doppler spektroskopisini yapan, sonuçlarını power spektrum analizi ile inceleyen Claverie ve ark.(1979) ilan etmiştir. Böylece güneşin zonklayan yıldızlar gibi ama daha küçük genlikte radyal ve radyal olmayan (non-radial) olarak zonkladığı da ortaya çıkmıştır.

Kronolojik sıra bakımından zonklayan yıldızlarda önce periyodik parlaklık değişimleri, sonra zonklamalar, yani yüzeyin radyal hız değişimleri keşfedilmiş ve bu da daha sonra parlaklık değişimlerinin fiziksel sebebi olarak açıklanmıştır. Şimdi güneş için tam tersi bir durum söz konusudur. Acaba, 1980 li yıllarda güneşte keşfedilen parlaklık değişimleri arasında güneşin global titreşimlerinden kaynaklanan bir bileşeni var mıdır? Doğal olarak böyle araştırmalar da gecikmeden uygulamaya konmuştur.

Yine aynı gurubun (Claverie ve ark.1981) 1979 da Pic Du Midi ve 1980 de Calar Alto gözlem evinden yapılan intensite gözlemlerine ve power spektrum analizlerine göre tespit ettiği 5 dakikalık global titreşimlere karşılık gelen, periyodu 5 dakika civarında intensite değişimleri vardır. Ama bu sinyaller çok küçüktür ve gürültü içinde kaybolmuştur. Claverie ve ark.(1981) ideal gözlem şartlarında beklenen inrensente değişimlerini $<3 \times 10^{-5}$ rms olarak ilan etmiştir.

3. Güneşin Değişen Yıldızlar İçindeki Konumu

Değişen yıldızların klasik sınıflandırmasında değişen yıldızlar önce iki ana guruba ayrılır. Bünyesel (intrinsic) değişenler ve harici (extrinsic) değişenler. Harici değişenler genelde çift yıldızlardır ve periyodik parlaklık değişimleri geometrik nedenlerle, yani yörüngenin bakış doğrultusunda eyimine bağlı olarak gözlemci açısından yıldızların bir birini örtmesi ile, yani periyodik tutulmalarla açıklanmaktadır. Algol, β

Lyrea ve W Uma türü yıldızları içeren bu gurup önceleri ışık eğrilerinin şekli bakımından sınıflandırılmışsa da günümüzdeki sınıflandırma çift sistemlerin gravitasyon potansiyel alanlarına yani Roche Loblarına göre durumları göz önünde tutularak yapılmaktadır. Fiziksel olarak daha anlamlı olan bu sınıflamada çift yıldızlar ayrık, yarı ayrık ve kontak çiftler olarak sınıflanır. Her çift yıldızın tutulma göstermesi gerekmez. Ancak, Algol türü ışık eğrileri ayrık, β Lyrea türü ışık eğrileri yarı ayrık ve W Uma türü ışık eğrileri de Roche loblarının her ikisini de doldurmuş kontak çiftlerden olduğu bilinmektedir. Güneş tek anakol yıldızdır. Bu nedenle harici değişenler arasında yer almıyacaktır.

Bu durumda güneş bir değişen yıldız olarak bünyesel değişenler arasında yer alır. Ama, bünyesel değişenler de kendi içinde iki önemli kola ayrılır. Cataclismic değişenler ve zonklayan yıldızlar. Cataclismic değişenler nova, cüce nova (U Gem) ve süpernova gibi ani parlamalar gösteren yıldızları içine aldığından, bu gurubun bu günkü güneşle ilgisi yoktur. Güneş global titreşimleri nedeniyle sefeit, RR Lyre, mira ve düzensiz değişen RV Tauri gibi zonklamalar nedeniyle değişenler arasında olmalıdır. Ancak, Zeilik ve Smith (1987)'nin ifadesiyle bünyesel değişenler gurubunda cataclismic veya zonklayan olmadığı halde değişenler de vardır. Bu iki guruba da girmeyen bu üçüncü alt sınıfta T Tauri ve flare yıldızları, manyetik değişenler, RS CVn türü (lekeler artı varsa tutulmalar ve diğer yakınlık etkileri) değişim gösteren yıldızlar bulunur. RS CVn yıldızlarının varsa tutulma ve yakınlık etkileri dışında kalan diğer parlaklık değişimlerinin sebebi olarak güneşteki gibi soğuk lekelerin varlığı 1950 li yıllardan sonra uzun tartışmalar sonucu bu gün kabul edilmektedir.

O halde, güneş RS CVn türü yıldızları içine alan bünyesel değişenler gurubunun üçüncü alt gurubu içinde yer almaktadır. Aynı zamanda güneş bir zonklayan yıldızdır, ama zonklama nedeniyle olan ışık değişimlerinin genliği güneşteki lekeler ve fakulalar nedeniyle olan değişimlerin genliğine göre iki order yani birkaç yüz defa daha küçüktür. Zaten, RS CVn yıldızları bir başka açıdan güneş benzeri aktivite gösteren yıldızlar olarak bilinmektedir.

4. Değişimlerin Modellenmesi

Görünürde iki problem vardır:

- 1- Yüzey titreşimlerinin ve bu titreşimlerin sebep olduğu intensite değişimlerinin modellenmesi,
- 2- Manyetik aktivite ile ilgili (lekeler, fakulalar) parlaklık değişimlerinin modellenmesi

Amaç güneş lüminositesinin (L_{\odot}) nasıl ve neden değiştiğini detaylarıyla anlayabilmektir. Değişime katkı miktarı göz önünde tutulduğunda değişim sebepleri şöyle sıralanmaktadır: Leker, fakulalar, network ve sakin güneş. Burada en belirsiz olan network ve sakin güneş bileşenleridir. Zonklama nedeniyle olan değişimler sakin güneş bileşeni içinde düşünülmektedir. Peryodu çok kısa (5 dakika) ve genlikleri de çok küçük olan zonklamalarla ilgili değişimler diğer bileşenlerden hemen ayrılırlar. Bir de bu bileşenlerin tüm etkisi olarak düşünebileceğimiz periyodu 11 yıllık aktivite periyoduna tekabül eden %1 oranındaki değişimin de modellenmesi veya açıklanması gerekmektedir.

Güneş sabiti değişimleri hakkında yeterli hatta bayağı çokça bilgimiz olmasına rağmen geri plandaki fizik mekanizmalar henüz tam olarak anlaşılmalı değildir (Pap 1987). Araştırmalara kolay tarafından başlamak bilimin metodudur. Bu yüzden bu çalışmada sadece 2.nci tür yani manyetik aktivite ile ilgili değişimleri ilgilendiren modeller özetlenecektir. Bu konu bile henüz başlangıç aşamasındadır. Bu yüzden zonklama ile ilgili ışık değişimlerine değinilmeyecektir.

4.1. İlk Modeller

Güneş sabitinde periyodik değişimlerin keşfedilmesiyle birlikte hemen konuyla ilgili teorik modelleme çalışmaları da başladı. İlk sayısal modeller Hudson ve ark. (1982), Foukal(1981), bir de Sofia, Oster ve Shatten (1982) tarafından ortaya atıldı.

Hudson ve ark.(1982)'in ifadesiyle güneş sabiti :

$$S_{\odot} = \int_{\Omega_{\odot}} I d\omega = 2\pi I_0 \left(\frac{R_{\odot}}{AU}\right)^2 \int_0^1 \mu f(\mu) d\mu \quad (1)$$

dir. Burada $I=I_0f(\mu)$ güneş yüzeyinde (fotosfer) parlaklık dağılımını ifade etmektedir. Ω ise bir astronomik birim uzaklıktan güneşi gören katı açıdır. Formülün devamındaki I_0 güneş yüzeyinden dik doğrultuda çıkan ışınım yoğunluğu yani intensitedir. $f(\mu)$ ise CLV (Center to Limb Variation) kenar kararması dediğimiz güneş diskinin merkezinden kenarına parlaklığın nasıl değiştiğini gösteren fonksiyondur. $\mu = \cos \theta$ dir ve θ da bakış hattı ve yüzeye dik doğrultu arasındaki açıdır. Bu durumda bir lekenin ışınım katkısı :

$$S_{spot} = \mu \frac{A_{spot}}{(AU)^2} g(\mu) I_{spot} \quad (2)$$

ve güneş sabitinin relatif değişim miktarı :

$$\frac{\Delta S}{S_{\odot}} = - \frac{\mu A_{spot} [f(\mu)I_0 - g(\mu)I_{spot}]}{2\pi I_0 R_{\odot}^2 \int_0^1 \mu f(\mu) d\mu} \quad (3)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu formüllerdeki A_{spot} leke alanı ve $g(\mu)$ lekelerle ilişkin kenar kararırma fonksiyonudur. Bu ilk modellerde lekelerin umbra ve penumbra sıcaklıkları aynı, umbra-penumbra alan oranları sabit kabul edilmiştir. Kenar kararırma fonksiyonu da fotosfer ve lekeler için aynı olduğu kabul edilmiş, ve $f(\mu) = (3\mu+2)/5$ Gray atmosferler için geçerli Edington yaklaşımı kullanılmıştır.

Relatif değişim miktarını veren bağıntıya PSI (Photometric Sunspot Index) ismi verilmiştir. PSI'nin en basit yazılımı ise:

$$PSI = \alpha \sum A_s \mu^{\frac{3\mu+2}{2}} \quad (4)$$

dir. Burada alfa α

$$\alpha = \frac{A_u}{A_{spot}} \left[1 - \left(\frac{T_u}{T_0} \right)^4 \right] + \frac{A_p}{A_{spot}} \left[1 - \left(\frac{T_p}{T_0} \right)^4 \right] \quad (5)$$

bağıntısıyla lekelerin kontrastını ifade eder. A_u , A_p , ve A_{spot} sırasıyla umbra, penumbra alanları ve lekenin toplam alanıdır. T_u ve T_p de umbra ve penumbra sıcaklıkları T_0 da 6100 K kabul edilen fotosferik kara cisim sıcaklığıdır. Allen (1976) "Astrophysical Quantities" deki değerlere göre $\alpha = 0.315$ dir. Bu değer bütün lekeler için aynı kabul edilmiştir. Bu yüzden α , (4) bağıntısında Σ işaretinin dışına alınmıştır. Σ işaretinin içindeki terimlere gelince A_s ppm (parts per million) biriminde relatif (yarıküreye göre) leke alanıdır. Konum itibarı ile her lekenin disk üstünde farklı izdüşümü vardır. Bu nedenle $\mu = \cos \theta$ terimi A_s den hemen sonra gelmiştir. Öte yanda $(3\mu+2)/5$ terimi de kenar kararırmasını ifade etmektedir.

Her gün için güneşteki leke alanları ve leke konumları SGD (Solar Geophysical Data) dergisinde yayınlanmaktadır. PSI fonksiyonu bu mevcut verileri kullanmak bakımından çok pratiktir. Zaten bu durum göz önünde tutularak hazırlanmıştır.

Chapman ve Meyer (1986) fakula etkisini de eklemekle modelleme çalışmalarını bir adım daha ileri götürmüştür. Chapman ve Meyer (1986) güneş sabitine etki eden iki fonksiyon tanımlamıştır. Bunlar :

$$PSI = -A_s C_s \mu (3\mu + 2) \quad (6)$$

ve

$$PFI = A_p C_p (\mu - 3\mu^2 + 2) \quad (7)$$

fonksiyonlarıdır. Bunlardan ilki başka türlü ifade edilmesine rağmen bildiğimiz PSI fonksiyonudur. İkincisi ise fakula etkisini ifade eden PFI (Photometric Facula Index) fonksiyonudur. PSI lekelerin azaltıcı etkisini, PFI fakuların katkısını ifade ettiklerinden, ilki negatif ikincisi pozitiftir. C_s ve C_p leke ve facularla ilgili kontrast değerlerini içeren katsayılarıdır. A_s bildiğimiz ppm biriminde leke alanıdır. Ancak, fakula alanları duyarlı ölçülemediğinden, hatta disk merkezine yakın bölgelerde fakulaları görmek bile mümkün olmadığından, doğrudan fakula alanı ve fakula kontrastı değil de bir proxy yani ikinci derecede belirteçlerden biri Ca K plaj alanları kullanılmaktadır. Bu yüzden PFI fonksiyonunda fakulaya işaret eden "f" indisi yerine plaj kelimesini ifade eden "p" sembolü kullanılmıştır. Yani, A_p fakula alanı değil proxy olarak ölçülen Ca K plajlarının alanıdır. Fakulalar hakkında bir başka ihtilaf konusu da fakulara ait muhtelif CLV (kenar kararırması) bağıntılarının varlığı ve birinin diğerine tercihin keyfi olmasıdır. PFI fonksiyonundaki μ 'lü terim çeşitli CLV fonksiyonlarından sadece birisidir.

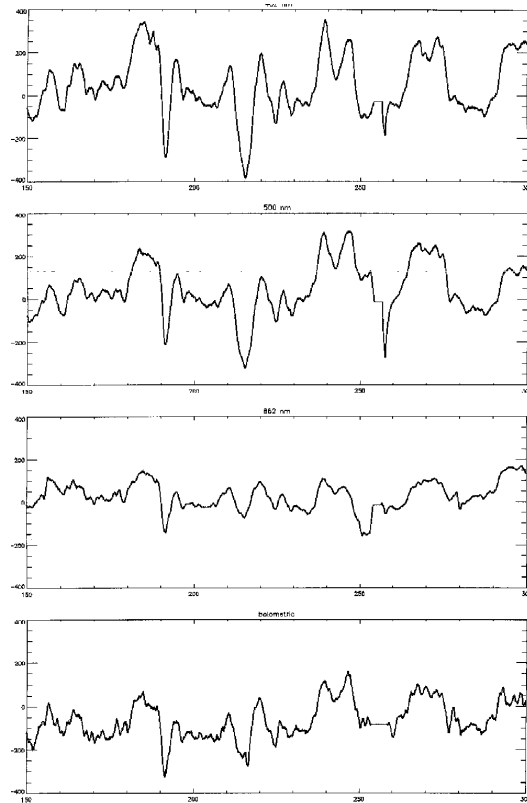
Bütün lekeler için aynı bolometrik kontrast (α) değerini kullanmak hesapları çok kolaylaştırmaktadır. Ama bu kolaylık, aslında, PSI fonksiyonunun duyarlılığından ödün vermek anlamına gelmektedir. Önce Brandt, Schmidt and Steinegger (1990) α nın hesabında kullanılan sabit umbra-penumbra alan oranı $A_u/A_p = 0.32$ değerinin sadece büyük lekeler için geçerli olduğunu ve küçük lekeler için $A_u/A_p = 0.24$ değerinin kullanılması gerektiğini gösterdi. Yine, Brandt, Schmidt and Steinegger (1992) bir sonraki makalede bolometrik kontrast (α) değerinin lekeden lekeye değişimini doğrudan incelemiş ve leke büyüdükçe kontrast değerinin de büyüdüğünü ortaya koymuştur. Nihayet, Brandt, Stix and Weinhardh (1994) APSI (Area Dependent Photometric Sunspot Index) yı tarif edip klasik PSI yı değil, APSI yı kullanmayı önermiştir.

NIMBUS ve ACRIM verilerini modelleme çalışmaları içinde son bir gelişme Steinegger ve ark.(1996) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın öncekilerden farkı α kontrast değerini pixel pixel leke içinde bile değişken kabul edip monokromatik fotorafardan hesaplayıp kullanmasıdır. Steinegger ve ark.(1996) PFI fonksiyonunu hesaplarken de Ca plaj alanı ve

parlıklarından (proxi) empirik olarak Vrsnak, Placko ve Ruzdjak (1991) tarafından belirlenen C_p (kontrast katsayısı) değerlerini kullanmakla fakuladan fakulaya değişen parlaklıkları da hesaba katmış oluyordu.

4.2. VIRGO Verilerinin Modellenmesi

VIRGO (Variability of solar IRradiance and Gravity Oscillations) dünya ile güneş arasındaki Langrange (L1) noktasında gözlem yapan SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) uzay aracı üstündeki 12 değişik amaçlı deney düzeneklerinden sadece biridir. SOHO ya uydu demek doğru değildir çünkü o dünya etrafında dönmez. Dünyadan yaklaşık 1.5 milyon km uzakta L1 noktasında sabit durmaktadır. Bu yüzden kesintisiz gözlem yapma kabiliyeti vardır. VIRGO deneyi her 3 dakikada bir DAIRAD, her iki dakikada bir PMO-6 isimli radyometreler ile bolometrik güneş sabiti ölçümlerini almakta ve SPM (sunphotometer) isimli özel tasarlanmış fotometre ile de 402, 500 ve 862 nm e tekabül eden 5 nm bant genişliği olan ölçümleri gerçekleştirmektedir. 1996 yılında veri göndermeye başlayan VIRGO, SOHO nun 1998 de bir manevra esnasında kontrolden çıkması, birkaç ay sonra bulunması, tekrar kaybolması, tekrar bulunması hariç günümüzde de veri



Şekil 4. Yukarıdan aşağıya 402, 500, 862 ve total (bolometrik) bantlarda güneşin 1996 daki 150 günlük ışık eğrisi.

göndermeye devam etmektedir.

Şekil 4 gürültüden arındırılmış VIRGO verilerini, yani yukarıdan aşağıya güneşin 1996 da alınmış 402, 500, 862 nm ve bolometrik ışık eğrilerinin 150 günlük bir kısmını göstermektedir. VIRGO verilerinin daha önceki uydu ölçümlerine göre avantajı sadece daha duyarlı olması değil, hem bolometrik hem de tayfın üç farklı spektral bölgesinde ölçüm yapıyor olmasıdır.

VIRGO verilerinin indirgenip modellenmesi ve sonuçlarının da yayınlanması Fligge ve ark.(1998) için çok sürmedi. Kanzelhöhe gurubu olarak bizim bu konudaki çalışmalarımız henüz devam etmektedir. Fligge ve ark.(1998) VIRGO verilerini açıklayacak bir model tekniği geliştirmişlerdir. Ancak, bu modelleme tekniğinin spektral yani farklı üç dalga boyundaki ölçümleri de içermesi hariç, daha önceki NIMBUS ve ACRIM verilerine uygulanan modellere göre herhangi bir yeni gelişme kaydettiğini söylemek zordur. Fligge ve ark.(1998) model atmosfer hesaplarını kullanıp sabit güneş için $T_{eff} = 5777$ K e tekabül eden F_{qs} , ve $T_{eff} = 5150$ K ile de umbrapenumbra alan oranını 1/3 kabul eden bütün lekeler için aynı F_s , ve Fontenla ve ark.(1993)'nın (FAL-P) modelini modifiye ederek fakulalar için F_f flukslarını (birim yüzeyden dik doğrultuda birim zamanda çıkan enerji miktarı) VIRGO bolometrik ve spektral verilerinin teorik hesabında kullanmak için hesapladı. Lekeler ve fakulalar için hesaplanan lekeden lekeye, fakuladan fakulaya değişmeyen Fligge ve ark.(1998)'nin kullandıkları kontrast değerleri Tablo 3 de gösterilmiştir.

Tablo 3. Fligge ve ark.(1998)'nin VIRGO için bolometrik ve spektral kontrast değerleri.

	Toplam	Kırmızı (862 nm)	Yeşil (500 nm)	Mavi (402 nm)
LEKELER	-0.3566	-0.3186	-0.4811	-0.5908
FAKULALAR	0.0597	0.0352	0.0723	0.0988

Sakin güneş, lekeler ve fakular için belirlenen flukslarla zaman ve dalga boyunun bir fonksiyonu olarak güneşin görünen yüzeyinden gelen akı miktarı da

$$F_{tot}(\lambda, t) = [1 - \alpha_s(t) - \alpha_f(t)] F_{qs}(\lambda) + \alpha_s(t) F_s(\lambda) + \alpha_f(t) F_f(\lambda) \quad (8)$$

olarak tarif edildi: Burada $\alpha_s(t)$ ve $\alpha_f(t)$ leke ve fakuların filling faktörleri (katkı payı, doldurma oranı) dir. Bunları da ayrıca $\alpha_s(t) = a_s \cdot A_s(t)$ ve $\alpha_f(t) = a_f \cdot R_{Mg}(t)$ ile gösterip sırasıyla lekeler ve fakulalar için a_s ve a_f sembolleri ile gösterilen scaling (skala) faktörlerini tarif etmişlerdir. Bu

durumda farklı dalga boylarındaki güneş ışıması zamanın bir fonksiyonu olarak

$$S^C(t) = \int F_{tot}(\lambda, t) \cdot K^C(\lambda) d\lambda \quad (9)$$

olacaktır. Burada $K^C(\lambda)$ üç ayrı dalga boyundaki VIRGO kanallarını temsil eden kanal geçirgenlik katsayısıdır. Her bant için 50 Å bant genişliği içinde $K^C(\lambda) = 1$, dışında sıfır olarak alınmaktadır. Bu modelde zamana göre değişen sadece iki parametre vardır. Bunlar da $A_S(t)$ görünen yüzeyde lekelerin toplam alanı ve $R_{Mg}(t)$ magnesium core to wing ratio dedikleri güneş tayfındaki magnezyum çizgisi gözlemlerinden elde edilen fakula etkisinin tahminine yarayan proxi ölçüleridir. Zamanla değişen bu parametreler de doğrudan SGD (Solar Geophysical Data) dergisinden temin edilmiştir. Modelde sadece a_S ve a_F sembolleriyle gösterilen skala parametresi adı verilen iki serbest model parametresi vardır. Fligge ve ark.(1998) bu model parametrelerini iterasyonla değiştirip teori ve gözlem arasında en iyi uyumu veren değerlerini aradılar. Ulaştıkları sonuç: $a_S = 0.97 \pm 0.07$ ve $a_F = (18.0 \pm 1.3) \times 10^5$ dir. a_S değerinin bire yakın olması kullanılan leke alanlarının bire bir etkili olması anlamındadır. Ama, a_F değerleri için durum böyle değildir. Fakula etkisini hesaplarken doğrudan değil dolaylı yani proxi ölçümleri kullandığı için a_F değeri bir orantı katsayısı gibidir.

Sonuç olarak söylersek, Fligge ve ark.(1998) modelleme tekniği olarak daha iyi bir duyarlılık veya bir ilerleme getirmemiş, sadece VIRGO verilerini kabaca teorik olarak üretmiştir. Lekeden lekeye değişmeyen kontrast (flux) değerleri kullanılmış, kaba ölçümler olarak bilinen yayınlanmış leke alanları ve fakulalar için Mg core to wing ratio değerleri tercih edilmiştir.

4.3. Kanzelhöhe Grubunun Modeli

Uzun dönem verilerini modelleyen Fligge ve ark.(1998)'nin aksine, Kanzelhöhe gurubu (P.N.Brandt, Z.Eker, A.Hanslmeier, W.Otruba ve M.Steinegger) güneş aktivitesinin sakin döneminde tek bir leke geçişi gibi basit 14 günlük peryodları modellemeyi amaçlamıştır. Gurubumuz leke etkisinin mümkün olduğu kadar eksiksiz ve doğru hesaplanmasıyla, VIRGO verilerinden fakulaların da doğrudan proxiye gerek kalmadan modellenebilir olduğunu düşünmektedir. Modellerde kullanılan analitik formüller Zeki Eker tarafından üretilmiştir. Eker'in ifadesiyle :

Leke üstünde çok küçük bir yüzey (dA) düşünelim. Bu yüzey parçasının toplam güneş ışınımındaki etkisi

$$F_{\odot} - I_p dA + I_s dA \quad (10)$$

olacaktır. Burada F_{\odot} hiç leke olmaması halinde güneşten gelen toplam akı miktarıdır. F_{\odot} dan çıkartılan birinci terim o leke parçasının karanlık yani hiç ışınım yaymamasını garanti eder. İkinci ($I_s dA$) terim ise o leke parçasının güneş ışınımına katkısıdır. Burada I_p ve I_s sırasıyla fotosfer ve lekenin o noktadaki ışınım yoğunlukları yani intensiteleridir. dA differansiyel yüzeydir ve her bir leke için (10) ifadesinin ayrı ayrı entegrali alınmalıdır. Ama önce kontrastla ilgili α parametresini tarif edelim. (10) ifadesi dA ve I_p parantezlerine alınırsa

$$F_{\odot} - I_p \left(1 - \frac{I_s}{I_p}\right) dA \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir. Burada I_s/I_p oranı Eker'in yıldız lekeleriyle ilgili modellerinde (Eker 1994) kullandığı yine α sembolü ile gösterilen leke-fotosfer intensite oranı (spot to photosphere intensity ratio) adı verilen parametredir. Eğer, $\alpha = I_s/I_p$ ise tek bir leke sebebi ile kabolun akı

$$F_{\odot} - \int_{leke} I_p (1 - \alpha) dA \quad (12)$$

dır. Buradaki alfanın daha önceki güneş modellerinde kullanılan alfa dan farklı olduğuna dikkat ediniz. Daha önce güneş modellerinde kontrast değeri olarak kullanılan α bizim formülümüzde $(1 - \alpha)$ ya denktir. (5) ifadesiyle karşılaştırılırsa burada tanımladığımız yeni alfa, umbra penumbra alan oranından bağımsızdır. (12) ifadesindeki entegral ile leke katkısını hesaplarken lekeler için ayrı bir kenar kararına yasası da gerekli değildir. Halbuki klasik PSI fonksiyonunda hem fotosfer hem lekeler için CLV yani kenar kararına düşünölmüş ama hesap kolaylığı aynı kabul edilmişti. (12) deki integral alfa sıfır (yüzeyde hiç leke yok) kabul edilip güneşin görünen yüzeyi için entegral çözölmürse F_{\odot} elde edilir. Şöyle ki:

$$F_{\odot} = \int_{\Omega} I_p dw = 2\pi \left(\frac{R_{\odot}}{AU}\right)^2 I_{\odot} \int_0^1 f(\mu) \mu d\mu \quad (13)$$

Farklı dalga boylarında güneşin 5.inci derece empirik kenar kararına kanunu (CLV) yani katsayıları Pierce ve Slaughter (1977); Pierce, Slaughter ve Weinberger (1977) ve bir de Neckel

ve Labs (1977) tarafından belirlenmiştir. Bu durumda $f(\mu)$ beşinci dereceden bir polinomla ifade edilip entegrasyon işlemi tamamlanırsa

$$F_{\odot} = 2\pi I_0 \left(\frac{R_{\odot}}{AU} \right)^2 \left(\frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4} + \frac{D}{5} + \frac{E}{6} + \frac{F}{7} \right) \quad (14)$$

elde edilir. Katsayılar (A,B,C,D,E,ve F) bilinmektedir. O halde F_{\odot} bilinirse I_0 veya I_0 bilinirse F_{\odot} katsayıların geçerli olduğu dalga boyu için hesaplanabilir. Ancak, amacımız bu değil sakin güneşe yani F_{\odot} a göre lekelerin sebep olduğu değişim miktarını modellemektir. (12) ifadesindeki integrali nümerik toplam olarak olarak yazıp F_{\odot} ile normalize edersek

$$\frac{F_{\odot}}{F_{\odot}} - \frac{\int_{leke} I_p (1-\alpha) dA}{F_{\odot}} = 1 - \frac{I_0 \sum \left(A+B\mu+C\mu^2+D\mu^3+E\mu^4+F\mu^5 \right) (1-\alpha) dA}{2\pi R^2 I_0 \left(\frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4} + \frac{D}{5} + \frac{E}{6} + \frac{F}{7} \right)} \quad (15)$$

ve $\pi R^2 = 1$, yani güneşin görünen diski birim alan kabul edilirse F_{\odot} ve I_0 a da gerek kalmadan (I_0 terimleri de bir birini götürür) gözlenen değişimler

$$= 1 - \frac{\sum \left(A+B\mu+C\mu^2+D\mu^3+E\mu^4+F\mu^5 \right) (1-\alpha) dA}{2 \left(\frac{A}{2} + \frac{B}{3} + \frac{C}{4} + \frac{D}{5} + \frac{E}{6} + \frac{F}{7} \right)} \quad (16)$$

formülü ile modellenebilir. Burada negatifli terim normalize edilmiş kayıptır. Birimi dA nın (bir pixelin alanı) birimine bağlıdır. Eger, dA ppm (parts per million) olarak ifade edilirse kayıp enerji de sakin güneşe göre ppm dir. Bolometrik ölçümler için CLV $f(\mu) = (3\mu+2)/5$ Edington yaklaşımı kullanılırsa bolometrik değişimler için gözlenen değişimler

$$= 1 - \frac{1}{4} \sum (2+3\mu)(1-\alpha) dA \quad (17)$$

olacaktır. Bu formülde alfanın ifadesi de basittir. Alfa

$$\alpha = \left(\frac{T_s}{T_{phot.}} \right)^4 \quad (18)$$

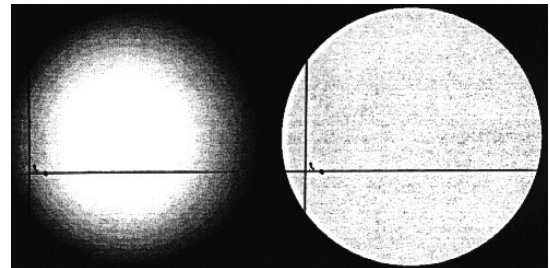
dır. T_s lekeli bölgede pixel pixel hesaplanması gereken her pixelin etkin sıcaklığıdır. Tek bir leke için tek bir ortalama sıcaklık kabul edilebileceği gibi umbra, penumra bölgeleri için ayrı ayrı da

hesaplanabilir. T_{phot} ise fotosferin etkin sıcaklığıdır.

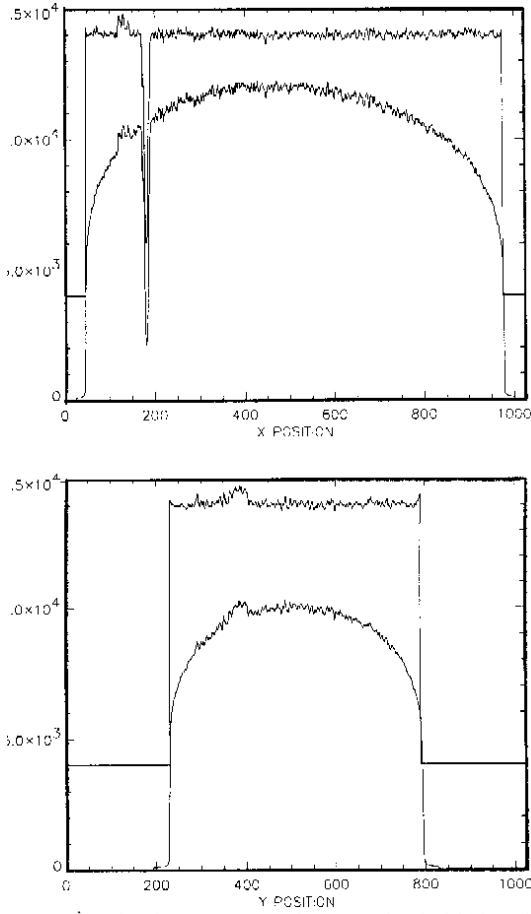
Uygulama için gerekli olan güneş görüntüsü (lekeler ve konumları) ve VIRGO dalga boylarında (402, 500, 862 nm ve bolometrik) alfa değerleridir. Gurubumuz yine SOHO uzay aracında veri kaydeden MDI (Michelson Doppler Imager) isimli deneyden elde edilen güneş görüntülerini kullanmaya karar vemiştir. Her gün iki tane olmak üzere, 1996 haziran-temmuz dönemine ait tek bir lekenin geçtiği MDI continuum görüntüleri SOHO dan istendi. Bu görüntüler 94 mÅ bant genişliği olan dalgaboyu ayarlanabilen filtrelerle Ni I $\lambda = 6768 \text{ \AA}$ çizgisi kullanılarak Dopplergram olarak alınmış 1024 X 1024 CCD görüntülerinden elde edilmiştir. Aslında, continuum görüntüleri olarak güvenilirlikleri gurubumuzda tartışılmaktadır. Ama, kararlı, eksiksiz bir görüntü seti olmaları bakımından tercih edilmişlerdir.

Seçilen 14 günlük periyotlardaki dijital MDI görüntüleri bilgisayara yüklendi. Sonra, her biri lokal alfa (fotosfere göre intensite oranları) değerini doğrudan verecek şekilde normalize edildi, yani düzlendi. Şekil 5 de düzlenmemiş (solda) ve düzlenmiş (sağda) görüntüler görülmektedir. Düzlenmemiş (solda) görüntüde CLV (Center to Limb Variation) olduğundan dış bölgelere doğru fotosfer parlaklığının azaldığı görülmektedir. Düzlenmiş görüntüde (sağda) intensite dağılımı diskin her yerinde aynı duruma getirilmiş yani kenar kararması (CLV) düzeltilmiştir. Şekil 5 de işaretlenmiş yatay ve düşey doğrultudaki intensite değişimleri Şekil 6 da gösterilmiştir. Leke ve fakulanın etkisini yatay ekseninde (Şekil 6 üst) ve sadece fakulanın etkisi düşey ekseninde (Şekil 6 alt) açıkça görülmektedir.

Düzlenmiş görüntülerde her pixel değeri doğrudan doğruya alfa değerini vermektedir. Böylece (16) ve (17) formülleri doğrudan uygulanabilir. Bu uygulamadan önce yaptığımız testler düzleme işleminin yetersiz olduğunu gösterdi. Çok az da olsa güneşin rotasyon etkisi, düzeltilmesine rağmen, MDI continuum görüntülerinde kaldığını farkettilik. MDI görüntüleri ikinci defa normalizasyon (düzleme) işlemine tabi tutuldu. Gözün farketmediği bu ikinci düzleme işleminden önceki ve sonraki



Şekil 5. Düzlenmemiş (solda) ve düzlenmiş (sağda) MDI görüntüleri.



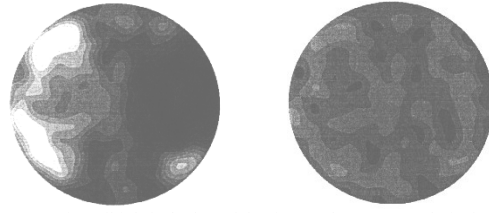
Şekil 6. İşaretlenmiş yatay (X) ve dişey (Y) eksenlerdeki intensite değişimleri.

görüntüler abartılı ve lekeler giderilmiş olarak Şekil 7 de karşılaştırılmıştır.

İki defa düzleme işleminden sonra, şimdi daha güvenli bir şekilde, dijital görüntülerdeki her pixelin parlaklığı alfa olarak alınabilir. Ancak, bu alfa değeri $\lambda = 6768 \text{ \AA}$ dalga boyu içindir. Alfaların VIRGO dalga boylarına adaptasyonu gereklidir. Bu adaptasyon işlemi yaparken önce her pixelin parlaklık sıcaklığı (brightness temperature) hesaplanmaktadır. Eker (1994) deki α_λ tarifi lekelerin etkin sıcaklığı için çözümlerse, her pixelin sıcaklığını veren

$$T_x = \frac{hc/\lambda k}{\ln\left(1 - \frac{hc/\lambda k T_0}{\alpha_\lambda}\right)} \quad (19)$$

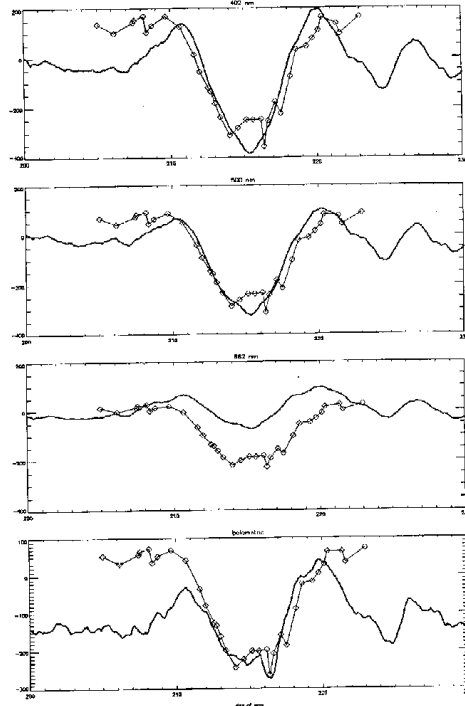
formülü elde edilir. Bu formülde λ , MDI görüntülerinin dalga boyu, $\lambda=6768 \text{ \AA}$ dır. T_0 ise bu dalga boyunda diskin merkez bölgesi için parlaklık sıcaklığıdır. Süreklilikteki donukluk (continuum opacity) dalgaboyunun bir fonksiyonudur. Farklı dalga boylarında güneş



Şekil 7. Bir ve iki defa düzleme işlemine tutulmuş görüntülerin farkı.

baktığımızda donukluk değerine bağlı olarak güneşin farklı derinliklerini görürüz. Bu da demektir ki farklı dalga boylarında farklı T_0 (disk merkezindeki parlaklık sıcaklığı) değerleri vardır. MDI için hesaplanan $T_0 - T_x$ farkının VIRGO nun öteki kanallarında da sabit kabul edip, leke üstündeki her pixel için hesaplanan bu değeri VIRGO kanallarında ve bolometrik T_0 değerlerinden çıkartılmasıyla VIRGO kanalları ve bolometrik T_x ler elde edilir. Yine bu T_x ler ve uygun T_0 lar ile alfa değerleri, ve her kanalın alfa değerleri ile de lekelerle ilişkin ışık kaybı hesaplanmaktadır. VIRGO kanalları ($\lambda = 4020, 5000, 8620 \text{ \AA}$) ve bolometrik hesaplanan bu ışık kaybı teorik model için sadece bir noktadır. 14 gün için de (günde iki tane) farklı görüntülerin kullanılmasıyla de seçtiğimiz 14 günlük periyodlar için güneşin model (teorik) ışık eğrisi elde edilmiş olur.

Şekil 8 hesaplanan modelleri ve VIRGO verilerini göstermektedir. Bu bir ön çalışmadır. Kırmızı kanal (8620 \AA) hariç başarılı olduğu



Şekil 8. Yukarıdan aşağıya mavi, yeşil, kırmızı ve bolometrik VIRGO verileri (düz çizgi) ve Kanzelhöhe modelleri

söylenbilir. Ancak diğerlerinin de problemsiz olduğunu düşünmüyoruz. Çalışmalarımız devam etmektedir.

5. Sonuç

Model yapmaktaki amaç, teoriyi ve ilgili parametreleri eyp büküp gözlenen eğri ile teorik eğriyi bir birine uygun hale getirmek değil, neticede bir şeyler öğrenmek olmalıdır. Özellikle VIRGO verilerinin modellenmesi fakulaların fizik yapılarını öğrenmek açısından önemli olduğunu düşünüyoruz. Güneşin parlaklık değişimlerinin modellenmesinin aşağıdaki maddeler açısından da önemli olduğu düşünülmelidir.

1. Değişimlerdeki etkili fizik sebeplerin belirlenmesi. İşleyen mekanizmalar ve özelliklerinin öğrenilmesi. Fotosfer ve kromosferik yapının daha iyi belirlenmesi.
2. Uydu gözlemleri olmadığı zamanlarda güneş ışırtmasının nasıl değiştiğine dair tahminler yapabilmek.
3. Güneş sabiti değişimlerinin iklim değişiklikleri ve sera etkisi üstündeki rolünü anlamak.

Kaynaklar

- Brandt P.N., Schmidt W., Steinegger M., 1990, *Sol.Phy.*, **129**, 191.
- Brandt P.N., Schmidt W., Steinegger M., 1992, in *Proc. Workshop on The Solar Electromagnetic Radiation Study for Solar Cycle 22*, (ed. R.F. Donnelly), Space Environmental Lab. NOAA ERL, Boulder, Colorado, p.130.
- Brandt P.N., Stix M., Weinhardt H., 1994, *Sol.Phy.*, **152**, 119.
- Brookes J.R., Isaak G.A., van der Raay H.B., 1976, *Nature*, **259**, 92.
- Chapman G.A., Meyer A.D., 1986, *Sol.Phy.*, **103**, 21.
- Claverie A., Isaak G.R., McLeod C.P., van der Raay H.B., 1979, *Nature*, **282**, 591.
- Claverie A., Isaak G.R., McLeod C.P., van der Raay H.B., 1981, *Sol.Phy.*, **74**, 51.
- Eker Z., 1994, *ApJ*, **420**, 373.
- Eker Z., 1999, *ApJ*, **512**, 386.
- Fligge M., Solanki S.K., Unruh Y.C., Frohlich C., Wehrli Ch., 1998, *A&A*, **335**, 709.
- Fontenla J.M., Avrett E.H., Loeser R. 1993, *ApJ*, **406**, 319.
- Foukal P.V., 1981, in *Physics of Sunspots*, (ed. L. Cram, J.H. Thomas, Sunspot, New Mexico: Sacramento Peak Observatory, p.391
- Foukal P.V., Mack P.E., Vernazza J.E., 1977, *ApJ*, **215**, 952.

- Hill H.A., Stebbins R.T., Brown T.M., 1976, in *Atomic Masses and Fundamental Constants*, **Vol. 5**, Plenum Press, New York, p.622.
- Hudson H.S., Silva S., Woodard M., Willson R.C., 1982, *Sol.Phy.*, **76**, 211.
- Karlğa B., 1981, *Tehafüt El-Felasife Filozofların Tutarsızlığı*, Çağrı Yayınları, İstanbul, s.48.
- Leighton R.B., Noyes R.W., Simon G.W., 1962, *ApJ*, **135**, 474.
- Lindberg D.C., 1992, in *The Beginnings of Western Science*, University of Chicago Press, Chicago, p.27.
- Neckel H., Labs D., 1994, *Sol.Phy.*, **153**, 91.
- Pap J.M., 1997, *özel haberleşme*.
- Pierce A.K., Slaughter C.D., 1977, *Sol.Phy.*, **51**, 25.
- Pierce A.K., Slaughter C.D., Weinberger D., 1977, *Sol.Phy.*, **52**, 179.
- Severny A.B., Kotov V.A., Tsap T.T., 1976, *Nature*, **259**, 87.
- Sofia S., Oster L., Schatten K., 1982, *Sol.Phy.*, **80**, 87.
- Steinegger M., Vazquez M., Bonet J.A., Brandt P.N., 1996, *ApJ*, **461**, 478.
- Thurston H., 1996, in *Early Astronomy*, Springer-Verlag, New York, p.85.
- Vrsnak B., Placko D., Ruzdjak V., 1991, *Sol.Phy.*, **133**, 205.
- Zeilik M., Smith E.P., 1987, in *Introductory Astronomy and Astrophysics*, Saunders College.