

## GÜNEŞ İÇİN BULUT FAKULA MODELLERİ

Zeki Eker  
ekerz@yahoo.com

**Özet:** Güneş diski üstünde lekelerin aksine fotosfere göre parlak bölgeler olarak görünen Güneş fakulaları için önerilmiş kuyu, tepe ve klasik bulut modellerinin özellikleri gözden geçirilmiş ve fakula kontrast ölçümlerini açıklamaktaki yetersizlikleri anlatılmıştır. Fotosferin üstünde paralel düzlem yapılar olarak tasarlanan klasik bulut modeline radyasyon transferi hesabında yüzey yansımaları ilave edilerek, fotosfere göre sıcak veya soğuk, optik olarak ince veya kalın, yüzey yansımalı veya yansısız gibi yaklaşımlar ile yeni bulut modelleri üretilmiştir. Bu modeller ile hesaplanan disk merkezinden kenarına kadar teorik kontrast eğrileri, Frazier (1971) ve Taylor ve ark. (1998) nin kontrast ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Yüzey yansımalı geliştirilmiş bulut modellerinin fiziksel ve fiziksel olmayan şimdiye kadar bilinen bütün fakula modellerine göre bu çalışmada kullanılan gözlem verilerini en iyi açıkladığı gösterilmiştir. En iyi uyumu veren modele göre Güneş fakulalarını fotosferden 230 °K daha sıcak, optik derinliği 0.4283 dir ve yüzey yansımaları ile fotosferden gelen arka fon ışınının %11 kadarını görüş doğrultusundan uzaklaştıran bu model, klasik bulut modellerinde eleştirilen disk merkezindeki fazla emisyon problemini de çözmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Güneş: aktivite – kromosfer – fakula ve plajlar

**Abstract:** Assuming the clouds as plane parallel structures above the photosphere, center-to-limb contrast variations of various cloud models for solar faculae with approximations such as optically thin or thick, hot or cold, and with or without surface reflections, have been investigated. It has been found that the observed facular contrast data from Frazier (1971) and Taylor et al. (1998) at the 525 nm continuum is best represented by a cloud which is 230 °K hotter than the undisturbed photosphere, with an optical depth  $\tau = 0.4283$ , and with isotropic surface reflections causing 11% of the background photons to be lost before penetrating into the cloud. This model and some other cloud models are shown to provide a fit better than the other physical and non-physical facular models presented previously.

**Key words:** Sun: activity – chromosphere – faculae and plages

### 1. Giriş

Güneş görüntülerinde lekeler civarında lekerin aksine parlak bölgeler olarak görünen fakulalar için fiziksel yaklaşımları farklı birbirleriyle rekabet eden fakula modelleri önerilmiştir. Spruit (1976) tarafından önerilen “hot wall” yani “sıcak duvar” modeline göre, fotosfere dik manyetik alan tüpleri fotosferde kuyular oluşturur. Belkide bu yüzden bu modele “KUYU” modeli demek daha doğrudur. Tüp içindeki gaz basıncı tüp dışındaki gaz basıncına göre azdır. Bu durum, tüp içi absorpsiyon katsayısının göreceli olarak az olmasını gerektirir. Böylece, fotosfere dik doğrultuda bakan kişi, kuyunun daha soğuk tabanını görür. Ama, uygun açıda bakan kişi, açığa çıkmış fotosferin alt katmanlarını, yani kuyunun sıcak duvarını görür. Bu modele göre fakulalar disk merkezinde negatif kontrast gösterir. Disk merkezinden uzaklaştıkça sıcak duvarın görünümüne bağlı olarak kontrast değeri artar ve pozitif değerlerde bir maksimuma ulaşır. Diskin kenarına doğru gittikçe, sıcak duvar yavaş, yavaş örtülür, geometri gereği disk kenarında

görünmez olur, yani kontrast değeri maksimumdan sonra azalır, disk kenarında sıfır olur. Manyetik akı tüplerinin dinamiği ve modelin gerektirdiği merkezden kenara fakulaların kontrast değişimi çok çalışılmış bir konudur (Stellmacher ve Wiehr 1979, 1991; Caccin ve Severino 1979; Chapman 1979; Chapman ve Gingel 1984; Deinzer ve ark. 1984a, 1984b; Schussler ve Solanki 1988; Knolker ve ark. 1988; del Toro Iniesta ve ark. 1990).

Knolker ve Schussler (1988) e göre, 500 km veya daha küçük çaplı akı tüpleri disk merkezinde karanlık ama disk kenarına yakın yerlerde parlak görünür. Eğer tüpler yeterince küçükse, duvarlardan sızan yatay ısı akışı nedeni ile tüp içi ısınır, tüp boyunca dik enerji transferi artar ve tüpler disk merkezinde bile parlak görülebilir (Topka ve ark. 1997).

Disk kenarında pozitif kontrast üretemiyen “KUYU” modeline alternatif “TEPE” modelini Schatten ve ark. (1986) önermiştir. Bu modele göre leke civarındaki sıcak gazların yükselmesi fotosferde tepelikler oluşturur. Bu tepeliklerin disk merkezine bakan yüzü o bölgedeki fotosfere göre bakış doğrultusuna daha dik olduğu için daha

parlak görünür. Yüzeye daha dik bakmak demek, fotosferin daha derinlerinden gelen fotonları görebilmek demektir. Bu olay disk üstünde görünen kenar kararması (CLV) olayının fiziksel temelidir. Tepenin merkeze değil dışa yani kenara bakan yüzü ise karanlıktır, ama geometri gereği, parlak yüzün alanı karanlık yüzden büyük olduğu için tepiklerin net etkisi, o bölgedeki parlak fakulaları ortaya çıkarır. Nishikawa ve Hirayama (1990) ya göre tepe modeli kuyu modelinin diskin kenarındaki sıfır kontrastına alternatif pozitif kontrast üretebilmek için tasarlanmıştır.

Aslında, güneş fakulaları çok olaylı bir fenomendir ve sürekli ışınım (beyaz ışık) yapan fotosferik fakula fenomenin sadece bir parçasıdır. Fakula emisyonuna sebep olan manyetik alan tüpleri güneş atmosferi içinde yükseldikçe genişler. Sürekli ışınımın yerini çizgi ışınımı (plaj bölgeleri) almaya başlar. Birçok araştırmacı (Chapman ve Meyer 1986; Chapman 1987; Vrsnak ve ark. 1991; Chapman ve ark. 1992; Pap ve ark. 1994; Steinegger ve ark. 1996a-b) Ca H ve K çizgisinde gözlenen eksis (fazla) emisyonu bir proksi olarak alıp, fotosferdeki beyaz ışık fakulalarına ekstrapolasyon hesabında kullanmıştır. Manyetik alanın rolü büyüktür. Manyetik alan ve plaj yapıları koronaya kadar uzanır ve orada radyo plajları veya manyetik fakula olarak gözlenebilir (Schatten ve ark. 1986).

Fakulanın varlık gösterdiği bu çok tabakalı yapının karakterine uygun, emisyonunu sadece fotosferde değil daha üst tabakalarda da üreten bir başka grup fakula modelleri, model atmosfer hesapları ile elde edilmiştir. En iyi örnek, fotosfer, kromosfer ve kromosfer - korona geçiş bölgesini kapsayan, radyasyon transferi, non-LTE ve istatistik denge çözümleri kullanan, farklı yüzey yapıları için atmosferden çıkan enerjiyi veren, Vernazza ve ark. (1973, 1976) nın A, C, F ve P modelleridir. Bu modeller için A: network hücresi içindeki sönük alanlar, C: sakin güneş ortalama parlaklık alanları, F: parlak fakula bölgeleri, P: plaj bölgeleri.

Yer atmosferinde asılı duran bulutlar gibi, manyetik alanlar ile fotosferin yukarısına konfine edilmiş, fıskırmış maddelerden oluşan sıcak bulut modelinin fakula emisyonunu üretebilecek ilk akla gelen model olması beklenirdi. Ancak, literatürde sıcak bulut modelinden bahseden makale ancak birkaç tane olup yetersizdir. Klasik yarı empirik, paralel düzlem atmosferik modeller (mesela HSRA model) den farklı olarak fakula emisyonu üreten bölgenin altında sıcaklık minimumu olması nedeni ile önce, Muller (1975) kendi modelini sıcak bulut modeli olarak açıkladı. Sonra, Deinzer ve ark. (1984b), ürettikleri manyetik akı tüpü modellerinin üst sınır sıcaklığını serbest ısıtma ile modifiye etmeleriyle

oluşan sıcak bulut modelini açıkladılar. Son olarak da, Schatten ve ark. (1986) nin kısaca bahsettiği, optikçe ince sonlu paralel düzlemde oluşan bir sıcak bulut modeli vardır.

Yukarıda özetlediğimiz fiziksel modellerin hiç biri yeterli bulunmamıştır. Fakula kontrastının disk kenarında sıfır olduğuna inanmayan güneş fizikçileri kuyu modelini, disk merkezinde fakula kontrastının çok küçük ama negatif olduğuna inananlar da diğer modelleri (tepe, sıcak bulut ve model atmosfer modellerini) yetersiz görürler. Sıcak bulut ve model atmosfer modellerinin disk merkezinde gereğinden fazla eksis emisyon üretme problemi vardır bu yüzden disk merkezinde sıfır veya negatif kontrast bu modelleri yanlışlamış olur. Model atmosfer modellerinin bir başka yetersiz tarafı da hesaplanmasındaki zorluk ve merkezden uzak bölgelerde arka fondaki modelin ışığının karışma problemidir. İşte bu gibi nedenler ile, ACRIM ve SOHO verilerini kullanıp güneşteki aktif bölgelerin güneş ışığının değişimine katkısını inceleyen güneş fizikçileri, fiziksel modelleri yeterli görmedikleri için, fakulanın katkısı hesabında, kontrast için fiziksel olmayan modelleri tercih ettiler. Fakulaların disk merkezine yakın yerlerdeki alan ve parlaklıklarını da Ca H veya K proksileri ile hesapladılar.

Doğru ve geçerli fakula modelinin araştırılması güneş fakulalarının fiziksel yapısını anlayabilmek için olduğu kadar proksi hesabı olmadan doğrudan doğruya fakulaların güneşin ışık değişimine katkısını hesaplayabilmek için de çok gerekli olduğu ortadadır. Sadece güneşteki değişimlerin modellenmesi değil, yıldız leke modellerinin geliştirilmesi için de bu çalışma faydalı olacaktır. İşte bu motivasyon ile bulut modelinin detayları incelenip, geliştirilmesi amaçlanmıştır. Üretilen modellerinin detayları Eker (2003) de verilmiştir. Bu bildiri o modellerin bir özettir.

## 2. Veriler

Bakış doğrultusu ile yüzey normali arasındaki açının kosinüsü  $\mu$  nün, yani  $\mu = \cos \theta$ , nin bir fonksiyonu olarak fakula kontrastı fakula modelleri için gözlemlerle denetlenebilen bir parametredir. Ama, fakula gözlemlerinin pratik zorlukları vardır. Mesela, morötesinden görünen dalga boylarına kadar disk merkezinde çok küçük, %1 veya daha az, (Worden 1975; Hirayama ve ark. 1985; Lawrence 1988; Lawrence ve ark. 1988; Foukal ve ark. 1989, 1990; Nishikawa ve Hirayama 1990; Moran ve ark. 1992) pozitif veya (Lawrence ve ark. 1993; Topka ve ark. 1992; del Toro Iniesta ve ark. 1990) negatif kontrastı ölçebilmek için özel tasarımlı yüksek duyarlılıklı aletlere ihtiyaç vardır. Öte yanda, fakulaları disk kenarında gözleyebil-

mek için Chapman ve Oseas (1988) özel kenar fotometresi kullanmışlardır. Bu yüzden  $\mu$  nün bütün değerleri için tek bir aletle gözlenmiş kullanılabilir duyarlılıkta kontrast verileri bulmak çok zordur.

Unruh ve ark. (1999) kendi model atmosfer fakula modellerini karşılaştırmak için farklı dalga boylarında, farklı gözlemlerle elde edilmiş var olan bütün kontrast verilerini toplamışlardır. Unruh ve ark. (1999) nın topladığı veriler arasından disk merkezine yakın bölgeler için Frazier (1971) in dört ölçümü, ve  $\mu = 0.1383$  ( $\theta = 82^\circ$ ) ye kadar ulaşan merkez dışı bölgeler için ise Taylor ve ark. (1998) nin beş verisi bu çalışmada kullanmak üzere en uygun ölçümler olarak seçilmiştir. Taylor ve ark. (1998) nin verileri mutlak değil serbest relatif (arbitrary) skalada ölçülmüştür ama, Unruh ve ark. (1999) kendi çalışmaları için bu verileri Frazier (1977) nin ölçümlerine normalize etmişlerdir. Merkezden disk kenarına kadar farklı  $\mu$  değerlerini temsil eden, çalışmamıza uygun kontrast verileri Tablo 1 de verilmiştir. Band genişliği verilmeyen, bu veriler 525 nm de farklı  $\mu$  değerleri için fakula süreklilik (continuum) kontrastını temsil ederler.

**Tablo 1.** Merkezden kenara kontrast ölçümleri.  
 $\mu = \cos \theta$ . Burada  $\theta$ , yüzey normali ile bakış doğrultusu arasındaki açıdır.

$\mu$	Kontrast (Frazier 1971)	Kontrast (Taylor ve ark. 1998)
1.000	0.014	...
0.750	0.018	...
0.055	0.045	0.045
0.380	...	0.100
0.300	0.132	...
0.278	...	0.139
0.200	...	0.167
0.1383	...	0.180

### 3. Bulut Modelinin Geliştirilmesi

#### 3.1. Teorik temel

Paralel düzlem tabaka için çözülmüş trasfer denklemi

$$I_\lambda(0, \theta) = I_\lambda(\tau, \theta) e^{-\tau/\mu} + \int_0^{\tau/\mu} S_\lambda(\tau) e^{-\tau'/\mu} \frac{d\tau'}{\mu} \quad (1)$$

dir ve tabakadan çıkan ışık şiddetini  $I_\lambda(0, \theta)$ , tabakanın dik doğrultudaki optik derinliğine ( $\tau$ ) ve bakış doğrultusuna ( $\theta$ ) bağlı olarak verir.  $\theta$  bakış doğrultusu ile tabakanın yüzey normali arasındaki açıdır ve  $\mu = \cos \theta$  olarak tarif edilmiştir.  $S_\lambda$  da tabaka içindeki kaynak fonksiyonudur ve  $\tau$  ya bağlı olarak değişebilir. Eşitliğin sağ tarafındaki birinci terime sönükleşme terimi denir ve arka fondu

tabakaya giren ışık şiddetinin tabaka içinden geçerken ne kadar sönükleştiğinin bir ifadesidir. Eğer  $\tau \gg 1$  ise, birinci terim çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Integral sembolü ikinci terim ise kaynak fonksiyonu terimidir ve tabakanın ışınımına kendi katkısıdır.

Güneş fakulalarını bulut, ve bulutları da sınırlı paralel düzlem tabaka olarak düşünürsek, (1) denklemindeki  $I_\lambda(0, \theta)$  terimini  $I_f$  olarak, yani fakulalarda gözlenen ışık şiddeti olarak değiştirebiliriz. Tabaka içindeki kaynak fonksiyonu sabit olursa, (1) denklemi

$$I_f = I_b e^{-\tau/\mu} + S(1 - e^{-\tau/\mu}) \quad (2)$$

şeklini alır. Bu durumda birinci terim fotosferden gelip fakula katmanından geçen ışınımın ne kadar sönükleştiğini verecektir.  $I_b$  kenar kararması yasasına göre güneş diskinin her noktası için belirlenebilir. İkinci terim de fakulanın gözlenen ışınımına, kendi kendini soğurması düzeltilmiş, katkısıdır. Eğer fakula, sıcaklığa bağlı bir ışınım yapıyorsa, öyle ki sıcak bulut ifadesinin anlamı budur, S yi fakula sıcaklığını belirleyen bir Plank fonksiyonu ile ifade edebiliriz.  $I_f - I_b$  fakula katmanının ışınımına katkısıdır. Bu katkının  $I_b$  ye oranı fakula kontrastı demektir ve Tablo 1 de ki veriler ile denetlenebilir. Bu durumda, sıcak bulut modelinin kontrastını  $\mu$  nün fonksiyonu olarak veren formül

$$C(\mu) = \left(\frac{S}{I_b} - 1\right)(1 - e^{-\tau/\mu}) \quad (3)$$

dür. Fakulanın renk sıcaklığı ( $T_f$ ), fotosferin renk sıcaklığından ( $T_0$ ) büyük ise,  $S/I_b$  terimi birden büyük olacağı için, diskin merkezi dahil her yerinde, kontrastın pozitif olacağı (3) denkleminde açıkça görülmektedir. Disk merkezinde  $C(\mu)$  nün sıfır olması  $\tau$  nün sıfır olmasıyla mümkündür, ama bu durum  $C(\mu)$  yü diskin her yerinde sıfır yapar. Bu da sıcak bulut modelinde eleştirilen disk merkezinde fazla emisyon probleminin ta kendisidir. (3) denkleminde göre, kontrast merkezden kenara iki sebeple artar. 1)  $\mu$  değerleri küçülür ( $1 - e^{-\tau/\mu}$ ) terimi büyür. Bu da fizik olarak tabaka içinden geçen ışık yolunun büyümesi ve S nin daha fazla ışınım üretmesi demektir. Ancak bu durum optikce kalın ( $\tau \sim 1$ ) olmayan fakulalar için geçerlidir.  $\tau \gg 1$  olursa  $e^{-\tau/\mu} \sim 0$  olur ve S nin katkısı diskin her yerinde aynı demektir. 2)  $\tau \gg 1$  olsa bile, (fakula optikce kalın), kontrast yine de artar çünkü kenar kararması sebebi ile fotosferden fakulaya gelen  $I_b$  azalır,  $S/I_b$  oranı büyür.

### 3.2. Klasik Sıcak Bulut Modelleri

S,  $I_b$  ve  $\tau$  dalga boyuna bağlı olduğu için, (3) denkleminde belirtilmemesine rağmen,  $C(\mu)$  nün de dalga boyunun bir fonksiyonu olduğunu unutmamalıyız. Bu yüzden, uygulamada  $\mu$  ile değişen  $I_b$  yi hesaplarken,  $I_b = I_0 f(\mu)$  bağıntısını kullandım. Bu bağıntıda  $f(\mu)$  kenar karar yasa ve  $I_0$  da sakin güneşin disk merkezindeki ışık şiddetidir. Neckel ve Labs (1994) beşinci derece polinom olarak kenar karar yasa'nın katsayılarını güneş tayfının sürekliliğinde Tablo 1 deki verilerin dalga boyuna çok yakın yani 520 nm dalga boyunda ölçmüş gözlemlerle belirlemiştir. Yani,  $f(\mu)$  fonksiyonu bellidir. Aynı dalga boyu için disk merkezinde güneşin renk sıcaklığı  $T_0$  da ( $T_0 = 6180$  °K, Landolt-Bornstein 1981) bellidir. Bu durumda, klasik sıcak bulut modeli için bilinmeyen sadece iki parametre vardır, onlar da S yi belirleyen fakula sıcaklığı ( $T_f$ ) ve paralel düzlemin optik derinliği  $\tau$  dur. Bu ikiparametre de Tablo 1 deki kontrast verilerine fit eden teorik egriden belirlenebilir. Elde edilen parametre değerlerin fiziksel olarak anlamlı olmasına ve teorik eğrinin verilere uymuna bakılarak da modelin geçerliliği hakkında karar verilebilir.

Schatten ve ark. (1986) optikce ince sıcak bulut modelinin kontrast formülünü

$$C(\mu) = K_1 \left( \frac{K_2}{\mu LD(\mu)} - 1 \right) \quad (4)$$

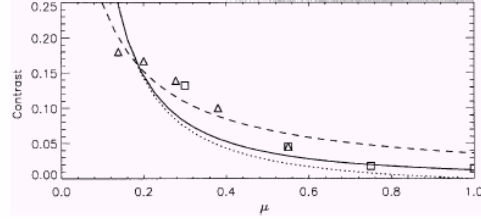
olarak vermiştir.  $K_1$  ve  $K_2$  belirlenmesi gereken sabitlerdir. Bizim formülümüze göre  $K_1 = \tau/\mu$  ve  $K_2 = S/I_0$  dir. Schatten ve ark. (1986),  $K_1$  i  $\mu$  den bağımsız sabit olarak ( $K_1 = 1$ ) almış sadece  $K_2$  yi belirlemiştir. Formüldeki  $LD(\mu)$  kenar karar yasa'sıdır.

Bir başka yaklaşım da  $S/I_b$  yi  $S/I_0$  olarak almak, yani fakula-fotosfer intensite oranını, yıldız leke modellerindeki gibi  $\mu$  den bağımsız olarak almaktır. İşte bu üç sıcak bulut modelinin iterasyonlarla belirlenen teorik kontrast eğrileri Şekil 1 de gözlem verileri ile birlikte gösterilmiştir. Sıcak bulut modellerinin pek de başarılı olduğu söylenemez.

### 3.3. Yansımali Sıcak Bulut Modelleri

Yer atmosferindeki bulutlardan güneş ışığının yansıdığını herkes bilir. Yansıma su taneciklerinin yüzeyinde gerçekleşir. Güneş atmosferinde su tanecikleri yoktur. Bu nedenle bu olaya saçılma demek daha doğru olabilir. Ben yinede yansıma kelimesini kullanmayı iki sebeble tercih ediyorum. 1) Güneş benzeri yakın çift yıldızlarda da su zerrecikleri yoktur ama, ışık eğrilerindeki yansıma etkisi astronomlarca iyi bilinen bir olaydır. Benzer

bir olayın Güneş atmosferinde gerçekleşmediğini söyleyemeyiz. 2) Fotosferden gelen  $I_b$  nin fakula yüzeylerinde saçılmasını yüzey yansımaları ile formüle etmek daha kolay ve pratiktir.



Şekil 1. Klasik sıcak bulut modelleri; (—) model A, (.....) optikce ince model ve (- - -) model B. Kareler Frazier (1971) ve Taylor ve ark. (1998) nin ölçümleridir.

Fotosferden gelen fotonların hepsi yansımaz. Bir kısmı fakula içinde yoluna devam eder, bir kısmı da absorplanır. Yansıyıp fakula emisyonuna katkıda bulunan ışınım enerjisinin  $I_0$  ile orantılı olduğunu söyleyebiliriz çünkü yansımanın gerçekleştiği zerrecik veya yüzeye gelen fotonların enerjisi  $I_0$  ile orantılıdır. Eğer  $q$  bakış doğrultusuna yansıyan fotonları belirleyen bir orantı parametresi ise, "ışık şiddeti cinsinden yansımanın katkısı  $q I_0$  dir" diyebiliriz. Bu terimi (2) bağıntısına eklemek dumundayız. Ama, bir düzeltme daha gereklidir. Yüzey yansımaları nedeni ile buluta giren foton miktarı artık  $I_b$  değil daha azdır. Bakış doğrultusu dışında bütün yönlerde dağılan fotonların orantı parametresine de  $r$  dersek, (2) bağıntısındaki eşitliğin sağındaki birinci terimi  $(1-r)I_b e^{-\tau/\mu}$  olarak değiştirmemiz gerekir. Yani, yansımali sıcak bulut modeli için fakula ışık şiddetini veren formül

$$I_f = (1-r)I_b e^{-\tau/\mu} + S(1 - e^{-\tau/\mu}) + qI_0 \quad (5)$$

olacaktır. Kontrast fonksiyonu da

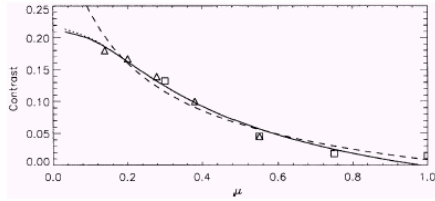
$$C(\mu) = \left( \frac{S}{I_b} - 1 + r \right) (1 - e^{-\tau/\mu}) + \frac{q}{f(\mu)} - r \quad (6)$$

olarak değişir. İlk adımda  $q$  ve  $r$  bağımsız bırakılıp model A ve model B üretildi. A modelinde  $I_b = I_0 f(\mu)$ , B modelinde  $I_b = I_0$  dir. B modeli daha iyi fit ve daha anlamlı parametreler üretmiştir. Bu modelde  $q$  nun  $r$  den yaklaşık 12 defa küçük bulunması yansımaların izotropik olduğunu ima ediyordu. İzotropik saçılma durumunda  $q$  ve  $r$  bağımsız olamaz, aralarında

$$rI_0 + qI_0 = 4\pi qI_0 \quad (7)$$

bağıntısı olmalıdır. Bu bağıntı Model C de kullanıldı. Böylece yansımali modelde bilinmeyen sayısı dörtten üçe düşmüş oldu.

Yansıma terimlerinin modele eklenmesi ile bulut modelinin çok geliştiği Şekil 2 de açıkça görülmektedir.  $\tau \ll 1$  (optikce ince),  $S/I_b$  için  $\mu$  ye bağımlı veya bağımsız,  $q$  için ihmal edilebilir veya edilemez gibi seçeneklerle daha bir çok model üretildi ve en iyi model araştırıldı. Bu modellerin detaylarını merak edenler Eker (2003) e bakabilirler. En iyi modele (Şekil 2 de C modeli) göre, fakula sıcaklığı  $T_f = 6410$  °K ve  $\tau = 0.4283$  olarak bulundu. Yansımalar yüzünden  $I_b$  deki ışık kaybı ise %11.1 dir.



**Şekil 2.** Yansımali sıcak bulut modelleri; (- - -) model A, (.....) model B ve (—) model C. Kareler and üçgenler Frazier (1971) ve Taylor ve ark. (1998) nın ölçümleridir.

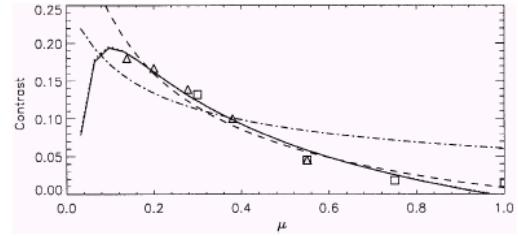
### 3.4. Egzotik Modeller (Soğuk Bulut)

Sadece deneme olsun diye ihtimal dışı gibi görünen yaklaşımlar da kullanabiliriz. Örneğin, bulut soğuk olabilir mi? ve bu yüzden kaynak fonksiyonu içindeki termal teriminin küçük ve saçılma teriminin ışınımda hakim olduğunu düşünebilir miyiz? S içindeki termal terim ihmal edilirse, S nin  $I_0$  ile orantılı olduğunu söyleyebiliriz. Bu yaklaşımla üretilmiş, soğuk bulut modeli, sıcak bulut modeli ile aynı eğriyi vermiş, ama anlamsız parametreler üretmiştir. Ancak, bu soğuk bulut modeline yüzey yansımaları ilave edilince anlamlı parametreler ile maksimumu olan ilginç bir kontrast eğrisi ortaya çıkmıştır. Saçılma temelli kaynak fonksiyonunun etkisinin çok az olduğu görülünce,  $S=0$  kabul eden yeni bir model de denenmiştir.  $S=0$  modeli de bir önceki modelin ürettiği hemen hemen aynı kontrast eğrisini benzer parametreler ile üretebilmiştir. Bu iki modelin kontrast eğrileri Şekil 3 de A ve B modeli ile gösterilmiştir.

$S=0$  modelinin başarılı eğri üretmesi, acaba  $\tau = 0$  olursa ne olur sorusunu akla getirir. S ve  $\tau$  yu ihmal eden modelin kontrast formülü aşağıdaki gibi kısaca basittir:

$$C(\mu) = \frac{q}{f(\mu)} - r \quad (8)$$

Ancak bu durum, bulutun maddesi yok, ( $\tau$  yok, madde yok demektir) ama yüzey yansımaları var anlamına gelir. Bu da fiziksel olarak anlamsızdır. Olmayan maddenin yüzeyi de olmaz. Ama, yine de (8) deki parametreleri fiziksel olarak anlamlandırmak mümkündür. Bulut içinde sabit bir kaynak olduğunu düşünelim. Bu kaynağın şiddeti  $I_f = qI_0$  olarak ifade edilebilir. Bu durumda  $q$  bir yansıma parametresi değil, " $I_f/I_0$ "ı ifade eden bir orantı parametresidir. Bulut yarı şeffaf ise arka fon ışınımının etkisi de vardır. Böylece bulutun görünen ışık şiddeti  $I_f = qI_0 + (1-r) I_b$  olur ki,  $r$  yarı şeffaf ortamdaki geçemeyen fotonların yüzdesini ifade eder. Kontrast tarifinde bu  $I_f$  kullanılırsa (8) denklemini elde edilir ki, fiziksel olarak anlamlandırılmaz. Aslında,  $I_f = qI_0 + (1-r) I_b$ , S ve  $\tau$  olmadan en basit şekilde ifade edilmiş bir transfer denklemdir. (8) denklemini elde edilen model Şekil 3 de basit model adı ile gösterilmiştir. Basit modelin optikce ince olması demek,  $r$  nin sıfır a yaklaşması demektir. Optikce ince basit model de Şekil 3 de gösterilmiştir ama basit model kadar başarılı olduğunu söylemek mümkün değildir. Basit modelde  $r = 1$  olursa, optikce kalın basit model elde edilir. Bu model optikce ince basit modelden de kötü bir fit üretmiştir ki şeklini bile çizmeye gerek duymamıştır.



**Şekil 3.** Egzotik modeller : (—) soğuk A, (.....) soğuk B, (- - -) basit model, (- . - . -) optikce ince basit model.

### 3.5. Modellerin Karşılaştırılması

Sıcak veya soğuk, optikce ince veya kalın, yansımali veya yansımaz gibi yaklaşımlarla 14 tane bulut modelinin kontrast eğrileri Tablo 1 deki verilerle birlikte çizilmiş, kontrast formülleri, verilerin rms (root mean square) sapmaları ve elde edilen parametrelerin değerleri bir tablo halinde Eker (2003) de listelenmiştir. Bulut modelleri içinde en başarılı modelin Şekil 2 de model C ismi ile gösterilen model olduğunu belirtmiştik. Şekil 3 deki soğuk B modeli de aynı derecede başarılı sayılabilir ki, kontrast eğrisinin şekli, kuyu modelindeki gibi maximum göstermesi bakımından ilginçtir. Eker (2003) de fiziksel ve fiziksel

olmayan diğer fakula modellerinin kontrast eğrileri de üretilmiş, başarılı bulut modelleri ile karşılaştırılmıştır. Fiziksel olmayan, kuadratik yasayı kullanan, fakula modeli hariç, hiç bir modelin Tablo 1 deki gözlem verilerini bulut modeli kadar başarılı açıklayamadığı gösterilmiştir. Kuadratik yasayı kullanan fiziksel olmayan model, bulut modelinden biraz daha küçük rms üretebilmiştir ama, merkezden kenara monotonic artan bir türev (slop) göstermesi, yani kontrastın artma hızının azalmasını gösterememesi bakımından eleştirilmiş, bulut modeli kadar başarılı olamayacağı anlatılmıştır.

Soğuk bulut modeli (Şekil 3 deki soğuk B modeli) ilk bakışta anlamsızmış izlenimi vermektedir. Bir soğuk bulut nasıl olur da pozitif kontrast üretebilir? Bu soruya bu modelin ürettiği parametre değerleri analiz edilerek cevap verilebilir. Tablo 1 deki verilere en iyi fit eden eğriye göre, bu modelin parametreleri  $\tau = 0.0297$ ,  $q = 0.211$ , ve  $r = 0.1897$  dir. İlk bakışta,  $q$  ve  $r$  yi yansıma parametreleri olarak düşünürsek,  $q$  nun  $r$  den büyük olması nedeni ile modelin fiziksel olarak anlamsız parametre ürettiği söylenebilir. Sanki, bakış doğrultusuna yansıyan foton sayısı, yansımalarla diğer yönlerde giden fotonların sayısından fazlaymış görüntüsü vardır. Oysa, bunun tersi beklenir ve yansımaların izotropik olması durumunda,  $q$  nun  $r$  den yaklaşık  $1/4\pi$  çarpanı kadar küçük olması gerekir. Ama unutmayalım ki bu modelde kaynak fonksiyonu  $S$  ihmal edilmiştir ve kontrast formülünde pozitif değer üretebilecek tek parametre de  $q$  dur. Yansımaları izotropik kabul edelim, yansıma parametresi ( $q_1$  diyelim) nin  $0.02$  gibi bir değeri olmalıdır. Bu değeri modelin ürettiği  $0.211$  değerinden çıkarırsak,  $q_2 = 0.19$ , yani  $q_2 I_0$  kadar bir ışınım enerjisi üreten yansımalarından ayrı bir kaynağın bulutta var olduğunu kabul etmek zorundayız. Böylece  $q = q_1 + q_2 = 0.211$  olur. Umra ışık şiddetinin fotosfer ışık şiddetinden yaklaşık 5 defa daha az olduğunu biliyoruz (Eker ve ark. 2003). Yani,  $q_2 I_0$  değeri umra ışık şiddetine çok yakın bir değerdir. Sıcaklığı umra sıcaklığına eşit bir termal kaynak kendini  $q$  parametresi içinde göstermiş olmalıdır. Aksi halde, sadece izotropik yansımalar ile, bu modelin pozitif kontrast üretmesi imkansızdır. Manyetik alan tüplerinin lekelerden çıkıp kromosfere uzandığını biliyoruz. Manyetik alan tüpleri ile sınırlanan maddenin, fakula bulutlarını oluşturabileceğini zaten daha önce söylemiştik. Tüp içindeki bulut maddesinin sıcaklığı umra sıcaklığına eşit bulunması, pek de tesadüf gibi görünmüyor. Tüp dışı fotosferden izole edilen, tüp içi maddenin manyetik alan yoluyla temas halinde olduğu umra maddesiyle aynı veya yakın sıcaklıkta olması beklenen bir durum olmalıdır. Bu yorumu destekleyen bir  $q$  parametre

değerlerinin fiziksel olmağını söylemek mümkün değildir.

## 4. Sonuçlar ve Beklentiler

### 4.1. Sonuçlar

1. Klasik sıcak bulut modeline  $q$  ve  $r$  yansıma terimlerinin ilave edilmesi, modeli geliştirmiş ve klasik modelde eleştirilen disk merkezinde fazla emisyon üretme problemini çözmüştür.

2. Fakulaların, 525 nm continuum da ölçülmüş, disk merkezinden, disk kenarına doğru artan kontrast değişimi (Tablo 1 deki veriler), sıcak veya soğuk yansımali bulut modelleri ile aynı derecede açıklanabilir bulunmuştur. Bu iki modelin belirgin ayrılığı disk kenarı yakınında,  $\mu$  değerlerinin  $0.1$  den küçük olduğu bölgede gerçekleşmektedir. Bu bölgede ölçülmüş kontrast değeri olmadığı için mevcut veriler doğru modeli belirlemede yetersizdir.

3. Başarılı bulut modelleri diğer fakula modelleri ile karşılaştırılmış, mevcut veriler için diğer fiziksel olan veya olmayan bütün fakula modellerinden daha iyi fit eden eğri, ve fizikce anlamlı parametreler üretmişlerdir.

4. En basit bulut modeli bile  $C(\mu) = q/f(\mu) - r$ , Tablo 1 deki verilere Chapman'ın Hyperbolic formülünden çok daha iyi uyan teorik eğriyi üretebilmektedir.

### 4.2. Beklentiler

1. Tek dalga boyunda üretilen bu modellerin diğer dalga boylarındaki fakula kontrast ölçümleri veya SOHO/VIRGO verileri ile test edilmesi ve en iyi modelin belirlenmesi.

2. En iyi modelin yıldız leke modellerinde kullanılması. Yani leke modellerine fakula etkisinin eklenmesi ile yıldız leke modellenin geliştirilmesi.

## 5. Kaynaklar

- Caccin, B. ve Severino, G., 1979, ApJ, 232, 297  
Chapman, G. A., 1987, Ann. Rev. Astron. Asrophys, 25, 633  
Chapman, G. A., 1979, ApJ, 232, 923  
Chapman, G. A. ve Gingel, T.W., 1984, Sol. Phy., 91, 243.  
Chapman, G. A., Herzog, A. D., Lawrence, J. K., ve Walton, S. R., 1992, Journal of Geophy. Research, vol.97, no:A6,p.8211-8219.  
Chapman, G. A. ve Oseas, J. M., 1988, Sol. Phy. 116, 215.  
Chapman, G. A. ve Meyer, A. D., 1986, Sol. Phy., 103, 21.

Z. Eker : Güneş için Bulut Fakula Modelleri

- Deinzer, W., Hensler, G., Schussler, M. ve Weissaar, E., 1984a, A&A, 139, 429
- Deinzer, W., Hensler, G., Schussler, M., ve Weissaar, E., 1984b, A&A, 139, 435
- del Toro Iniesta, J. C., Collados, M., Sanchez Almeida, J., Martinez Pillet, V., Ruiz Cobo, B., 1990, A&A, 233, 570
- Eker, Z., 2003, Sol. Phy., 212, 277
- Eker, Z., Brandt, P., N., Hanslmeier, A., Otruba, W., ve Wehrli, C., 2003, A&A, 404, 1107
- Foukal, P., Little, R., ve Mooney, J., 1989, ApJ, 336, L33
- Foukal, P., Little, R., Graves, J., Rabin, D., ve Lynch, D., 1990, ApJ, 353, 712
- Frazier, E. N., 1971, Sol. Phy., 21, 42
- Hirayama, T., Hamana, S., ve Mizugaki, K., 1985, Sol. Phy., 99, 43
- Knolker, M., ve Schussler, M., 1988, A&A, 202, 275
- Knolker, M., Schussler, M., ve Weisshaar, E., 1988, A&A, 194, 257
- Lawrence, J. K., 1988, Sol. Phy., 116, 17
- Lawrence, J. K. ve Chapman, G. A., 1988, ApJ, 335, 996
- Lawrence, J. K., Chapman, G. A., ve Herzog, A. D., 1988, ApJ, 324, 1184
- Lawrence, J. K., Topka, K. P., ve Jones, H. P., 1993, Journal of Geophysics Research, Vol.98, s.1891
- Londolt-Börnstein, 1981, in Astronomy and Astrophysics, vol.2a, ed. K. Schaifers & H. H. Voigt, Springer-Verlag, Berlin, 90
- Moran, T., Foukal, P., ve Rabin, D., 1992, Sol. Phy. 142, 35
- Muller, R., 1975, Sol. Phy., 45, 105
- Nishikawa, J., ve Hirayama, T. 1990, Sol. Phy., 127, 211
- Pap, J. M., Wilson, R. C., Frohlich, C., Donnelly, R. F. ve Puga, L., 1994, Sol. Phy., 152, 13
- Schatten, K. H., Mayr, H. G., Omidvar, K. ve Maier, E., 1986, ApJ, 311, 460
- Schussler, M., ve Solanki, S. K., 1988, A&A, 192, 338
- Spruit, H.C., 1976, Sol. Phy., 50, 269
- Steinegger, M., Brandt, P. N., ve Haupt, H. F., 1996a, A&A, 310, 635
- Steinegger, M., Vazquez, M., Bonet, J. A. ve Brandt, P. N., 1996b, ApJ, 461, 478
- Stellmacher, G., ve Wiehr, E. 1979, A&A, 75, 263
- Stellmacher, G., ve Wiehr, E. 1991, A&A, 248, 227
- Taylor, S. F., Varsik, J. R., Woodard, M. F., Libbrecht, K.G. 1998, Sol. Phy., 178, 1
- Title, A. M., Topka, K. P., ve Tarbell, T. D., 1987, ApJ, 317, 892
- Topka, K. P., Tarbell, T. D. ve Title, A. M., 1992, ApJ, 396, 351
- Topka, K. P., Tarbell, T. D. ve Title, A. M., 1997, ApJ, 484, 479
- Unruh, Y. C., Solanki, S. K. ve Fligge, M., 1999, A&A, 345, 635
- Vernazza, J. E., Avrett, E. H. ve Loeser, R., 1973, ApJ, 184, 605
- Vernazza, J. E., Avrett, E. H. ve Loeser, R., 1976, ApJ Suppl, 30, 1
- Vrsnak, B., Placko, D. ve Ruzdjack, V., 1991, Sol. Phy., 133, 205
- Worden, P., 1975, Sol. Phys., 45, 521