

## Uzay Meteorolojisi Gelişiyor Ama...

# Güneş'in Öfkesine Hazır mıyız?

Güneş fırtınası korkunç bir şey olabilir. Milyonlarca kilometre genişliğinde dev bir plazma ve manyetik alan dalgası, Güneş'ten üstümüze doğru geliyor. Uzayın derinliklerinde, Dünya'nın manyetik alanına hapsolmuş elektrik yüklü parçacıkların oluşturduğu kalkan çatırıyor. Dünya'ya yaklaştıkça, uzaydan yağın parçacıklar, astronotları ve uçak yolcularını hem yüksek radyasyon yağmuruna tutuyor hem de radyo haberleşmesini etkiliyor. Atmosferden ve yerküreden geçen akımlar, teknolojik bir kaos yaratıyor; uydular, hatta tüm elektrik dağıtım şebekeleri işlemez hale geliyor. 1989 Mart'ında olağanüstü şiddetli bir Güneş fırtınası-

nın, Kanada'nın Quebec eyaletinde tüm elektrik sistemini 9 saat süreyle felç ettiği gibi...

Bu fırtına Güneş'in 11 yıllık döngüsünün son doruk noktasında meydana gelmişti. Bu yıl, döngü yeni bir doruğa ulaşacak. Anlamı, Güneş fırtınalarının sıklığının ayda birkaçtan, haftada birkaç taneye çıkması. Bunlardan çoğunun fazla etkili olması beklenmiyor. Ancak içlerinden en güçlülerinin, 1989 fırtınasının şiddetine erişebileceği, hatta bunu geçebileceği düşünülüyor. O zamandan bu yana elektrik dağıtım şebekelerindeki genişleme, yörünge-deki uyduların sayısındaki artış (bu yıl sonuna kadar 800'e ulaşması bekleni-

yor), astronotların Uluslararası Uzay İstasyonu'nu inşa etme takvimi göz önünde tutulursa, insanlığın uzaydaki "kötü hava"nın etkilerine her zamankinden daha açık olduğu ortaya çıkıyor. ABD Ulusal Bilim Vakfı (NSF) Üst Atmosfer Araştırma Bölümü Başkanı ve Ulusal Uzay Meteoroloji Programı Eşbaşkanı Richard Behnke bu konuda karamsar. Şöyle diyor: "Uzaydaki meteorolojik olayların kötü birtakım şeylere yol açacağı kesin gibi; uydular bozulacak, elektrik dağıtım şebekeleri çökecek".

Ancak, bir fırtına uyarısı, limandaki teknelerin güvenceye alınması ve pencerelerin kapıların sıkıca örtülmesi için nasıl yeterli zaman sağlıyorsa, uzayla ilgili meteorolojik uyarılar da , teknisyenlere zararın bir kısmını önleyebilmelerinde yardımcı olabilir. Örneğin, elektrik şebekeleri tam kapasitenin altında çalıştırılarak Güneş fırtınalarının yol açacağı ani güç artışlarının vereceği zararlar önlenabilir. İletişim uyduları işleten şirketler, uydulardaki kalıcı ya da geçici bozukluklar için zamanında önlem alabilirler. Ulusal Okyanus ve Atmosfer Araştırmaları Dairesi (NOAA) Uzay Çevre Merkezi (SEC) Başkan Yardımcısı Ron Zwickl, "çok kısa önceden yapılacak bir uyarı bile büyük yararlar sağlayabilir" diyor.

Uzmanlara göre, uzay meteoroloji uzmanlarının Güneş fırtınalarını önceden tahmin etme becerileri, 1960'lı yıllardaki meteoroloji yetkililerinin Dünya'daki fırtınaları tahmin yeteneklerinden daha ileri değil. Son 35 yıldır SEC, uzay meteorolojisinde önemli bir olgu olan Güneş parlamaları konusunda güvenilirliği giderek artan günlük tahminlerde bulunuyor. Bunlar, Güneş'in üst atmosferinde oluşan ve sıkışmış manyetik enerjinin serbest kalmasıyla tetiklendiği sanılan patlamalar. Ancak zarar potansiyeli en yüksek fırtınalar konusunda güvenilir uyarılar, ancak bir saat önceden yapılabilir. Bunun için bir plazma bulutunun Dünya'dan Güneş'e doğru 1.5 milyon kilometre uzaklıktaki "Advanced Composition Explorer" (ACE)'e ulaştığında yapılabilir. Bu uydunun görevi, plazma bulutunun bileşimini belirlemek. SEC yöneticisi Ernie Hildner'e göre, Güneş parlamalarıyla ilgili olarak bir gün öncesinden tutarlı tahminler yapabiliyoruz; hatta dalganın yolu üzerindeki ölçümlere

dayanarak dalga dünyaya erişmeden bir saat önce bile %90 isabetli tahminlerde de bulunabiliyoruz. "Ancak Güneş fırtınalarını birkaç gün öncesinden tahminde zorlanıyoruz".

Erken uyarı yeteneğinde "muazzam ilerlemeler" yolda. Ama gene Hildner'e göre, gelişmelerin bu yılki maksimumu yakalaması olanaksız. NASA, Dünya'yı etkileyebilecek Güneş fırtınalarını izlemek üzere yeni araştırma uyduları fırlatmayı planlıyor. NOAA ve ABD Hava Kuvvetleri de meteoroloji uydularına, erken uyarı için gerekli bilgileri toplayacak yeni aygıtlar yerleştirecekler. Elde edilen bilgiler, 1995 yılında NASA, NSF, NOAA ile Savunma, Enerji ve İçişleri Bakanlıklarının, on yıl içinde güvenilir "uzay meteorolojisi" tahminleri yapabilmek için ortaklaşa başlattıkları Ulusal Uzay Meteorolojisi Programı'na yükleniyor. 1997 yılında ilgili kuruluşlar, Güneş'te fırtına oluşumlarını önceden haber verecek ve bunların uydularla, elektrik dağıtım şebekeleri üzerindeki etkileri konusunda tahminlerde bulunmak üzere tek ve kapsamlı bir bilgisayar modeli geliştirmek için Kurumlararası Eşgüdümlü Modelleme Merkezi oluşturmaya başladılar. Merkez, NASA'nın Goddard Uzay Uçuş Merkezi'nce yönetiliyor. Yetkililer, model tamamlandığında Ulusal Meteoroloji Servisinin, Dünya'daki hava koşullarıyla ilgili tahminlerine benzer tahminlerin uzay için de yapılabileceğini umuyorlar.

Uzaydaki meteorolojik koşulları, temel olarak Güneş'te meydana gelen üç olay belirliyor. İçlerinde etkileri en hafif olanı, taç lekeleri. Bunlar, Güneş'in üst atmosferinde, ya da alıştığımız adıyla "korona" (taç) katmanında, şiddetli morötesi ya da X-ışınlarıyla gözlemlendiğinde çevrelerine göre daha karanlık görünen bölgeler. Bunlar, Güneş'in yerel manyetik alanının, yüzeyi doğrudan uzay boşluğuna bağladığı bölgeler. Bu delikler sayesinde Güneş rüzgârını oluşturan yüklü parçacıklar, başka bölgelerdeki gibi bükülmüş manyetik alan çizgilerince yavaşlatılmadan, bir itfaiye hortumundan çıkar gibi uzaya fıskırabiliyor. Güneş döndükçe, bu delikler de kendisiyle birlikte döndüğünden, arada sırada bunlardan fıskıran plazma (iyonlaşmış gaz) gezegenimizin yörüngesini tarıyor.



Dünya'nın manyetosferi, yani manyetik alanı içinde hapsolmuş elektrik yüklü parçacıklarla dolu bölge, plazma fıskırmasının darbesiyle önce büzülüyor, plazma geçip gidince yeniden genişliyor. Bu büzülme ve genişlemelerse yeryüzünde elektromanyetik karmaşıklıklara yol açıyor.

Gezegeneimizi etkileyen ikinci olgu, Güneş parlamaları. Bunlar, Dünya'nın üst atmosferini, Güneş'in sakin dönemlerinde yayımladığından 1000 kat daha şiddetli olabilen enerjik parçacıklar, X-ışınları ve şiddetli morötesi ışınım bombardımanına tutuyorlar. X-ışınları ve morötesi ışık Dünya atmosferinin üst kesimlerinde elektronları atom çekirdekleri çevresindeki yörüngelerinden koparıyor. Serbest kalan düşük enerjili elektronlar da uzay araçlarının dış kaplamaları üzerinde birikecek, "tıpkı halı üzerinde çorapla yürünmesine benzeyen" bir etki yapıyor. Biriken statik elektrik boşalınca uydunun elektronik devrelerine zarar verebiliyor.



**Ara çözüm: NASA'nın 10 Ocak'ta Antarktika üzerinde bir balonla üst atmosfere gönderdiği Flare Genesis teleskopu Güneş yüzeyini, yer teleskoplarının 50 katı çözünürlükle izleyecek.**

Yüksek enerjili protonlar ya da daha ağır çekirdeklerse, atmosfere X-ışınlarından 20 dakika ya da birkaç saat daha geç ulaşıyor ve yanlarında daha büyük sorunlar getiriyorlar. Bunların enerjileri, Güneş rüzgârının olağan iyonlarından bir milyon kat yüksek olabiliyor. Gerçi Dünya'nın manyetik alanı bunların çok büyük bir bölümünü yollarından saptırarak gezegenimize ulaşmasını engelliyor; ama gene de küçük bir bölüm, bu manyetik kalkanı delip manyetosfere girebiliyor. Bu da uydular ve yeterli radyasyon kalkanlarıyla korunmamış astronotlar için ciddi bir tehlike demek. Zwickl'a göre "en büyük parlamalarda, enerjik parçacıkların sayısı, normal düzeyinin 10 milyon katına kadar çıkabiliyor; bu da insan olsun, ya da makine, o sırada uzayda bulunan her şey için bir radyasyon tehdidi anlamına geliyor."

Uzay meteorolojisindeki en olumsuz koşullarıysa, Taçtan Kütle Atımı (Coronal Mass Ejection-CME) denen üçüncü olgu yaratıyor. CME'lerin çoğu Güneş parlamalarıyla ilgiliyse de, bu her zaman böyle değil. Bir CME'yi, Güneş'ten fırlayan ve on milyonlarca ton gazın yanı sıra Güneş'in manyetik alanının bir bölümünü taşıyan bir balon olarak düşünebilirsiniz. Bunlar uzaya fırladıklarında hızla genişliyor. Hildner, "elimizdeki bilgiler, bunların manyetik olaylardan kaynaklandığını gösteriyor diyor." Aynı uzmana göre "Güneş, manyetik alanla dolmuş atmosferinin bir bölümünü uzaya fırlatarak fazla enerjisinden kurtulmak istiyor."

Genişleyen, manyetize olmuş bir CME balonu, Güneş'ten fırladıktan birkaç gün sonra Dünya'nın manyetosferine çarptığında, Zwickl'a göre "kızcıca kıyamet kopuyor". Araştırmacılar, uydularda bulunan manyetometre ve ışınımölçerler sayesinde olup bitenle-

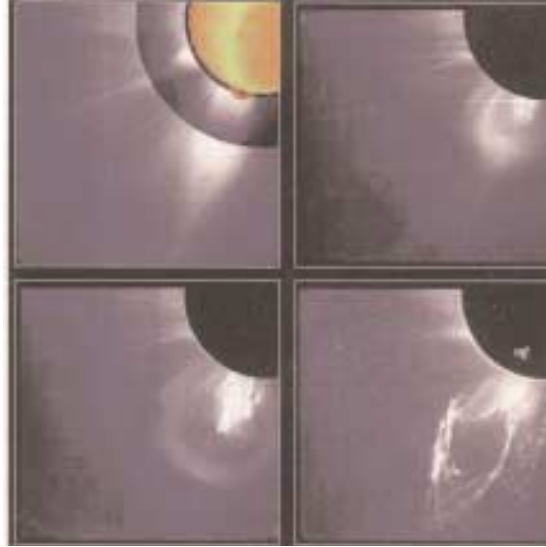
rin bir resmini oluşturabilmişler. Balonun manyetik alanının, Dünya'nınki-ne göre aldığı yöne bağlı olarak çarpışma, Dünya'nın manyetik alanını büyük ölçüde çarpıtıyor. Hareketli bir manyetik alan da bir elektrik akımına yol açtığından, kırbaç gibi inip kalkan alan çizgileri, iyonosfer denen, Dünya üst atmosferinin iyonlaşmış bölgesinde bir akım oluşturuyor. Bunun sonucunda iyonosfer ısınıp genişliyor ve alçak yörüngelerdeki uydular üzerindeki sürtünmeyi artırıyor. Balonun çarpmasıyla geriye itilen manyetik alan, ayrıca iyonosferdeki elektronları da hızlandırarak bunları, uydulara derinlemesine girip onları kalıcı olarak felce uğratan "katil" elektronlara dönüştürebiliyor.

Geriye itilen manyetik alanın Dünya yüzeyindeki etkisi, enerji iletim hatlarındaki akım yükselmeleri biçiminde ortaya çıkıyor. Fırtınadaki manyetik alan ne kadar büyükse, iletim hatlarındaki dalgalanmaların hızı da o ölçüde artıyor. Ve iletim hatlarının uzunluğu arttıkça da endüksiyon akımının (manyetik alandaki değişimlerin yarattığı akım) şiddeti de artıyor. Bu akım, elektrik dağıtım şebekesindeki alternatif akımın dengesini bozabiliyor ve sonuçta voltaj düzenleyicileri kapanıyor, devre kesiciler etkisiz kalıyor ve tüm sistem, 11 yıl önce Quebec'te olduğu gibi çöküyor.

NOAA, Apollo Ay seferlerinin sürdüğü yıllarda ilk kez uzay meteorolojisiyle ilgilenmeye başladığında araştırmacılar, "Güneş lifleri"ni izleyerek bu üç olguyu önceden kestirebilmeye çalışıyorlardı. Güneş lifleri, yıldızın diskinden yükselen ipelik görünümünde parlak gaz sütunları. Bu lifler zaman zaman Güneş yüzeyinden koparak atmosferinin üst katmanlarında kayboluyor. Bunun, Güneş'in manyetik alanının yapısında bir değişikliğe işaret ettiği sanılıyor. Bu olay, bazen bir CME ile çıkıyor. SEC'in baş uzmanı Joe Kunches, eski günleri anlatırken, "ne zaman bir lif ortadan kaybolursa, NOAA uzay hava tahmincileri Güneş'in bir CME yayımladığı sonucuna varırlardı" diyor. Aynı uzmana göre yapılan iş "boş atıp dolu tutmaya çalışmak"tan başka bir şey değildi.

Bugünse SEC, özel Web sitesi ([www.sec.noaa.gov](http://www.sec.noaa.gov)) aracılığıyla, uzay

meteorolojisiyle ilgili olası gelişmeleri bir hafta öncesinden bildiriyor. Ayrıca bir gün önceden somut tahminlerde bulunuyor. Dahası, başlamış ya da başlamak üzere olan Güneş fırtınaları konusunda anında uyarılarda bulunuyor. Bu bültenlere temel oluşturan bilgilerse, meteoroloji uydularından, yeryüzünde bulunan aygıtlardan ve özellikle de çok önemli iki uzay aracından, 1995 sonlarında fırlatılan Güneş ve Heliosfer Gözlemevi (SOHO) ile, iki yıl sonra fırlatılan ACE uydusundan sağlanıyor. Gerçi bunlar uzay meteorolojisi için tasarlanmış değil; ama her ikisinde de şimdi bu iş için kullanılan aygıtlar var. Gene Dünya'dan Güneş yönünde 1.5 milyon km uzaklıkta bulunan SOHO'nun tahmin gücü, büyük ölçüde "Geniş Açılı



1980'de gözlemlenen bir CME

Spektrometrik Koronagraf" (LASCO) adlı bir teleskoptan geliyor. Teleskop, küçük bir opak diskle yapay bir güneş tutulması oluşturuyor ve bu sayede Güneş'in çok daha sönük olan taç tabakasını inceleyebiliyor. Deniz Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı Güneş fizikçisi Simon Plunkett, LASCO'yla bakıldığında CME'lerin, taç tabakasından ayrılan parlak balonlar biçiminde görüldüğünü söylüyor. Eğer bir CME doğrudan Dünya yönünde ya da tam ters yönde yayılmışsa, genişleyen beyaz bir halka biçiminde görünüyor. Buna "haleli CME" deniyor. Ancak sorun, LASCO'nun tek başına CME'nin Dünya yönünde mi, yoksa ters yönde mi hareket ettiğini belirleyememesi.

İlerleme yönünü saptayabilmek için SOHO araştırmacıları Şiddetli Morötesi Görüntüleme Teleskopu adlı ikinci bir araçtan yararlanıyorlar. Bu araç, Güneş'i morötesi dalga boylarında izleyerek bizim yönümüzde ilerleyen bir CME'nin "ayak izlerini" saptamaya çalışıyor. Örneğin, morötesi ışınının yoğunluğundaki bir azalma, taç tabakasından sıcak bir kütle koparak dışarıya doğru harekete geçtiği anlamına geliyor. Eğer sönükleşme, Güneş'in merkezi yakınlarında görülüyorsa, bu kütle Dünya yönünde ilerlediğine işaret. Plunkett, "Bu yolla, Dünya'ya çarpması olası bir CME konusunda oldukça güvenilir bir saptama yapabiliyoruz; uydunun Güneş diskini ve dış atmosferini görüntüleme yeteneklerini birleştirerek CME'nin nereden geldiğini ve dış doğru yönelirken izlediği yolu belirleyebiliyoruz" diyor.

Hildner, hale CME'si biçimindeki kütle atımının, gezegenimize ulaştığında Dünya'nın manyetik alanını bir biçimde etkilediğini belirtiyor. Ancak şiddetli bir uzay fırtınasını önceden haber verebilmek için, yaklaşan bulutun manyetik alanının, Dünya'nın manyetik alanıyla ters yönde olup olmadığını belirlemek gerekiyor. Çünkü manyetik alanlar ancak ters yönde oldukları zaman birleşebiliyorlar. SOHO uydusuysa, manyetik alanın doğrultusunu saptayamıyor. Bu iş, Dünya'ya SOHO'dan bir saat daha yakın olan ACE uydusuna düşüyor. Bu uyduda, CME'nin Dünya'ya çarpıp çarpmayacağı ve çarpmanın şiddeti hakkında uyarıda bulunuyor. ACE ayrıca, geçen bulutun yoğunluğunu, içeriğini ve hızını da belirliyor. NASA'nın Jet İtke Laboratuvarı Direktörü ve ACE Proje Yöneticisi Ed Stone, "Sanki Dünya'nın 1,5 milyon km ötesinde oturuyor gibiyiz; buradan da muazzam bir basınç dalgasının gezegenimize yaklaştığı konusunda gerekli uyarıyı zamanında yapabiliriz" diyor.

Uzay meteorolojisi tahminlerinin güvenilirliğini arttırmak için araştırmacılar Güneş'i daha yakından inceliyorlar. Bu yolla, CME'lerin yayımlanmak üzere olduğu konusunda tahminler yapabilmeyi, ayrıca bunların büyük ve hızlı mı, yoksa fazlaca etkisi olmayan küçük ve yavaş oluşumlar mı oldukları

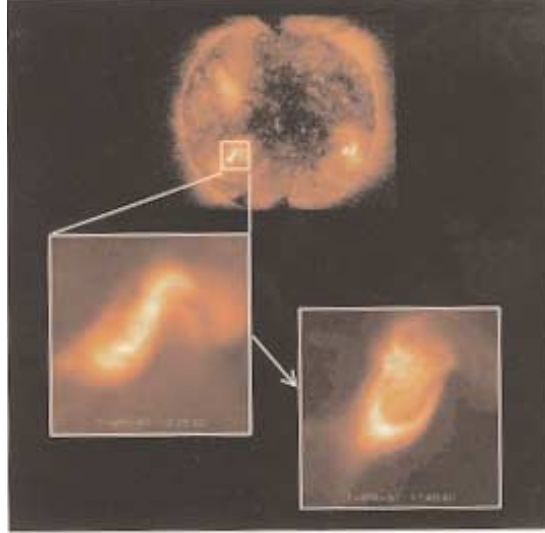
nı kestirebilmeyi umuyorlar. Bunu anlayabilmenin bir yolu, Güneş yüzeyindeki güçlü manyetik alanları incelemek. Hildner, "eğer çok güçlü ve birbirlerine çok yakın ters yönlü manyetik alanlar varsa, bunların birbirlerini yok etmesi ve büyük yıkıcılıkta bir enerji boşalımı için potansiyel var demektir" diyor. Araştırmacılar, manyetograf denen bir aygıt yardımıyla alanların güç ve konumlarını izleyebiliyorlar. Bu aygıt, Güneş ışığının manyetik alan nedeniyle polarizasyonunu ölçüyor. Eğer alan yeterince güçlüyse ve yeterince bükülmüşse, çok geçmeden çözüleceğini ve bu süreç sırasında da bir CME yayımlayacağını bilebilirsiniz.

1998 yılında biri Montana Devlet Üniversitesi Güneş fizikçilerinden Dick Canfield, öteki de NASA'nın Marshall Uzay Uçuş Merkezi'nden Ron Moore yönetimindeki iki ayrı grup, daha güvenli CME uyarıları için Güneş manyetik alanını incelemenin yeni yöntemlerini açıkladılar. Canfield'in ekibi, Japonların 1991 yılında fırlattığı Yohkoh uydusundan sağlanan X-ışını verilerinden yararlandı. Taç katmanında yoğun manyetik alanlara sahip bölgeler çevrelerine oranla daha sıcak plazmayla dolu olduklarından, daha çok X-ışını yayıyorlar. Bu etki de hem manyetik alanın şiddetini, hem de doğrultusunu ortaya koyuyor. Canfield ve ekip arkadaşları, kıvrık yapılarıyla sarılmış durumda ve patlamaya hazır görünen "S" biçimli manyetik alanlar üzerinde duruyorlar. Araştırmacılar, bunların CME'ye dönüşme olasılıklarının, belirgin bir biçimi olmayan sıcak noktalara oranla iki, üç kat daha fazla olduğunu saptamışlar. Moore ise bu sürecin zorunlu olarak böyle işleyeceği konusunda bir garanti olmadığı vurguluyor. Moore ve ekibi, Güneş manyetik alanının hem şiddetini hem de üç boyutlu olarak yönünü ölçebilen bir manyetograf kullandıklarında benzer bir etki saptamışlar.

Daha doyurucu veriler sağlamak için NOAA, ileride fırlatılacak bir meteoroloji uydusuna bir X-ışını kamerası yerleştirmeyi planlıyor. Zwickl, "şimdilik Yohkoh uydusundan günde birkaç X-ışını görüntüsü alabiliyoruz; oysa yeni X-ışını aygıtlarıyla günde 24 saat,

her birkaç dakikada, bir görüntü alabileceğiz" diyor. "Böylelikle ilk kez taç katmanını sürekli olarak X-ışını dalga boyunda gözleyebileceğiz; bu da 'hava' tahmincilerine bir parlamanın yerini tam olarak görme, aktif bölgelerde bir hareketlenmenin başladığını izleme ve taç katmanında ortaya çıkan değişimleri görme olanağı sağlayacak".

Bir CME yayımlanır yayınlanmaz "Stereo" adıyla tasarlanan bir çift yeni uydu tarafından izlenmeye alınacak. Bunlardan biri, Güneş çevresinde dönüşü sırasında Dünya'nın önünden, ötekiyse ardından gidecek. Aynı aygıtlarla donatılmış iki araç bir arada, Dünya-Güneş ortamını stereoskopik olarak inceleyecek. Boston Üniversitesi uzay fizikçisi George Siscoe, "ideal olarak gaz bulutlarının Dünya'ya doğru geliş-



**Güneşin manyetik alanındaki "S" biçimli yapılar CME oluşumunu haber verebilir. Yohkoh uydusunun sağladığı görüntüler, manyetik bir "S"yi CME yayımından önce ve sonra gösteriyor.**

lerini izleyebilecek, hızlarını ölçebilecek ve gerek duyduğumuz her türlü bilgiyi elde edebileceğiz" diyor.

Bir CME'nin Dünya'ya doğru yola çıktığını ve bulutun büyüklüğünü belirledikten sonra meteoroloji tahmincilerinin yapacağı şey, bu bilgileri gezegenimizin manyetosferi ve ionosferiyle ilgili bilgisayar modellerine aktarmak ve yeryüzü ile yakınlarında ortaya çıkacak etkiler konusunda somut tahminler oluşturmak. Ancak bu, olağanüstü karmaşık ve zorlu bir iş. Nedeni de gerek manyetosferin, gerekse de ionosferin aynı derecede karmaşık bir yapıda olmaları. Colorado Üniversitesi

atmosfer ve uzay araştırmacılarından Dan Baker, durumu şöyle betimliyor: "çok soğuk ve manyetik alanların yoğun olarak bulunduğu ionosferden, Güneş rüzgârını karşılayan manyetosferin üst katlarına kadar ulaşan bu bölgede son derece değişik koşullar var; örneğin büyük bir uzay parçasının farklı bölgelerini dolduran gazlar ve bu bölgelerdeki manyetik alanlar için son derece değişik nitelikler".

Bazı modeller, bu karmaşık öğeleri dikkate almaksızın, yalnızca geçmişte aynı koşullarda neler olduğuna bakarak bir Güneş fırtınasının Dünya'daki etkileri konusunda uyarılarda bulunmak üzere tasarlanmış. Bazılarıysa uzaydaki meteorolojik gelişmeleri, başlangıç koşullarından yola çıkarak modelliyor. Bunlar, Güneş rüzgârı ve manyetosferi, birbirleriyle karşılıklı etkileşim içinde bulunan, manyetize olmuş akışkanlar biçiminde değerlendiriyorlar. Her iki yaklaşımın da sakıncaları yok değil. Şöyle ki; bazı fırtınalar için, tahminlere yardımcı olacak geçmiş örnekler bulunmuyor. Öte yandan uzay meteorolojisinin karmaşık fiziği de, başlangıç koşullarıyla model oluşturma çabalarına sekte vuruyor. Kurumlararası Eşgüdümlü Modelleme Merkezi'nin amacı, halen geliştirilmekte olan türlü modelleri birleştirerek, yeryüzündeki hava tahmin modellerinin tutarlılığında tek bir model oluşturmak. Merkezin yöneticisi Michael Hesse, birleştirmenin başarılacağı konusunda güvenli.

Ancak aynı yetkiliye göre, etkilenecek bölgeleri kesin olarak belirleyen ve şiddet konusunda kesin öngörülerde bulunabilecek tahminler "şimdilik çok, çok, çok uzak".

Baker'a göre, böyle bir model geliştirilip uygulanmaya kalsa bile, tahminlerinin tutarlılığıyla ilgili önemli bir boşluk olacak. Yeryüzü meteorolojisinde olduğu gibi, önceden tahmini en zor olanlar, az sayıda meydana gelen en şiddetli olaylar. Oysa en ağır sonuçları doğuranlar da bunlar. Demek oluyor ki, geçen ekim ayında büyük sel baskınlarına yol açan Floyd kasırgasının uzaydaki benzeri bizi apansız yakalayacak.

Taubes, G., "Forecasting the Storms and Showers of Space", *Science*, 24 Aralık 1999