

## MHD Dalgalarının Güneştacını Isıtma ve Güneş Rüzgarını İvmelendirmedeki Rolü

Özgür GÜLTEKİN

İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34452 Üniversite, İstanbul  
ogultekin@scientist.com

**Özet:** Uzay araçlarındaki ölçmeler sonucu güneş rüzgarlarının neden ivmelendiği tam olarak izlenememektedir. Bu temel alanı çözümlenebilmek için güneştacından gelen fotonlar üzerinde tamamlayıcı çalışmalar yapmaya ihtiyaç vardır. Yohkoh, TRACE ve SOHO gibi uzay araçlarındaki ölçme aygıtları (özellikle EIT, CDS ve MDI gibi) çok küçük ölçeklerde maddeleri gözlemleyebilmektedir. Yohkoh'da yapılan yanıcı ve patlayıcı olaylar hakkındaki araştırmalar çok detaylı bilgilere ulaşılmasını sağlamış ve tüm güneştacının ısınması konusunda yeni bilgiler vermiştir. Burada elde edilen gözlemler özetlenmiş, güneştacının ısıtılması sorunu ile güneştacı deliği üzerine bazı temel sorular ele alınmış ve çeşitli fiziksel mekanizmalara değinilmiştir. Güneştacı deliği plazmasının ve yarattıkları hızlı rüzgar akıntılarının karakterinin ortaya konması için son on yıl içinde yoğunlaşan çabalar sürmektedir.

**Anahtar kelimeler:** MHD dalgaları, Güneş rüzgarı, Güneştacı deliği.

**Abstract:** Spacecraft measurements have not been able to probe the wind where its acceleration occurs, we have relied on complementary observations of photons from the corona to study this key region. Instruments aboard the Yohkoh, TRACE and SOHO spacecraft have revealed strong variability and complexity at the coronal base on the smallest observable scales. The improved understanding of explosive, flarelike events from Yohkoh has led to many new ideas for the heating of the entire corona. In this article observations from past years are summarized, some questions about heating of corona problem and coronal holes are considered on and various physical mechanisms that they formed are mentioned. For the clarification of the coronal wind flows, intensive efforts are still going on.

**Key words:** MHD waves, Solar wind, Coronal holes.

### 1. Giriş

Güneştacı delikleri ilk kez, güneştacının 5303 Å yeşil çizgisindeki gözlemlerle, Waldmeier [1] [2] tarafından uzun ömürlü ve ihmal edilebilir yoğunluktaki bölgeler olarak fark edilmiştir. Güneştacı delikleri 1970'lerin başında X ışınları ve morüstü güneş diskinde ayrı karanlık yamalar olarak yeniden keşfedilmiş ve güneş rüzgarı ile olan ilişkisi kısa zamanda anlaşılmıştır. [3][4]

Güneştacını ısıtan ve güneş rüzgarını hızlandıran erke alt ışık kürede iletken hareketleri oluşturur. Yarım yüzyıldan fazla süren çalışma ve araştırmalara rağmen bu erkeyi güneştacına aktarır, ısısal, manyetik ve kinetik erkeye dönüştüren fiziksel işlemin ne olduğu tam olarak anlaşılammıştır. [5][6][7] Aşağıda birbirinden uzay ölçeğine ve güneştacındaki genişleme durumuna göre ayrılmış iki ayrı cevaplanmamış soru listesi yer almaktadır.

### 2. Güneştacı

*Güneştacı ısınmasının temel nedeni hangi fiziksel işlemdir ?*

Bu soruya belli bir aşamaya kadar daha temel bir soru cevaplanmadıkça açıklama getirilemez: “Güneştacı manyetik alanına pompalanan mekanik erkenin zamana göre dağılım çizelgesi nedir ?” Geleneksel AC ye karşı DC ısıtma mekanizması ayrımı, [8] eğer taç her iki limitin etrafında dolaşan bir zaman tayfına sahip ise benzer bir yaklaşıma yol açmaktadır.[9] Olasılıkla, en yüksek ısıtma işlemi kinetik “mikroölçekler” in etrafında oluşan dalgalanmanın tümünü kapsamaktadır ve bu nedenle manyetohidrodinamiğin ötesinde fiziksel açıklamaya ihtiyaç duyar. [10][11]

*Güneştacı deliği komşu hareketsiz bölgelerden değişik ısı dereceleri ile mi ayrılmaktadır ? Yoksa sadece kapalı ve açık manyetik akının görece değişik bölümleri olması nedeniyle mi ayrılmaktadır ?*

Poster tam metni için : Özgür GÜLTEKİN  
e-mektup : ogultekin@scientist.com

Bu sorunun cevabı ikincisi olabilir ama en küçük ölçekteki güneştacı ısıtmasının yapısının aydınlatılmasına bağlıdır. [12][13][14]

*Yüksek hızlı rüzgarların kütleli akıları nasıl belirlenir ve düzenlenir ?*

Leer ve Marsh [15][6] iki ayrı önermeyi karşı karşıya getirmişlerdir. a-) rüzgar alçak taçtaki erke boşalması ile yönlendirildiğinden, kütleli akı bu mekanik erke ile orantılı olmalıdır. b-) plazmaların açık "bacalara" doğru depolanması yoğunlaşmakta ve hızlı iyonlaşma işlemi ile belirlenmektedir. Bu kavramlar birbirleri ile ilişkili olabilir ve henüz ne ölçüde birbirlerine yardımcı oldukları belli değildir. [16][17][18]

### 3. Genişletilmiş Güneştacı

*Güneştacı deliğinden ne kadar güneş rüzgarı gelmektedir ?*

Hızlı güneş rüzgarının güneştacı deliklerinde hızlandığı yeterince net olarak bilinmektedir ama güneş rüzgarının yavaş bileşeninin ne kadarının geldiği belirsizdir.

a-) güneştacı deliğinin kenarı [19] b-) kapalı alan dalgalandırıcılarının arasındaki geçişken bağlayıcılar [20] c-) aktif bölgeler [21] Karşıt olarak güneş diskindeki hareketsiz bölgelerden ne kadar hızlı rüzgarların oluştuğu konusunda farklı fikirlerin tartışması vardır. [22]

*Genişletilmiş ısıyı yönlendirdiğine ve hızlandırdığına inanılan plazma dalgalanması nasıl ve nerede oluşmaktadır ?*

Genişletilmiş güneştacındaki dalgalanmaların çoğalmasının erkeyi yönlendirdiği ve momentum boşalmasına yol açtığına inanılmaktadır. Çünkü en üst düzeydeki kaynağın belirtilen her iki kendiliğinden kararlı dikine oluşumdan olduğu düşünülmektedir.

a-) tüm ilişkili dalgalanma modlarının tayftaki dalga numaraları b-) elektron, proton ve daha küçük iyonların hız dağılımı.

*Hızlı rüzgarın ivmesi bağımsız moment boşalmasına ihtiyaç gösterir mi ? Yoksa dikleşme basınç kuvvetleri yeterli midir ?*

Manyetik alana dik, sıcaklıkları 3-4 milyon K kadar büyük olan protonların güncel UVCS gözlemleri sonucunda hızlı rüzgarların, protonların üzerine etkileyen yönbağımlı basınç diklik kuvvetinden (manyetik ayna kuvveti gibi) geldiği düşünülmektedir. Yine de geleneksel olarak 1 AB altında hızı  $600 \text{ km s}^{-1}$  den  $700 \text{ km s}^{-1}$  yi aşan rüzgar hızları sadece dalga basıncından ek bir moment boşalması olarak açıklanmakta.[23] Gerçekçi bir hızlı rüzgar için ek bir momentum boşaltma modeline gerek görülmeden maksimum

$T_{p\perp}$  olarak 6 milyon K gerektiren gözlemsel bir seri güneş rüzgar modeli geliştirilmiştir. [24] Bunun sonucu olarak momentum boşalması gerekli görülse de H I Ly $\alpha$  çizgisel genişliğinin  $T_{p\perp}$  nin belirlenmesindeki kararsızlık yüzünden bu soruya net bir cevap vermek mümkün olmamıştır.

*Gözlemlenen filamenter düzensizlikler (kutupsal plumes ve jetler gibi) ne dereceye kadar hızlı rüzgarın kütle, momentum ve erke bütçelemesine etkili olmaktadır ?*

Kutupsal plumes, "çevresel" plumes arası güneştacından daha yoğun [25], daha soğuk [26] ve daha yavaş [27][28] plazma bulundurur. Bu nedenle hızlı güneş rüzgarının temel olarak interplume bölgelerden mi meydana geldiği tam olarak bilinmemektedir.

### 4. Gözlemlerin Özeti

Güneştacı deliğinin nasıl oluşup yerleştiğini anlayabilmek için daha fazla gözlemsel bilgiye ihtiyaç vardır. Bu özelliklerin ölçülmesinde en önemli iki yöntem uzay araçlarının verileri ve güneştacı fotonlarının uzaktan algılanmasıdır.

Uzay araçları parçacıkların hız dağılımlarını ve elektromanyetik alanları güneşe 60 R yakınlıkta (Helios 1 ve 2) ve 12000 R uzaklıkta (Voyager 2) ölçmeyi başarmıştır. Maxwellian hız dağılımından yola çıkılmış ve küçük ölçekte kinetik fiziksel özellikler üzerinde çalışılmıştır. [29] Durumsal aygıtlar aynı zamanda 0.1 saniyeden, aylar ve yıllara kadar manyetik alandaki değişiklikleri, hız ve yoğunluklardaki farkları ölçmüş ve kaydetmiştir. Hem yayılma özelliği gösteren dalgaların (esas olarak Alfvenik karakterde) hem de yayılma özelliği göstermeyen dalgaların, rüzgar nedeniyle oluşan basınç dengeleri incelenmiştir. Farklı salınım modlarındaki doğrusal olmayan girişimler güçlü tedirginlikler yaratmakta ve Fourier tayfı oluşturarak net bir alçak güç davranışı sergilemektedirler. Bu gösterge MHD çalkantının yaratıldığına da bir kanıttır. [30][31]

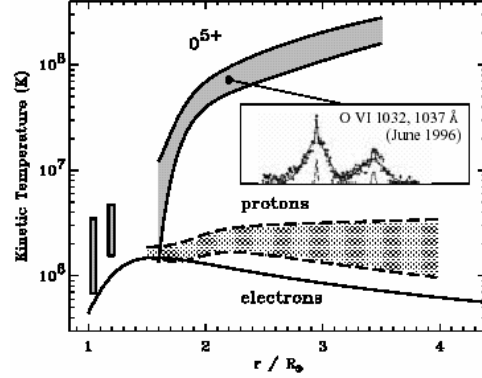
Uzay araçlarındaki ölçmeler sonucu rüzgarların ivmelenmesinin neden olduğu tam olarak izlenemediğinden (tipik olarak güneştacından 10 R uzaklığa kadar) bu temel alanı çözümleyebilmek için güneştacından gelen fotonlar üzerinde tamamlayıcı çalışmalar yapmaya ihtiyaç vardır. Yohkoh, TRACE ve SOHO gibi uzay araçlarındaki ölçme aygıtları (özellikle EIT, CDS ve MDI gibi) çok küçük ölçeklerde maddeleri gözlemleyebilmektedir. Yohkoh'da yapılan yanıcı ve patlayıcı olaylar hakkındaki araştırmalar çok detaylı bilgilere ulaşılmasını sağlamış ve tüm güneştacının ısınması konusunda yeni bilgiler

vermiştir. [32][33] SOHO da bulunan SUMER adlı cihaz güneştacı deliklerinde oluşan güneş rüzgarının nedenlerini maviye kayma yöntemiyle belirlemiştir. SUMER ölçmeleri ayrıca çok alçak durumlarda iyon sıcaklıklarının elektron sıcaklıklarını aştığını da göstermiştir. [34][35] Kolların üzerinde (~1,1-1,4 R) kararlı elektron sıcaklıkları elde etmenin ispatlanması oldukça zor olmuştur. Görece daha alçak sıcaklıklarda  $T_e$  0.3-1.1 milyon aralığında ölçmeler yapılmıştır. [36][37] Bu yüksekliklerde yapılan gözlemler Hansteen tarafından 1997 yılında yapılan teorik varsayımlar ile de çakışmaktadır. [38] Yine de görece daha yüksek değerlerde 1.3-1.7 milyon K aralığında güneştacı deliğiyle ilgili bazı tespitler belki de düşük yüksekliklerde Maxwellian olmayan elektron dağılımını doğrulamaktadır. [39]

Rüzgarın ivmelenen yüzünde güneştacı deliğindeki morötesi emisyonu, güneş diskindekinden en az beş kat daha fazladır. Bu nedenle koronograf teleskoplardaki büyüleyici teknikler hızlı rüzgarların nasıl oluştuğu konusundaki bilgilerimizi olağanüstü geliştirmiştir. SOHO da yer alan UVCS cihazı ilk kez yönbağımlılar üzerindeki iyon sıcaklıklarının ve rüzgarın ivmelenen bölümünde diferansiyel dışa akış hızının ölçülmesini sağlamıştır. [40][41][42] UVCS , 2 R yükseklikte (şekil 1) 300 milyon K'ı aşan dik  $O^{5+}$  sıcaklıklarını  $T_{\perp} / T_{\parallel}$  , 10-100 sırasında alarak ölçmüştür. Hem  $O^{5+}$  Hem de  $Mg^{9+}$  nın sıcaklıkları, hidrojenle kıyaslandığında, kütle oranlarından yeterince daha büyüktür ve  $O^{5+}$  nın dışa akış hızları hidrojenin iki katı kadar daha büyüktür. [43] Bu sonuçlar yerinde elde edilen bilgi ile uyum göstermektedir ama güneştacındaki termodinamik dengeden çok daha uç kalkışları ifade etmektedirler. Isının dikey karakteri ve  $T_{ion} \gg T_p > T_e$  sıralaması nedeniyle UVCS gözlemleri güneştacına ait iyon-cyclotron zoruna titreşim modellerine olan ilgiyi yeniden canlandırmıştır.

Şekil 1'den görüleceği gibi protonlar elektronlardan çok daha fazla ısıtılmakta (H I Ly $\alpha$  emisyon çizgisi ile ölçüldüğü kadarı ile) ve bu nedenle güneştacı deliğinde kitlesel dik eğimli basınç kuvvetleri oluşmaktadır. Proton gradiyent sıcaklığı üzerine yapılan gözlemler, her bir protonun ısıtılma oranının 2R de  $\sim 0.05$  ile  $0.1 \text{ eV sn}^{-1}$  mertebesinde olduğunu düşündürmektedir. Şaşırtıcıdır ki bu değer, temel güneştacında erke akısının  $F \approx 5 \times 10^5 \text{ erg cm}^2 \text{ sn}^{-1}$  olduğu durumda her protonun ısıtılma hızı olarak düşünülen büyüklüğe eşittir. [5] Bu 0.01 den 0.1 R. ölçeğindeki I skalasında dağılmakta ve sayısal yoğunluğu n,  $10^8$  den  $10^{10} \text{ cm}^{-3}$  olan bir plazmada her bir protonun ısıtılma oranı olan  $F/(I n)$  nin 0.01 den  $1 \text{ eV sn}^{-1}$  mertebesinde olmasına yol açmaktadır. Bu sonuç hem temel, hemen de

genişletilmiş güneştacının, hızlandırılmış rüzgardaki parçacık hızları üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 1 güneştacı deliği ve hızlı rüzgarlardaki ısı ölçmelerinin grafiğini vermektedir. 1.5 R nin üzerindeki dikey proton ve  $O^{5+}$  ısıları UVCS çizgisel genişliğinde deneysel bir modelden yeniden üretilmiştir. [42][43] Düşük yüksekliklerdeki iki  $O^{5+}$  kutusu SUMER çizgisel genişliğinden çıkarılmış iyon sıcaklıklarını temsil etmekte ve elektron sıcaklıkları ise Ko ve arkadaşlarının 1997 yılında yaptıkları çalışmadan alınmıştır. [44] Genellikle plum ve interplum bölgelerin neden olduğu ilave belirsizlikler ve değişik enlemlerdeki farklar burada gösterilmemiştir.

## 5. Fizik Mekanizmalar

Güneştacını ısıtan değişik fizik mekanizmalar olasılıkla, güneştacı deliklerini yönlendiren kapalı manyetik çevrimlere, aktif bölgelere ve açık alan çizgilerine yol açmaktadır. [14] Ayrıca temel güneştacının ( $r < 1.5 R.$ ) büyük olasılıkla daha büyük güneş merkezli uzaklıklarda söz konusu olan işlemlerden farklı yöntemlerle ısıtılması söz konusudur. Genişletilmiş güneştacının oluşması ve elde edilmesine karşılık aşağı güneştacının yaratılmasına ilişkin bu bölümleme, seston hızlı (supersonic) rüzgarlarda (neredeyse çekimsiz olan) ve temel güneştacındaki Coulomb çekim oranlarındaki (neredeyse bütün parçacıklar çekim sonucu eşlenmektedir) çok büyük farklarla da desteklenmektedir.

Genişletilmiş ısıtmanın ortaya çıkmasından dalgalanmanın nasıl ve ne zaman sorumlu olduğu bilinmemektedir. Temel güneştacında dikkatler Alfvén dalgalarına doğru çevrilmiştir ama son zamanlarda değişik türdeki açık akı tüplerinde yapılan yavaş manyetik ses dalgaları üzerinde çalışmalar da söz konusudur. [45] 2-3 R nin üzerindeki yüksekliklerde dalganın yok olmasına neden çarpışma işlemleri olmaktadır. Akla en

uygun dalga yok oluş mekanizması, Landau sönmesi esas olarak alçak  $\beta$  plazmada elektronları ısıtmaya yöneldiği için iyon-cyclotron zoruna titreşimi olarak görünmektedir. [46] Bazıları sol el kutupsal iyon-cyclotron dalgalarının darbesel olarak güneştaçı temelinde yaratıldığına ve değişmeden yayıldığına inanmaktadır. Buna ilişkin bir fikir de aynı temel darbesel olayların hızlı şoklar yaratarak genişletilmiş güneştaçını doldurduğu ve erkesinin bir kısmını dönüştürerek yönbağımlı ısıtmayı ve iyon ivmelenmesini sağladığıdır. [47]

Yerel dalga üretimine ilişkin pek çok sayısız önerme söz konusudur; örneğin genişletilmiş güneştaçının her yönünde "ikincil" dalgalanma gerek düzensizlik, plazmanın kararsızlığı veya mod değişimi sonucu olur. [48][49] Güneştaçındaki iyon-cyclotron frekansı tipik olarak 10 dan 10000 Hz e kadar değişmektedir ama güneşin yüzeyinde gözlemlenen (genel olarak ısı taşınımı ile oluşmaktadır) titreşim frekansı 0.01 Hz civarındadır. Bu nedenle herhangi bir dalga üretim dizgesi çok farklı şiddetteki dalga frekansları arasında köprü oluşturmak zorundadır. MHD çalkantıya ilişkin pek çok model arka taraftaki manyetik alanı ele alarak ( $\mathbf{k} \cdot \mathbf{B} \approx 0$ ) küçükten büyük dalga numarasına doğru erke aktarımına yakınlık gösterir. [50][51] Yine de Alfvenik dalgalanmaya ilişkin iyon-cyclotron sönümlemesi geniş paralel dalga numarasına ihtiyaç duymaktadır. ( $k_{\parallel} = \Omega_{\text{ion}} / V_A$ ) Güneştaçında yerel olarak iyon-cyclotron dalgalarını yaratamamak gözlemlerdeki yönbağımlı ısının kaynağı ve ayrıcalıklı iyon ivmelendirmesi konularını açısından önemlidir.

## 6. Sonuç

İyon-cyclotron dalgalarının nasıl oluştuğu konusunda bilgi eksikliğimiz vardır. Bununla beraber gözlemlerin arka planına inerek dalga özellikleri ve kinetik etkileri konusunda yapılan araştırmalarda herhangi bir eksiklik söz konusu değildir. [52][53] Bi-Maxwellian dağılımları temel alan modellerin yanında basit parametrik hız dağılımından kinetik ayrılmaları anlayabilmek için yakın zamanlarda aceyle yapılan çalışmalar söz konusudur. [54][55][56] Bu araştırmaların sonuçları henüz anlaşılmaya çalışılmaktadır ve şimdilik fiziksel yönlerin hangilerinin ihmal edileceği hangilerinin ise temel konuların anlaşılmasında ele alınması gerektiği yeterince açık değildir.

## 7. Kaynaklar

- [1] Waldmeier, M., *Die Sonnenkorona* 2, Verlag Birkhauser, Basel (1957).  
[2] Waldmeier, M., The coronal hole at the 7 March 1970 solar eclipse, *Solar Phys.*, **40**, 351 (1975).

- [3] Krieger, A. S., A. F. Timothy, ve E. C. Roelof, A coronal hole and its identification as the source of a high velocity solar wind stream, *Solar Phys.* **29**, 505 (1973).  
[4] Zirker, J. B., ve ark., *Coronal Holes and High-speed Wind Streams*, Colorado Assoc. Univ. Press, Boulder (1977).  
[5] Parker, E. N., Heating solar coronal holes, *Astrophys. J.*, **372**, 719 (1991).  
[6] Marsch, E., Solar wind models from the Sun to 1 AU: Constraints by in situ and remote sensing measurements, *Space Sci. Rev.*, **87**, 1 (1999).  
[7] Gomez, D. O., P. A. Dmitruk, and L. J. Milano, Recent theoretical results on coronal heating, *Solar Phys.*, **195**, 299 (2000).  
[8] Narain, U., ve P. Ulmschneider, Chromospheric and coronal heating mechanisms II, *Space Sci. Rev.*, **75**, 453 (1996).  
[9] Milano, L. J., D. O. Gomez, ve P. C. H. Martens, Solar coronal heating: AC versus DC, *Astrophys. J.*, **490**, 442 (1997).  
[10] Vinas, A. F., H. K. Wong, ve A. J. Klimas, Generation of electron suprathermal tails in the upper solar atmosphere: Implications for coronal heating, *Astrophys. J.*, **528**, 509 (2000).  
[11] Leamon, R. J., W. H. Matthaeus, C. W. Smith, G. P. Zank, D. J. Mullan, ve S. Oughton, MHD-driven kinetic dissipation in the solar wind and corona, *Astrophys. J.*, **537**, 1054 (2000).  
[12] Hearn, A. G., An explanation of the observed differences between coronal holes and quiet coronal regions, *Solar Phys.*, **51**, 159 (1977).  
[13] Falconer, D. A., R. L. Moore, J. G. Porter, ve D. H. Hathaway, Large-scale coronal heating, clustering of coronal bright points, and concentration of magnetic flux, *Space Sci. Rev.*, **87**, 181 (1999).  
[14] Priest, E. R., C. R. Foley, J. Heyvaerts, T. D. Arber, D. Mackay, A method to determine the heating mechanisms of the solar corona, *Astrophys. J.*, **539**, 1002 (2000).  
[15] Leer, E., ve E. Marsch, Working Group 1 report: Solar wind models from the Sun to 1 AU: Constraints by in situ and remote sensing measurements, *Space Sci. Rev.*, **87**, 67 (1999).  
[16] Sandbæk, Ø., E. Leer, ve V. H. Hansteen, On the relation between coronal heating, flux tube divergence, and the solar wind proton flux and flow speed, *Astrophys. J.*, **436**, 390 (1994).  
[17] Peter, H., ve E. Marsch, Ionization layer of hydrogen in the solar chromosphere and the solar wind mass flux, in *The Corona and Solar Wind Near Minimum Activity*, Fifth SOHO Workshop, ed. A. Wilson, p. 591, ESA SP-404, Noordwijk, The Netherlands (1997).  
[18] Chashei, I. V., Energy balance of the quiescent solar corona and the problem of regulating the solar wind mass flux, *Astron. Reports*, **41**, 85 (1997).  
[19] Wang, Y.-M., ve N. R. Sheeley, Jr., Solar wind speed and coronal flux-tube expansion, *Astrophys. J.*, **355**, 726 (1990).  
[20] Wu, S.-T., A. H. Wang, S. P. Plunkett, ve D. J. Michels, Evolution of global-scale coronal magnetic field due to magnetic reconnection, *Astrophys. J.*, **545**, 1101 (2000).  
[21] Hick, P., Z. Svestka, B. V. Jackson, F. Farnik, ve H. Hudson, Quiet solar wind signatures above active regions

- observed in X-rays, in *Solar Wind Nine*, S. Habbal, R. Esser, J. Hollweg, ve P. Isenberg, p. 231, AIP Press, Woodbury, NY (1999).
- [22] Habbal, S. R., R. Woo, ve J. Arnaud, On the predominance of the radial component of the magnetic field in the solar corona, *Astrophys. J.*, **558**, 852 (2001).
- [23] Jacques, S. A., Momentum and energy transport by waves in the solar atmosphere and solar wind, *Astrophys. J.*, **215**, 942 (1977).
- [24] Cranmer, S. R., Coronal holes and the high-speed solar wind, *Space Sci. Rev.*, submitted (2002).
- [25] Ahmad, I. A., ve G. L. Withbroe, EUV analysis of polar plumes, *Solar Phys.*, **53**, 397 (1977).
- [26] Kohl, J. L., R. Esser, S. R. Cranmer, S. Fineschi, L. D. Gardner, EUV line profiles in polar coronal holes from 1.3 to 3.0  $R_{\odot}$ , *Astrophys. J.*, **510**, L59 (1999).
- [27] Giordano, S., E. Antonucci, G. Noci, M. Romoli, ve J. L. Kohl, Identification of the coronal sources of the fast solar wind, *Astrophys. J.*, **531**, L79 (2000).
- [28] Wilhelm, K., I. E. Dammasch, E. Marsch, ve D. M. Hassler, On the source regions of the fast solar wind in polar coronal holes, *Astron. Astrophys.*, **353**, 749 (2000).
- [29] Feldman, W. C., ve E. Marsch, Kinetic phenomena in the solar wind, in *Cosmic Winds and the Heliosphere*, ed. J.R. Jokipii, C. P. Sonett, ve M. S. Giampapa, p. 617, U. Arizona Press, Tucson, AZ (1997).
- [30] Goldstein, M. L., D. A. Roberts, ve W. H. Matthaeus, Magnetohydrodynamic turbulence in the solar wind, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **33**, 283 (1995).
- [31] Tu, C.-Y., ve E. Marsch, MHD structures, waves and turbulence in the solar wind: Observations and theories, *Space Sci. Rev.*, **73**, 1 (1995).
- [32] Shimizu, T., Yokkoh observations related to coronal heating, *Magnetic Reconnection in the Solar Atmosphere*, ed. R.D. Bentley ve J. T. Mariska, ASP Conf. Ser. 111, p. 59, Astron. Soc. Pacific, San Francisco (1996).
- [33] Moore, R. L., D. A. Falconer, J. G. Porter, ve S. T. Suess, On heating the Sun's corona by magnetic explosions, *Astrophys. J.*, **526**, 505 (1999).
- [34] Seely, J. F., U. Feldman, U. Schühle, K. Wilhelm, W. Curdt, ve P. Lemaire, Turbulent velocities and ion temperatures in the solar corona obtained from SUMER line widths, *Astrophys. J.*, **484**, L87 (1997).
- [35] Tu, C.-Y., E. Marsch, K. Wilhelm, ve W. Curdt, Ion temperatures in a solar polar coronal hole observed by SUMER on SOHO, *Astrophys. J.*, **503**, 475 (1998).
- [36] David, C., A. H. Gabriel, F. Bely-Dubau, A. Fludra, P. Lemaire, ve K. Wilhelm, Measurement of the electron temperature gradient in a solar coronal hole, *Astron. Astrophys.*, **336**, L90 (1998).
- [37] Doschek, G. A., U. Feldman, J. M. Laming, U. Schühle, ve K. Wilhelm, Properties of solar polar coronal hole plasmas observed above the limb, *Astrophys. J.*, **546**, 559 (2001).
- [38] Hansteen, V. H., E. Leer, ve T. E. Holzer, The role of helium in the outer solar atmosphere, *Astrophys. J.*, **482**, 498 (1997).
- [39] Esser, R., ve R. J. Edgar, Reconciling spectroscopic electron temperature measurements in the solar corona with in situ charge state observations, *Astrophys. J.*, **532**, L71 (2000).
- [40] Kohl, J. L., R. Esser, L. D. Gardner, S. Habbal, P. S. Daigneau, The Ultraviolet Coronagraph Spectrometer for the Solar and Heliospheric Observatory, *Solar Phys.*, **162**, 313 (1995).
- [41] Kohl, J. L., G. Noci, E. Antonucci, G. Tondello, M. C. E. Huber, First results from the SOHO Ultraviolet Coronagraph Spectrometer, *Solar Phys.*, **175**, 613 (1997).
- [42] Kohl, J. L., G. Noci, E. Antonucci, G. Tondello, M. C. E. Huber, UVCS/SOHO empirical determinations of anisotropic velocity distributions in the solar corona, *Astrophys. J.*, **501**, L127 (1998).
- [43] Cranmer, S. R., J. L. Kohl, G. Noci, E. Antonucci, G. Tondello, An empirical model of a polar coronal hole at solar minimum, *Astrophys. J.*, **511**, 481 (1999a).
- [44] Ko, Y.-K., L. A. Fisk, J. Geiss, G. Gloeckler, ve M. Guhathakurta, An empirical study of the electron temperature and heavy ion velocities in the south polar coronal hole, *Solar Phys.*, **171**, 345 (1997).
- [45] Ofman, L., V. M. Nakariakov, ve C. E. DeForest, Slow magnetosonic waves in coronal plumes, *Astrophys. J.*, **514**, 441 (1999).
- [46] Habbal, S. R., ve E. Leer, Electron heating by fast mode magnetohydrodynamic waves in the solar wind emanating from coronal holes, *Astrophys. J.*, **253**, 318 (1982).
- [47] Lee, L. C., ve B. H. Wu, Heating and acceleration of protons and minor ions by fast shocks in the solar corona, *Astrophys. J.*, **535**, 1014 (2000).
- [48] Hollweg, J. V., Transition region, corona, and solar wind in coronal holes, *J. Geophys. Res.*, **91**, 4111 (1986).
- [49] Matthaeus, W. H., G. P. Zank, S. Oughton, D. J. Mullan, ve P. Dmitruk, Coronal heating by magnetohydrodynamic turbulence driven by reflected low-frequency waves, *Astrophys. J.*, **523**, L93 (1999).
- [50] Shebalin, J. V., W. H. Matthaeus, ve D. Montgomery, Anisotropy in MHD turbulence due to a mean magnetic field, *J. Plasma Phys.*, **29**, 525 (1983).
- [51] Goldreich, P., ve S. Sridhar, Magnetohydrodynamic turbulence revisited, *Astrophys. J.*, **485**, 680 (1997).
- [52] Cranmer, S. R., G. B. Field, ve J. L. Kohl, Spectroscopic constraints on models of ion cyclotron resonance heating in the polar solar corona and high speed solar wind, *Astrophys. J.*, **518**, 937 (1999b).
- [53] Hu, Y.-Q., S. R. Habbal, ve X. Li, On the cascade processes of Alfvén waves in the fast solar wind, *J. Geophys. Res.*, **104**, 24,819 (1999).
- [54] Galinsky, V. L., ve V. I. Shevchenko, Nonlinear cyclotron resonant wave-particle interaction in a nonuniform magnetic field, *Phys. Rev. Lett.*, **85**, 90 (2000).
- [55] Isenberg, P. A., M. A. Lee, ve J. V. Hollweg, The kinetic shell model of coronal heating and acceleration by ioncyclotron waves, 1, Outward-propagating waves, *J. Geophys. Res.*, **106**, 5649 (2001).
- [56] Vocks, C., ve E. Marsch, A semi-kinetic model of wave-ion interaction in the solar corona, *Geophys. Res. Lett.*, **28**, 1917 (2001).
- [57] Cranmer, S.R., Coronal Holes and the solar Wind (2002)