

GÜNEŞ NEREYE?

Mevlânâ BAŞAL

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Astronomi ve Uzay Bilimleri Bölümü, 34119 Üniversite, İstanbul.
mbasal@istanbul.edu.tr*

Özet: ABD Ulusal Araştırma Konseyi'nin 1998 yılı değerlendirme raporunda; "Güneş fiziği devletlerin olağan bilim programlarının önemli bir parçası ve fizik ve astrofizik bakımdan temel önemi haiz bir araştırma alanıdır" ifadeleri geçer. Konunun önemini daha iyi vurgulayabilmek için buna eklenecek pek bir şey yok. Ancak, bu güzel özeti "ütopik bir temenni" anlamından kurtarıp "gerçekçi bir tespit" haline getirmek üzere, "Hangi devletlerin?" diye sormakta da fayda var. Gerçekten, yersel gözlem imkânlarının iyileştirilmesinden başka, uzaydan gözlem boyutu da giderek kaçınılmaz olan Güneş çalışmalarına verilecek önem, bilimsel bilincin yanı sıra, ülkelerin ekonomik güçleriyle de doğrudan alakalıdır. Bununla beraber Güneş, yalnızca ayrıcalıklı bilimsel konumundan ötürü değil, aynı zamanda, hem sınırsız ve sorunsuz bir enerji kaynağı olması itibarıyla, hem de yakın uzay havasını belirleyen ve atmosferimizi etkileyen dinamizmi ve değişkenliğiyle kimi faaliyetlerimiz için risk teşkil etmesi bakımından, bizim için hayati öneme sahiptir. Dolayısıyla, en azından bu yönleriyle, çıkarlarımız gereği olan sıra dışı bir ilgiyi hak etmektedir. Ülkemizde bu önemin gözetilmediği ve gerekli ilginin gösterilmediği maalesef çok açıktır. Bunun için esasen, salt bilimsel kaygılarla hareket eden, kurumlarına misyon ve vizyon biçebilen, bu suretle makul hedefler koyabilen ve bu hedefler doğrultusunda objektif yönetim sergileyebilen ehliyetli yöneticilere ihtiyaç vardır. İstanbul Üniversitesi Gözlemevi, bu sempozyumun bir örneği olduğu son dönem yatırımlarıyla, yegâne gözlemsel faaliyet alanı olan Güneş konusunda kayda değer bir atılım içerisindedir.

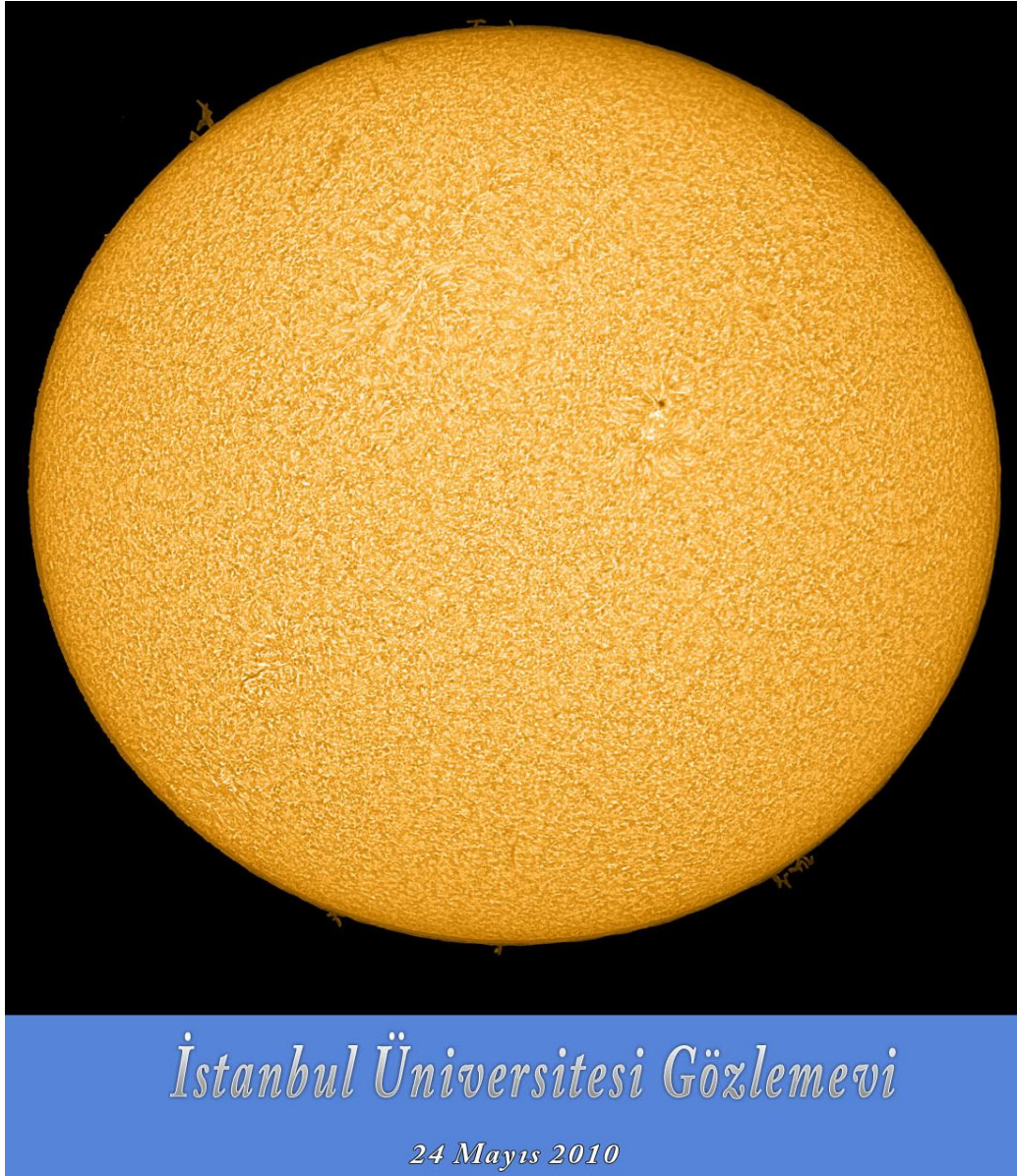
1. Giriş

11 yıllık çevrim boyunca yaklaşık %0,1'lik dalgalanmalar sergileyen Güneş aktivitesi, bundan başka, hemen her zaman magnetik karakterli olan birçok tezahürle, yıllardan asırlara varan çok farklı zaman ölçeklerinde değişmektedir. Bu değişimlerin takibi ve ilgili temel problemlerin çözümü, çok yüksek uzaysal ve zamansal çözünürlüğe sahip uzun dönemli gözlemsel birikimler gerektirmektedir. Uzay bazlı gözlemlerin önemi açık olmakla birlikte, bu derece kapsamlı birikimler, ancak yer temelli uzun gözlem programlarıyla sağlanabilir. Hızlı ve kolay onarım, yer değişimi ve ayarlama imkânı tanıyan bu programlar, hem çok hızlı seyredilen gelişmelere kolayca cevap verebilmekte, hem de uzay bazlı olan eşdeğerlerinden çok daha ucuza malolmaktadırlar. Magnetik Güneş çevriminin, milyon derecelik koronal sıcaklıkların, Güneş magnetik alanlarının fibril durumunun ve yüzey basınç dalgalarının (p-modları) keşfi hep yer temelli gözlemlerle mümkün olmuştur. Dolayısıyla yer temelli geleneksel Güneş araştırmalarından uzaklaşma eğilimi doğru olmayıp, tersine, pek çok avantajı ve özellikle sürekliliği itibarıyla problemlerin çözümünde büyük önemi olan bu çalışmalar desteklenmelidir. Bununla beraber, uzaydan yapılan gözlemlerin Yer'den ulaşılamayacak olan yeni bir dünyaya kapı açtıkları da unutulmamalıdır.

İstanbul Üniversitesi Gözlemevi ekibi olarak giderek daha önemli bir parçası olmaya çalıştığımız yer temelli gözlem ve araştırmaların başlıca hedefleri şunlar olabilir:

- a) Zengin bir çeşitlilikle uzun dönemli Güneş aktivite kayıtları elde etmek,
- b) Süreklilik arz eden helyosismolojik gözlemler vasıtasıyla yüzeyaltı akıntıları ve dahili magnetik alanları takip etmek suretiyle Güneş'in iç yapısını ve magnetik alanların oluşumunu çalışmak, ve,

Nihayet, çeşitli yapı ve olaylarla çok bileşenli olarak kendini gösteren Güneş aktivitesi, hem uzay programları hem de yer-temelli programlar ile etkin bir şekilde takip edilmektedir. Böyle



Fotoğraf 2. İstanbul Üniversitesi Gözlemevi H α kromosfer gözlemi örneği.

olmakla beraber, bu olayların yapı ve işleyişlerinin izahı, yaklaşık olarak 75km veya daha küçük bir ölçeklerde kendini gösteren temel magnetik enerji bırakımı işlemlerinin tüm yönleriyle açıklanmasını gerektirmektedir. Görüntüleme alanındaki önemli gelişmelere rağmen maalesef bu konuda hala bağlayıcı teknik yetersizlikler vardır. Zira bu ölçekteki yapıların daha net bir izahı, ayırma gücü 0",1'nin altında olan çok detaylı gözlemler gerektirmektedir. Oysa mevcut teleskoplar, en iyi durumda dahi, ancak 0",3 ila 0",1 çözünürlük sağlayabilmektedirler...

2. Neden Güneş?

Yapısıyla, evrimiyle, enerjisiyle, kaynaklık ettiği olaylar ve bunların değişimiyle Güneş'i anlamak için çok sebebimiz var. Başlıca;

i. İçyapısı, yüzeyi ve dış atmosferi ayrıntısıyla araştırılabilen yegâne yıldız olduğu, bu sayede Evren'in kalanını anlamayı kolaylaştırdığı için (Gerçekten, eğer o olmasaydı; yıldız lekeleri, diferansiyel rotasyon, akı tüpleri, parlamalar, koronal kütle atımları, yıldız rüzgârları, sıcaklığın tabiatı, yoğun X-ışın koronal loopları, yıldız parlaklığının kısa ve uzun dönemli değişimleri ve daha pek çok şey, öncelikle Güneş'te keşfedilemeyeceği ve diğer yıldızlarda gözlenen benzer işaretler bu olay ve oluşumlara izafe edilemeyeceği için, yıldız astrofiziği şimdikinden çok daha fakir kalırdı),

ii. Güneş'ten radyasyon ve parçacık yayılımı, ve bunların zamanla değişimi, Arz'ın atmosferinde, ikliminde, ve yakın uzay çevresinde kayda değer bir etkiye sahip olduğu için,

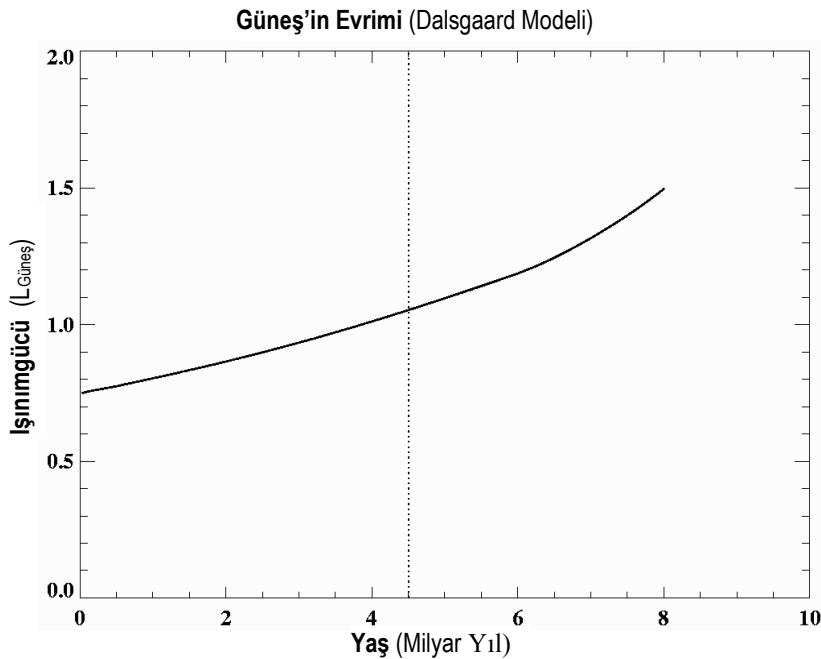
iii. En önemlisi; hayat kaynağımız olduğu ve “temiz” enerjisinden çok daha fazla faydalanabileceğimiz için,

velhasıl “hem yaşantımız bakımından hem de fizik ve astrofizik bakımdan temel önemi haiz bir araştırma alanı” olduğu için, onu öncelikle ve çok iyi anlamaya çalışmalıyız.

2.1. Dünü, Bugünü, Yarını, İklim İlişkisi

Güneş'in temel önemi antik uygarlıklardan bu yana değişmedi; o hala tüm dünya canlılığı için ısı ve ışık kaynağı, varlık sebebi. Çok önemli bir fark şu ki, bir zamanlar ona duyulan korkulu mistik saygının yerini, yapısal özelliklerine, geçmişte nasıl olduğuna ve gelecekte nasıl olacağına, niçin ve nasıl değiştiğine ve özellikle bu değişimlerin gezegenimizi nasıl etkilediğine dair şiddetli bir bilimsel merak aldı. Bu kuvvetli merak ve onu gidermek üzere sergilediğimiz bilimsel araştırma kabiliyetimiz sayesinde, günümüzde onun geçmişi, bugünü, ve hatta geleceği hakkında çok daha fazlasını biliyor, çok daha güvenilir tahminlerde bulunabiliyoruz.

Nitekim Güneş, henüz Arz'ın katılmamış olduğu uzak geçmişte bugünkünden çok daha sönüktü, veyarın da farklı olacak. Dalsgaard'ın iç yapı ve sıcaklığa dayalı olarak zamana karşı ışınım gücünü sergilediği evrim modeli, bu gelişimi ve gelecekte bekleneni bize gösterecek bilimsel çalışmalardan biri (Christensen-Dalsgaard ve ark.,1996).



Şekil 1. Dalsgaard'ın Güneş içyapı sıcaklık modeli.

%0,1'lik Dalgalanma

Şekil 1'deki modelde görüldüğü üzere, Güneş, ışınımının niceliğinin ve niteliğinin milyar yıllık bir zaman ölçeğinde evrimsel olarak değişmesinden başka, ortalama 11 yıllık aktivite çevrimi misali, çok daha kısa dönemli değişimler de göstermekte. Bunun sıra dışı son numaralanmış örneği 23. çevrim: Bu çevrim süresince toplam yayınımlı, leke maksimumunda daha fazla olmak üzere, yaklaşık %0,1 oranında değişti. Bu değişimlerin Arz'ın iklimini de etkilediği bilinmektedir. Ancak bunun hangi yollarla olduğu henüz yeterince anlaşılammıştır...

Atıl Enerji

Güneş muazzam bir enerji kaynağıdır; üç günde yaymış olduğu enerji, dünyadaki tüm fosil yakıtların yakılmasına (petrol, ağaç, doğalgaz, vb.) eşdeğerdir. Bulduğumuz mesafede, izotropik olarak uzaya yayılan bu enerjinin yalnızca yaklaşık *iki milyonda biri* yeryüzüne ulaşmaktadır. Güneş'in tüm yüzeyinden tüm dalgaboylarında bir saniyede yayınladığı enerjinin (ışınım gücü: L_s) yaklaşık 4×10^{33} erg/s olduğu dikkate alındığında, uzayda yalnızca bir huzmesiyle süpürülürcesine muhatap olabildiğimiz enerjisinin 2×10^{27} erg/s civarında olduğu görülür. Dünyamıza ulaşan bu "temiz" enerjiyi yeterince ve gereğince değerlendiremediğimiz ve bu eşsiz "Soluk Mavi Nokta" 'yı fosil yakıtlarla geri dönüşsüz biçimde kirlettiğimiz ise, mutlaka görülmesi gereken bir başka gerçek...



Fotoğraf 3. "Soluk Mavi Nokta" 'nın 1990 yılında Sistem'in sınırlarında seyretmekte olan Voyager-1 tarafından yaklaşık 6 milyar km uzaklıktan çekilen fotoğrafı.

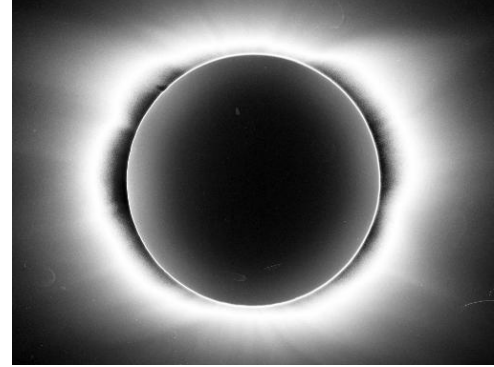
3. Uzay Havası

Güneş, 500km/s'yi aşkın ortalama hızlarla Arz'ı yalayarak saatte yaklaşık 2 milyon km kat etmek suretiyle uzaya akan gaz akışlarının da kaynağıdır. Arz'ın magnetik alanı Güneş rüzgârı dediğimiz bu akıntıların verdiği rahatsızlıkla çalkalanır ve farklı radyasyon kuşakları oluşacak Şekil 2'de yeterli basınç uygulayan bir kısım enerjiyi yönlendirerek içine alır.

Güneş rüzgârlarının kaynağı, sıcaklıkların kütle çekiminin hareketlenen gazı tutamayacağı kadar yüksek olduğu korona tabakasıdır. Böyle olmakla beraber, bu hareketlenmelerin nasıl

olduğu, bir başka deyişle koronayı milyon derecelik sıcaklıklara kadar ısıtan ve Güneş rüzgârını bu derece hızlandıran işlemlerin tabiatı tam olarak hâlâ anlaşılabilmiş değildir.

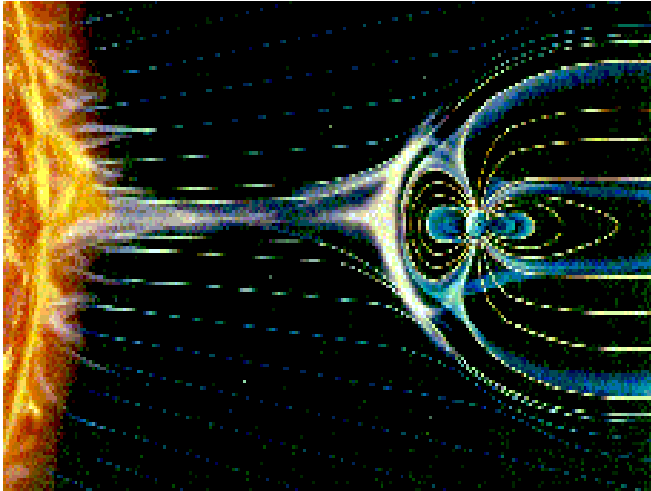
Fotoğraf 4. 29 Mart 2006 Tam Güneş Tutulması'nda İstanbul Üniversitesi Gözlemevi Güneş Grubu tarafından görüntülenen beyaz ışık koronası /Antalya-Manavgat-Ilıca.



Bunun Güneş'in çözüm bekleyen büyük problemlerden biri olan koronal ısıtma mekanizmaları ile alakalı olduğu düşünülmektedir.

Daha uzak, Daha Seyrel, Ama Daha Sıcak!

Gerçekten, Güneş'in görünür yüzeyi yalnızca ~6.000°C sıcaklığında iken, en dış atmosfer tabakası olan koronanın sıcaklığı 1 milyon derecenin üzerindedir. Oysa, genel olarak bilindiği gibi, sıcaklıklar ısı kaynağından uzaklıkla düşerler. Bu Güneş'in görünür yüzeyine kadar olan iç yapısı için de doğrudur. Fakat daha sonra sıcaklık, her nasılsa, özellikle kromosferden koronaya geçiş sınırı olan Geçiş Bölgesi boyunca, çok dar bir aralıkta, neredeyse dikine bir



Şekil 2. Güneş Rüzgârı'nın Magnetosfer ile etkileşimi: Arz'ın magnetik alanının süpürülmesi ve kısmi nüfuz sonucu radyasyon kuşaklarının oluşumu (http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/sunearth_sm.gif).

gidişatla on katı aşkın yükselerek aşırı değerlere ulaşabilmektedir. Benzer durum hemen üzerindeki korona için de söz konusudur.

Rüzgâra Yakalanmamak İçin Vakit Var

Güneş rüzgârı üniform değildir; hızı ve bileşimi değişmektedir: Tabanlarında genellikle Güneş lekeleri, filamentler gibi magnetik karakterli oluşumların bulunduğu kapalı magnetik alan hâkimiyetindeki miğferimsi akışlar üzerinde 300km/sn ile en düşük hızlarda, açık magnetik alanlı koronal delikler üzerinde ise 800km/sn ile en yüksek hızlarda yayınlanırlar. Bu aynı zamanda Dünya'ya ulaşmalarının günler mertebesinde zaman alacağı anlamındadır. Dolayısıyla, zamanında tespit edilebilmeleri halinde, riskli olabilecek rüzgârlar için tedbir mümkün görünmektedir.

Rüzgâr Tokatı

Farklı ekvator civarı (kutup dışı) bölgelerden farklı hızlarda yayınlanan Güneş rüzgârları, Güneş'in rotasyonu sonucu yüksek hızlı olanın düşük hızlı olanla aynı doğrultuya gelmesi suretiyle karşılaşabilir ve şiddetlenebilirler. Nihayet, bu yavaş ve hızlı rüzgârlar, etkileşerek veya ayrı ayrı, Güneş'in rotasyonu ile birlikte değişimli olarak Arz'ın magnetik alanını adeta “tokatlar” ve manyetosferinde fırtınalar meydana getirebilirler.

Parlamaların Rüzgâra Katkısı

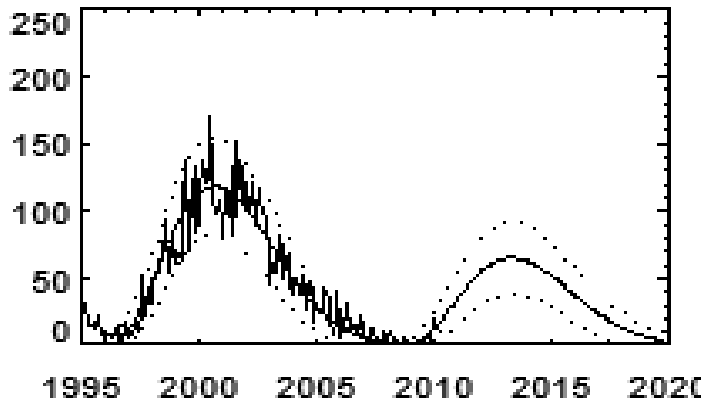
Güneş yüzeyi üzerindeki sıcak ve parlak bölgeler de sık sık şiddetli parlamalar üretirler. Bu parlamalar, yalnızca birkaç dakikalık zaman zarfında maddeyi birkaç milyon dereceye kadar ısıtarak muazzam enerji bırakımlarına sebep olmak suretiyle, Arz'ın üst atmosferini ısıtan ultraviyole ve X-ışınları gönderirler. Güneş lekeleri civarında ve genellikle zıt işaretli magnetik alanları ayıran nötral ara bölgeler boyunca meydana gelen parlamalar, elektromagnetik (Gamma ve X-ışınları), partiküler (protonlar ve elektronlar) ve kütle akışları olmak üzere, birkaç formda enerji yayınlayan yüksek enerjili olaylardır.

Güneş parlamalarını anlamının ve tahmin etmenin anahtarı lekeler civarındaki magnetik alanların yapısıdır. Bu yapıların burularak kopması sonrasında, magnetik alan çizgileri patlamalı bir enerji boşalımını takiben tekrar birleşmektedirler.

3.1. Uzay Havası Çevrim İlişkisi

Uydu yörüngeleri ve uzay görevlerinin planlanması ileriki yıllarda Güneş'in aktivite seyrinin nasıl olacağı bilgisini gerektirmektedir. Bu kapsamda uzay havası Güneş çevrimi ile de ilişkilendirilebilmekte, giderek daha güvenilir sonuçlar veren önemli çalışmalar yapılmaktadır (örn. Hathaway ve ark.,1994). Bu suretle çevrimin leke minimumu civarındaki ve hemen öncesindeki genliğini tahmine yönelik bir takım yöntemler geliştirilmiş; gelecek çevrimin maksimumunun büyüklüğü ile önceki çevrimin uzunluğu ve minimumdaki aktivite seviyesi ile önceki çevrimin genliği arasında karşılıklı ilişkiler bulunmuştur.

Şekil 3. Güneş leke sayılarından (Rölatif Sayılardan) itibaren 24. Çevrim gidişatının tahmini (Hathaway ve ark.,1994).



Leke minimumunda ve hemen öncesinde Arz'ın magnetik alanındaki değişiklik ölçümlerini kullananlar, en güvenilir tekniklerdendir. Arz'ın magnetik alanındaki bu değişimlere Güneş fırtınalarıyla sebep olduğu bilinmektedir. Fakat bunlarla gelecek Güneş aktivite seviyeleri arasındaki hassas bağlantılar hâlâ belirsizdir.

Arz'ın magnetik alanındaki değişimlere dayalı bu “geomagnetik haberci” tekniklerinden bazıları kalıcı da olmuştur. Ohl ve Ohl'unki bunlardan biridir (Ohl ve Ohl, 1979); yazarlar

minimumdaki geomagnetik *aa indeksi* değerinin takip eden maksimum süresince Güneş leke sayısı ile alakalı olduğunu bulmuşlardır. Bu tekniğin başlıca dezavantajı geomagnetik *aa* indeksindeki minimumun çoğu defa Güneş leke minimumundan birazcık daha sonra oluşması, bu suretle söz konusu tahminin çevrim başlangıcına kadar kullanılamamasıdır.

Kayda değer tekniklerin bir diğeri R. J. Thompson'unkidir (Thompson,1993). Yazar bir leke çevrimi boyunca geomagnetik alanın "çalkalandığı" gün sayısı ile gelecek leke maksimumunun genliği arasında bir ilişki bulmuştur. Metodu Güneş leke minimumundan yeterince önce gelecek leke maksimumunun büyüklüğüne dair bir tahmin yapabilme avantajına sahiptir.

Güneş aktivite seviyesinin bir başka göstergesi Güneş'in 10,7cm dalgaboylu (2,8GHz frekanslı) radyo emisyonu akısıdır. Bu akı 1947'den bu yana günlük olarak ölçülmektedir. Arz'ın üst atmosferini ve iyonosferini etkileyen Güneş'in morötesi yayınındaki değişimleri takibe yönelik olduğundan, Güneş aktivitesinin önemli bir göstergesidir. Çoğu üst atmosfer modeli, atmosferik yoğunlukları ve uydu sürüklenmesini tayin etmek için girdi olarak 10,7cm fluksunu (F10,7) kullanır. F10,7 seviyesinin Güneş leke sayısını oldukça yakından takip ettiği gösterilmiştir.

3.2. Uzay Havası Riskleri

Birleşik etkileriyle uzay havası oluşturan bu olaylar yakın Arz çevresini ciddi biçimde etkilemektedirler. Öyle ki;

- i. Bu etkilerle uyduların yörüngeleri dahi değişebilir ve görev ömürleri kısalabilir,
- ii. Aşırı radyasyon uydulara fiziksel hasarlar verebilir ve astronotlar için tehdit oluşturabilir,
- iii. Arz'ın magnetik alanında meydana gelen çalkalanmalar sonucu elektrik hatları bozucu akım dalgalanmalarına ve hatta şebeke çökmelerine uğrayabilirler.

Nihayet, pek çok faaliyetin uzay-temelli olarak yürütüldüğü günümüzde çeşitli yüksekliklerdeki Arz yörüngelerinde, bilimsel, yayım ve iletişim, ticari, askeri vb. amaçlı binlerce uydu dolanmakta ve bu uyduların sayısı giderek artmaktadır. Dolayısıyla şu çok açık bir gerçektir ki, uydulara giderek daha fazla bağımlı olacağımız gelecekte uzay havasının etkilerini daha fazla hissedecek, "*uzay havası tahmini*" ihtiyacını çok daha fazla duyacağız.

4. Bir Yıldız Olarak Önemi

Güneş olarak adlandırdığımız dikkati çekecek derecede aktif olan bu yıldız, aslında sıradan bir yıldızdır. Türleri içerisinde sıradan olsa da bizim için çok özel olan bu yıldızın karşılaştırılamayacak kadar yakından yapılabilen detaylı incelemeleri ortaya koymaktadırlar ki, aslında yıldızlar hiç te öyle hidrostatik modellerin öngördüğü gibi ideal, standart, küresel simetrik gök cisimleri değildirler. Güneş'in atmosferi, belirli bir ölçek aralığında yapılanmış değişen magnetik alanlarla bağlantılı olarak, yüksek derecede değişkendir. Yüzey magnetik alanları, magnetik enerjinin çok çeşitli ölçek ve şiddetler üzerinden patlamalı dağıtımına işaretler, anlaşılması zor bir etkileşimli iplikli yapılar hali (fibril durumu) sergilerler. Ne yazık ki çoğu kere, sayısız ölçek ve şiddetler üzerinden olan magnetik enerjinin bu patlayıcı dağıtımını, eldeki en iyi teleskopların dahi algılama ve ayırma eşliğinin altında kalmaktadır.

4.1. Astrofizik Laboratuvarı

Güneş'in, yüzey detaylarını gösterecek derecedeki yakınlığı sayesinde, Evren'in kalanını anlamamıza yardım eden çok önemli bir rolü vardır; o temel fiziksel ve astrofiziksel kavramları, akışkanlar mekaniğini, magnetohidrodinamik davranışları çalışmak ve anlamak bakımından eşiz bir anahtar, astrofiziksel bir laboratuvardır. Örneğin, eğer onda görmemiş olsaydık, lekelere ve sıcak dış atmosferlere sahip olan diğer yıldızları bu kadar kolay anlayamazdık. Yaşını, çapını, kütlelerini ve ışınım gücünü (parlaklığını) bildiğimiz, ayrıca içyapısı ve atmosferi hakkında detaylı bilgiler edinebildiğimiz bu yıldız sayesinde, diğer yıldızların benzer özelliklerini ve nasıl evrimleştiklerini anlayabilmekte, adeta "Güneş anahtarı" ile onları açabilmekteyiz. Ayrıca Evren'in başka bir yerinde oluşan birçok fiziksel işlemi de yıldızımız üzerinde ayrıntısıyla çalışabilmekte, Güneş astronomisi yardımıyla yalnızca yıldızlar değil, aynı zamanda gezegenli sistemler, galaksiler ve Evren'in kendisi hakkında da çok şey öğrenebilmekteyiz. Öte yandan, Güneş tipi yıldızların parlaklık ve magnetik aktivite gözlemleri, Güneş'in farklı evrim dönemlerinde geçirmiş olduğu veya geçirebileceği çeşitli etkinlik durumları için önemli bir ölçüdür. Nihayet bizim için ısı ve ışık kaynağı olan Güneş, radyasyon ve parçacık yayılımı ve bunların zamanla değişimi sebebiyle, Arz'ın atmosferinde, ikliminde ve yakın uzay çevresinde de önemli etkilere sahiptir.

Bütün bu nedenlerdir ki, Güneş fiziği devletlerin olağan bilim programlarının önemli bir parçası, fizik ve astrofizik bakımdan temel önemi haiz bir araştırma alanı haline gelmiştir.

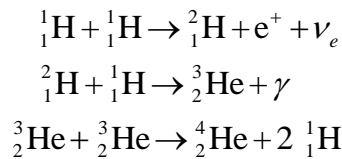
4.1.1. İçyapı

Güneş'in içyapısı günümüzde farklı etkinliklerle tanımlanan "dört" bölge halinde değerlendirilmektedir:

- i. Merkezden dışa çapın %25'ine yayılan *Kor*,
- ii. Kor'da üretilen enerjinin başlıca γ ve X-ışınlarında olmak üzere radyasyonla taşındığı *Radyatif Bölge*,
- iii. En dışta çapın %30'una yayılarak görünür yüzeye kadar uzanan maddenin karışım halinde olduğu *Konveksiyon Bölgesi*,
- iv. Ve heliosismoloji sayesinde son olarak keşfedilen; Radyatif Bölge ile Konveksiyon Bölgesi arasında yer alan, magnetik alan oluşumuna kaynaklık ettiği düşünülen ince arayüz tabakası *Tachocline* (bkz. Şekil 4).

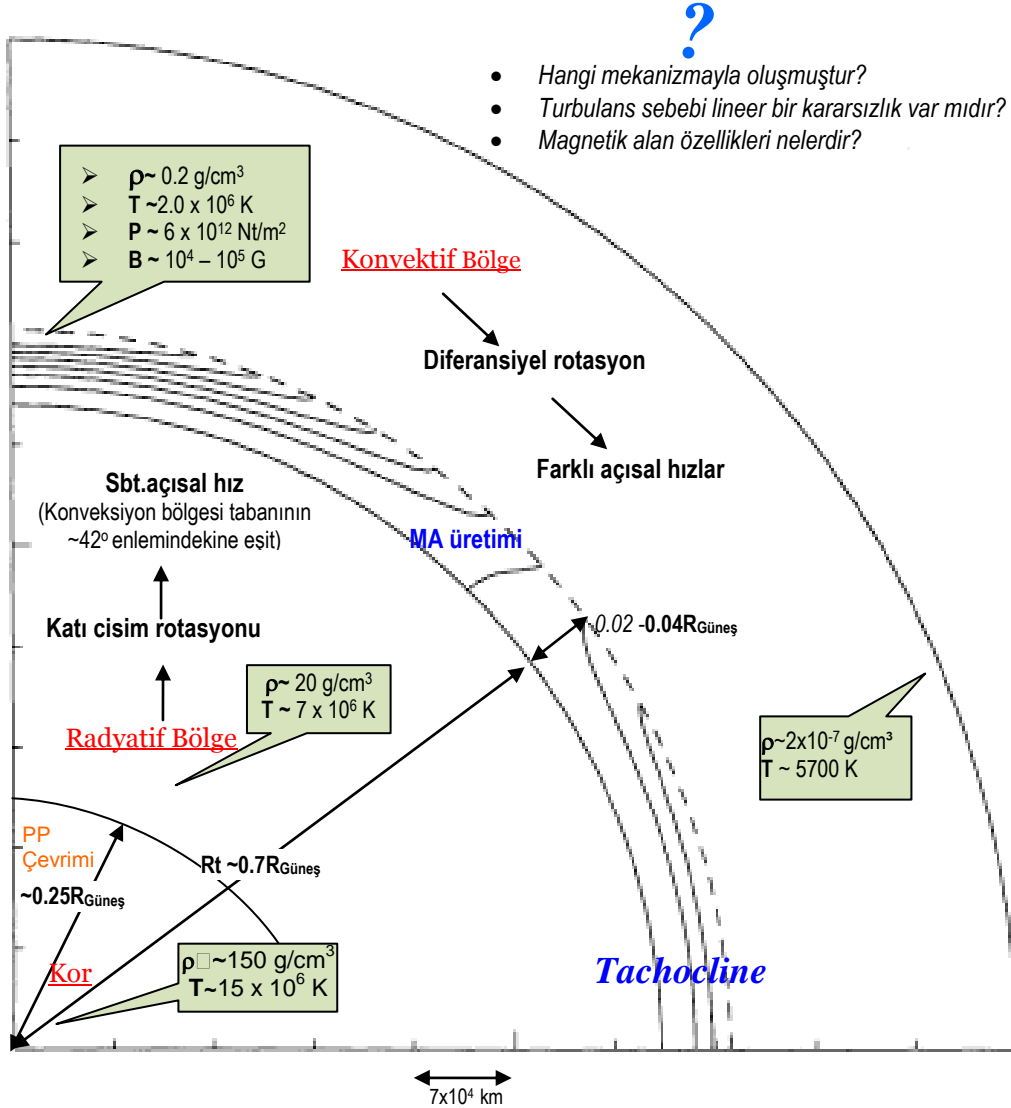
Füzyon Denemelerine Esin Kaynağı Kor

Enerjisini yüksek sıcaklık ve basınç altındaki korunda, üç adımlı bir nükleer füzyon reaksiyonları zinciriyle (*pp-zinciri*), Hidrojen çekirdeklerini (*protonları*) Helyum çekirdeklerine (*alfa parçacıklarına*) dönüştürmek suretiyle üreten yıldızımız, insanoğlunun aynı işlemi Dünya şartlarında kontrollü bir şekilde gerçekleştirebilmek için on yıllardır süren çabalarına da esin kaynağı. Yüksek magnetik alanlı aşırı sıcak plazma ortamı (bu sıcaklıklarda



üretilen iyon-elektron karışımı) gerektiren bu çalışmalar henüz kesin sonuç vermemiş olsa da, detayıyla anlaşılmaya çalışılan Güneş koru şartları tam bir sıcak füzyon laboratuvarı...

Magnetik Alanın Kaynağı bir Arayüz Dinamosu ve “Tachocline”

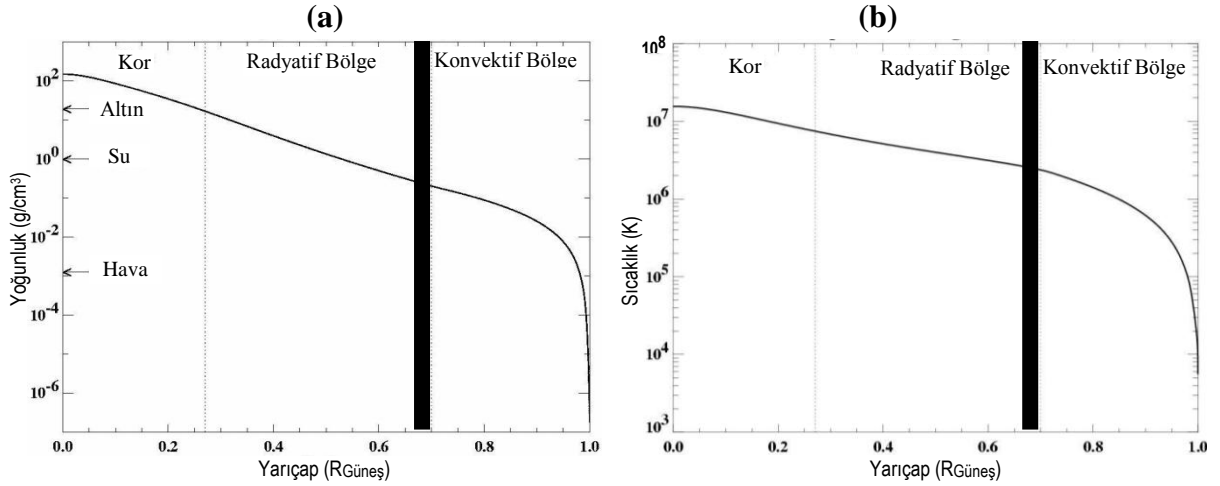


Şekil 4. Magnetik alanının kaynağı olduğu düşünülen arayüz tabakası; Tachocline.

Diferansiyel rotasyona sahip konvektif bölge ile kararlı (katı gibi) döndüğü kabul edilen radyatif bölge arasında bulunan şartların alt ve üst tabakalardan çok farklı olduğu bu ince geçiş bölgesi, Helyosismolojik çalışmalarla (basınç dalgalarının tespiti ve ölçümü yoluyla) belirlenmiştir. Yaygın kabul gören son helyosismolojik veriler Tachocline'in 0,7 yarıçap dolaylarında yer aldığını ve yaklaşık 0,04 yarıçap kalınlığında ($0,039R_{Güneş}$) olduğunu göstermektedir (Charbonneau ve ark., 1999). Bununla beraber bunu yarısı kadar ($0,019R_{Güneş}$) olan kalınlık ölçümleri de vardır (Elliott ve Gough, 1999).

Dalsgaard'ın yoğunluk (a) ve sıcaklık (b) modellerinin verildiği Şekil 5'te Tachocline'in yer aldığı arayüz tabakası, Charbonneau ve arkadaşlarının verdiği değeri karşılayacak şekilde, tarafımızdan kalınlaştırılmıştır.

Nihayet magnetik alanlar elektrik akımları tarafından üretilirler. Bu elektrik akımları Güneş'in iç yapısında olduğu bilinen ve yüzeyinde gözlenen çeşitli sıcak ve iyonize gaz akışları vasıtasıyla meydana getirilirler. Yüzeyde veya içyapıda, bu akışların hemen tamamı magnetik alan üretimine bir şekilde katkıda bulunabilir.



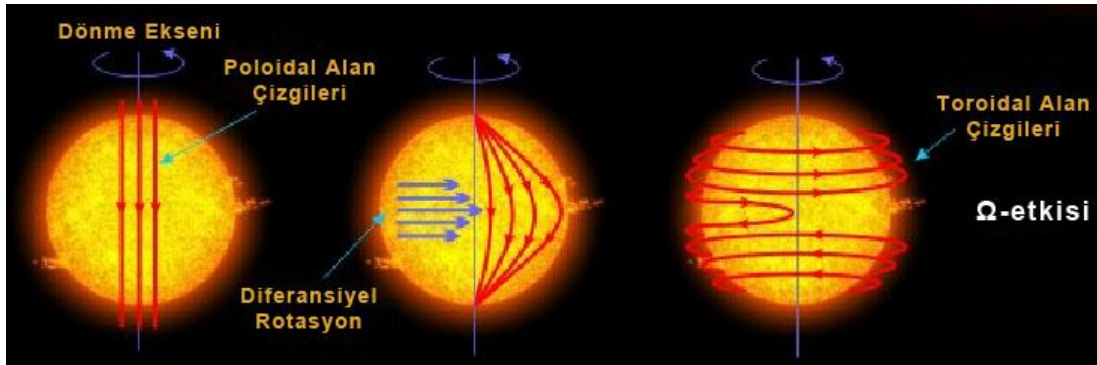
Şekil 5. Dalsgaard'ın Güneş içyapı yoğunluk (a) ve sıcaklık (b) modelleri.

Güneş'in magnetik alanının madde yoğunluğu (ρ) $0,2\text{g/cm}^3$, sıcaklığı (T) $2 \times 10^6\text{K}$, basıncı (P) $6 \times 10^{12}\text{Nt/m}^2$ (**Pascal**) ve magnetik akı yoğunluğu (B) 10^4 – 10^5 Gauss civarında olan kendine has yapısal ve fiziksel özelliklere sahip bu ara bölgede üretildiği düşünülmektedir.

Örneğin Güneş meridyenleri boyunca, yüzeyde ekvatorlardan kutuplara, derinlerde ise kutuplardan ekvatora doğru olan madde akışları Güneş'in magnetik dinamosunda önemli bir rol oynar. Yüzeyde kutuplara doğru 20m/s civarındaki düşük hızlarla akan maddenin, yoğunluğun çok daha yüksek olduğu derin iç kısımlardan ekvatora $1\text{-}2\text{m/s}$ gibi çok daha yavaş hızlarla dönmesi gerektiği düşünülmektedir.

Magnetik alanlar küçük lastik bantlara benzerler: Gerilme özelliğine ve basınca sahip sürekli kuvvet çizgisi loplardan ibaret bu oluşumları, lastik bantlar misali düşünmek mümkündür. Tıpkı lastik bantlar gibi magnetik alanlar da, onları germek, burmak ve kendi üzerlerine katlamakla kuvvetlenir, direnç kazanırlar. Bu germe, burma ve katlama işlevi Güneş içerisindeki akışlar tarafından yerine getirilmektedir. Akışların magnetik alanları etkileme ve şekillendirmelerine ilişkin teklif edilen başlıca iki mekanizma omega ve alfa etkileridir.

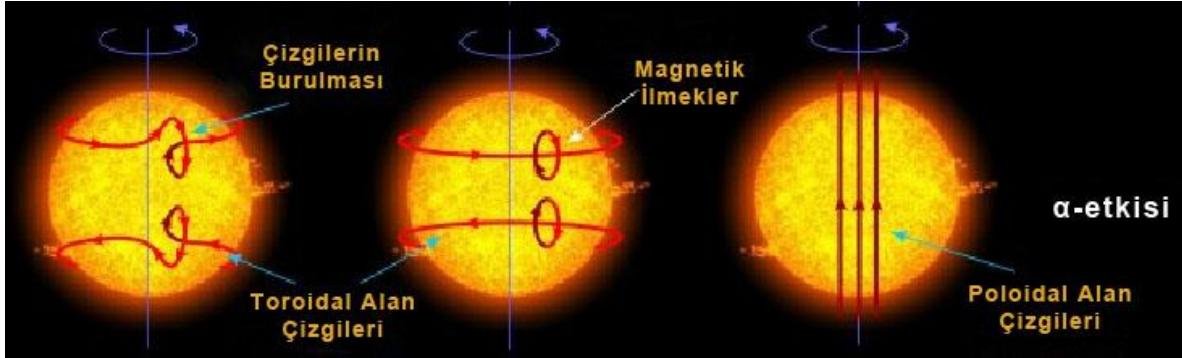
Omega Etkisi- Güneş'in içerisinde üretilen magnetik alanı temsil eden ve boylamsal olarak uzanan poloidal alan çizgileri, Şekil 6'da gösterildiği gibi, enlem ve derinliğin fonksiyonu olan diferansiyel rotasyon sebebiyle, Güneş etrafında enlemsel yönde gerilir ve sarılırlar. Bu olay, sarılmayı temsilen kullanılan Grek harfiyle, Omega-etkisi (Ω -effect) olarak adlandırılır.



Şekil 6. Omega-etkisiyle biçimlenme: Boylamsal alandan enlemsel alana geçiş.

Güneş'in enleme bağlı diferansiyel rotasyonu, kuzey-güney yönelimli bir magnetik alan çizgisini yaklaşık 8 ayda bir tur attırarak şekilde Güneş'e dolayabilir.

Alfa Etkisi- Enlemsel olarak uzanan toroidal alan çizgileri, Şekil 7’de gösterildiği gibi, siklonik konveksiyon yoluyla burulup koparak etraflarında boylamsal uzanımlı magnetik çemberler oluşturabilir ve bu çemberler akışlarla genişleyerek boylamsal (poloidal) alan çizgilerine dönüşebilirler. Bu olay, burulmayı (bükülmüş halkamsı yapıyı) temsilen kullanılan



Şekil 7. Alfa-etkisiyle biçimlenme: Enlemsel alandan boylamsal alana geçiş.

Grek harfiyle, Alfa-etkisi (α -effect) olarak isimlendirilir. Dinamo aktivitesinin tüm konveksiyon bölgesi boyunca oluştuğu fikriyle çalışan eski Güneş dinamosu modelleri, bu burulmanın, rotasyonun yüzeye ısı taşıyan çok büyük konvektif akışlar üzerindeki etkisiyle üretildiğini kabul eder. Oysa artık bilinmektedir ki, konvektif bölgedeki magnetik alanlar 11 yıl civarındaki çevrimsellikte açıklanamayacak kadar yüksek hızlarla yüzeye yükselmektedirler ve bu durumda ancak iki-üç yıllık çevrimler üretilebilir. Dolayısıyla, Güneş dinamosunun magnetik alanların çevreleyen gazı itmesiyle meydana getirilen ve hızla yükselmeye zorlanan “yüzücü hücrelerin” etkisindeki Konvektif Bölge boyunca çalıştığının kabulü halinde, Güneş’in magnetik çevrimini açıklamak üzere, ne Alfa ne de Omega etkisini işletmeye yeterli zaman vardır. Bu durumun bertaraf edildiği yeni dinamo modellerinde, Alfa-etkisi ile açıklanan burulmanın, rotasyonun Güneş’in derinliklerinden yükselen magnetik alan tüpleri üzerine etkisiyle oluştuğu kabul edilmektedir.

Radyatif Bölge şartlarındaki magnetik bir oluşum ise, çevresel yoğunluğa ulaşarak bütünlüğünü bozup ortama karışmadan önce, ancak çok kısa bir mesafe boyunca yükselmesine devam edebilir. Dolayısıyla bu kararlı bölge de hücrel yüzücülerin veya akı tüplerinin oluşmasına ve yükselmesine müsait bir ortam değildir. Bu durum, helyosismolojik verilerden itibaren, Güneş’in magnetik alanının, Konveksiyon Bölgesi’nin hemen altında, radyatif ve konvektif bölgeler arasında bulunan bir arayüz tabakasında üretilmekte olduğu fikrini akla getirir. Tachocline olarak isimlendirilen bu arayüzey tabakası rotasyon değerinin kendisinden içeriye ve dışarıya doğru hızla değişimiyle de dikkat çekmektedir. Tachocline’in genişliği ve geometrisi, daha zayıf poloidal alanı çok daha kuvvetli bir toroidal alan meydana getirmek üzere –bobin misali- burularak sarmallaştırmak suretiyle, Güneş dinamosu modellerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Nihayet yıldızımız Güneş evrensel yapı ve işleyişleri anlamakta bize yardımcı olan eşsiz bir astrofiziksel laboratuvar niteliğindedir. Burada bir kısmından bahsedilen pek çok astronomik oluşum, ancak Güneş üzerinde çalışılabildiği ölçüde anlaşılabilir. Böyle olmakla beraber, Güneş’te gözlemlendiği halde henüz açıklanamamış olan çok önemli olaylar da vardır.

5. Büyük Güneş Problemleri

Ayırma gücümüzü artırarak çok daha detaylı yapıların çalışılmasına imkân tanıyan optik gelişmelere ve adeta içyapıya nüfuzu sağlayan helyosismolojik tekniklere rağmen, Güneş fizikçilerinin hâlâ çözüm bekleyen çok önemli problemleri vardır:

i- Koronal Isıtma Mekanizması

Güneş'in görünür yüzeyi yalnızca yaklaşık 6.000°C sıcaklığında iken, bu "soğuk" yüzeyi kuşatan 1 milyon derecelik bir koronanın varlığı, genel bir çerçeve çizmek dışında, yeterince anlaşılabilmiş değildir. Koronayı bu denli yüksek sıcaklıklara kadar ısıtan ve Güneş rüzgârını bu derece hızlandıran işlemlerin tabiatı Güneş'in en büyük gizemlerindedir. Zira sıcaklıklar genellikle bir ısı kaynağından uzaklıkla düşerler. Nitekim bu Güneş'in görünür yüzeyine kadar olan içyapısı için de doğrudur. Fakat her nasılsa daha sonra, nispeten küçük bir mesafe içerisinde, sıcaklık aniden aşırı yüksek değerlere ulaşmakta ve koronada milyon derecelere varmaktadır. Bu ısıtmanın kaynağı olarak çeşitli mekanizmalar önerilmiş bulunmakla beraber, Güneş çalışanları arasında bunlardan her hangi birinin veya bir kombinasyonun ihtiyacı karşıladığına dair bir mutabakat yoktur. Genel olarak yıldız sistemleri fiziğinin temel problemlerinden olan bu konu, astrofiziksel objelerin X-ışın ve UV emisyonlarının yorumlanmasında bir eksiklik olduğuna işaret etmektedir.

ii- Güneş Parlamalarının Tabiatı

Güneş lekelerinin civarındaki alanlar sık sık alışılmadık derecede yüksek enerji boşalmalarıyla parlarlar. Leke bölgelerini tercih eden ve çevreleyen maddeyi saniyeler içerisinde milyonlarca dereceye kadar ısıtarak milyarlarca ton maddenin uzaya "üfürülmesine" sebep olabilen bu yüksek enerjili deşarjların mekanizması henüz tam olarak anlaşılammıştır. Koronal kütle atımlarıyla ilişkili olan bu gözlemsel gerçeğin sebepleri çözüm bekleyen büyük Güneş problemlerinden bir başkasını teşkil etmektedir. Günümüzde bu patlamalı olayların pek çok detayı bilinmekte ve bunların temel mekanizmaları anlaşılmiş bulunmakta ise de, kalan pek çok detay hâlâ çözüm beklemektedir. Dolayısıyla biz, bilimsel merak dışında Arz'a etkileri de büyük önem taşıdığı halde, maalesef bir parlamanın ne zaman ve nerede oluşacağını ve ne büyüklükte olacağını henüz güvenilir bir şekilde tahmin edememekteyiz.

iii- Leke Çevriminin Kaynağı

Güneş lekeleri magnetik alan kuvvet çizgilerinin Güneş yüzeyinde koştukları yerlerde beliren magnetik oluşumlardır. Başlıca lekelerde ortaya çıkan bu magnetik alanlar, elektrik yüklü iyonların ve elektronların akışıyla üretilmektedir. Ve leke çevrimi bu magnetik alanların Güneş'in içyapısında meydana gelen madde akışlarıyla kendini tekrarlamasından kaynaklanır.

Yukarıdaki kısa özet tutarlı görünse de, asla yeterli değildir. Yaklaşık 11 yıllık bir ortalamayla sıfır civarından 100'ün üzerindeki rakamlara kadar artan Güneş üzerindeki lekelerin sayısı, yeni çevrimin başlangıcı dolaylarında yine sıfıra yakın rakamlara doğru azalmaktadır. Güneş leke çevrimi dediğimiz bu tekrarlı olayın tabiatı ve sebepleri Güneş astronomisinin bir başka büyük problemidir. Leke çevriminin ve bu çevrimin üretiminde anahtar rol oynaması gereken dinamo mekanizmasının bazı detayları biliniyor olmakla beraber, temel fiziksel prensipleri kullanarak gelecek çevrimin gidişatını güvenilir şekilde tahmin etmeyi sağlayacak modeli üretmekte hâlâ yetersiziz. Gerçekten, daha ileri çevrimsel detaylar bir yana, en iddialı çevrim modelleri dahi yaklaşık "7 ila 17yılı arasında olabilen" çevrim uzunluğundaki değişimlere dair bir tartışma içermemektedirler (Michael ve ark., 2006).

6. Tartışma ve Sonuçlar

Güneş leke çevriminin odağında bulunması; oluşumunun içyapıdaki madde akışlarıyla ilişkisi; kendini tekrarlayan yapısıyla bir tür dinamo mekanizmasına işaret etmesi; Güneş atmosferinde düzenli-düzensiz çeşili formlarda ve yüksekliklerde süzülen kromosferik ve koronal oluşumların liflenmiş büyüleyici yapılarını desteklemesi; Güneş patlamalarına zemin

hazırlaması; madde ve enerjinin tabakalar boyunca kanallanmasına ve kaçışına aracılık etmesi gibi pek çok önemli tezahürü sebebiyle artık iyice biliyoruz ki, magnetik alanlar Güneş'in yüzeyinde, üzerinde ve radyatif bölgeye kadar olan içyapısında görebildiğimiz veya algılayabildiğimiz hemen her özelliğin temelinde yer almakta, dolayısıyla Güneş'i anlamakta anahtar bir rol oynamaktadırlar. Güneş'in magnetik alanının kaynağının ve davranış biçimlerinin daha iyi anlaşılması, Güneş'in kendisinden başka, laboratuvarı olduğu yıldızların ve hatta Evren'in de daha iyi anlaşılması anlamına gelir. Bu aynı zamanda uzay havasını daha iyi tahmin edebilmemiz demek olduğundan, Arz'daki yaşamı da doğrudan etkileyecektir.

Güneş'in magnetik alanının ve bu magnetizmanın en küçük ölçeklerde konvektif akışlarla nasıl etkileştiğinin tanımlanabilmesi, bir başka deyişle Güneş'in magnetik ince yapısını çalışılabilmesi için, bir yay saniyesinin kesirleri mertebesinde uzaysal ve birkaç saniyelik zamansal ayırmaya ihtiyaç vardır. Ayrıca magnetik ince yapının ortaya koyulabilmesi gözlemin dalgaboyu ile de ilişkili olup, bunun için 15 mikrona kadar olabilen dalgaboylarında kızılötesi gözlemler yapılmalıdır. Bu derece uzun dalgaboylarında yapılacak gözlemler ise, kabul edilebilir en makul çözünürlükte dahi, eldekilerden daha büyük açıklıklı teleskoplar gerektirir. Mevcut Güneş teleskopları, maalesef, çok küçük ölçeklerde oluşan enerji serbest bırakımı işlemlerinin çalışılmasını mümkün kılacak hassasiyette veri sağlama kapasitesine sahip değildir.

Bununla beraber, ne mutlu ki optik teknolojisinde kaydedilen gelişmeler ihtiyacı destekleyecek hızda seyretmektedir. Bu sayede 0",1 ve altında ayırma güçlerine ulaşılabilmesi ve dolayısıyla 70km ve altında ölçekli yapıların çalışılabilmesi mümkün hale gelmiş görünmekte, bu suretle Güneş'in bilinen en küçük ölçekli aktif magnetik elemanlarının (çapları 100km, alan şiddetleri ise 1-2kG (kiloGauss) civarında tayin edilen fibril aktivitesinin) ve onların akışkanlarla ilişkisinin incelenmesine kapı aralanmış bulunmaktadır. Bu kapıyı aralayan en önemli örnek, 22 kuruluşun katılımıyla yürütülen ve halihazırda yapım aşamasında olan 4,24m açıklıklı İleri Teknoloji Güneş Teleskopu (ATST) projesidir. Güneş'teki magnetik oluşumların yapı taşlarının ve Güneş aktivitesinin çeşitli tezahürlerinin açıklanması ancak böylesi yüksek ayırmalı gözlemler sayesinde mümkün olabilecektir. Başlıca hedefler;

a) Helyosismolojik teknikleri ve teorik modellemeleri kullanarak Güneş'in görünür yüzeyinin çok altındaki ve,

b) Uzay-temelli gözlemleri kullanarak görünür yüzeyin çok üstündeki yapı ve işleyişleri anlayabilmektir.

Nitekim, pek çok alanda olduğu gibi Güneş fiziği alanında da, helyosismolojik olanlar özellikle vurgulanmak üzere, detaylı çalışmalara zemin hazırlayan optik gelişmeler ve uzay-tabanlı gözlemler sayesinde, Güneş aktivitesinin incelenmesi ve yorumlanması için sağlam bir temel sağlanmış bulunmaktadır. Bu kapsamda;

i. Güneş'in yüzey gözlemlerinden elde edilen opasiteler ve element bolluklarından itibaren klâsik yıldız içyapı teorilerinin geçerliliği sağlanmış,

ii. Ayrıca yüzey altına nüfuz edilerek, "helyosismolojik tomografi" denebilecek bir açıklıklı, içyapı rotasyon profilini ortaya koyan gözlemler sayesinde Güneş'in beklenen içyapısı doğrulanmış,

iii. Ağır iyonların gravitasyonel bağlılığı gibi inceliklerin dâhil edilmesiyle teorik Güneş içyapı modellerinin bağdaşımı sağlanmış (öyle ki, günümüzde standart modele dayalı ses hızı tahminleri ile helyosismolojiden çıkarılan ses hızı, yalnızca binde birlik bir sapma ile çok yakın bir uyum halindedir),

iv. Güneş'in X-ışın emisyonu kapalı yaylarının detaylı yapısı ortaya koyulmuş ve bu emisyon için gerekli ısı girişini anlamak yolunda önemli adımlar atılmış,

v. SOHO, Ulysses gibi uzay araçlarıyla, Güneş'in kutup bölgeleri ve helyosferin derinlikleri dâhil, koronal genişleme ve Güneş rüzgârı doğrudan gözlenmek suretiyle çalışılmış,

vi. Güneş'in aktivite seviyesiyle birlikte parlaklığının da değiştiği keşfedilerek bu etki Güneş-tipi diğer yıldızlarda da doğrulanmıştır (Arz'daki iklimsel değişimler ve Güneş'in aktivite değişimleri arasında asırlar üzerinden gözlenen yakın bir ilişki olduğunun kanıtı sayılabilecek bu durum, özellikle Arz'ın yakın uzay çevresinin çok daha iyi anlaşılması gerektiğine işaretle, tam anlamıyla yeni bir araştırma alanı doğurmuş bulunmaktadır).

Tekraren ifade edilmesi gereken önemli bir sonuç olarak; Güneş'in mikroyapı veya "magnetik ince yapı" olarak adlandırabileceğimiz fibril yapısının, aktivite çevrimleri süresince gözlenen büyük ölçekli olaylar, dolayısıyla çevrimlerin kendileri üzerinde esaslı bir rol oynadığı düşünülmektedir. Bu, Güneş'in bir yıldız olarak çözülmesinin yanı sıra, hayatımıza doğrudan yansımaları olması itibariyle de çok önemlidir. Nitekim aşırı radyasyon ve yüksek enerjili parçacık yayan büyük Güneş parlamaları, yakın uzaydaki radyasyonu astronomlar için zararlı seviyelere yükseltebilir ve uyduların bozulmasına hatta kaybedilmesine varan bir dizi riskli durum doğurabilirler. Yine bu parlamalarla bağlantılı oldukları bilinen koronal kütle atımları, Arz'ın magnetik alanını, atmosferini ve yüzeyini ciddi şekilde etkileyen gezegenlerarası şok dalgaları üretmektedirler. Bu şoklar nadiren de olsa yaşantımıza o derece şiddetle yansiyabilirler ki, Arz üzerindeki elektrik şebekelerini dahi kesintiye uğratabilir, çökertebilirler. Ve bütün bu olayların temelinde, Güneş'in magnetik mikro yapısı, yani magnetik alanların fibril yapısı yatmaktadır. Bu nedendir ki, mikroyapının doğrudan gözlemlerle çalışılması, Güneş'in aktivitesinin nasıl oluştuğunun keşfedilmesi bakımından asli önemi haiz bir konudur.

Kaynaklar

- Castellani, V., Degl'Innocenti, S., ve Fiorentini, G., 1998, MNRAS, 298-543
- Charbonneau, P. ve ark., 1999, ApJ, 527, 445
- Christensen-Dalsgaard ve ark., 1996, Science, 272, 1286
- R., Gough, D. O., 1999, ApJ, 516, 475
- Hathaway, D. H., Wilson R. M., Reichmann, E. J., 1994, Sol. Phys., 151, 177
- Ohl, A. I., Ohl, G. I., 1979, Marshall Space Flight Center Solar-Terrestrial Predictions Proceedings, Vol. II, 258.
- Rogers, M. L., Richards, M. T., Richards, D. P., 2006, astro-ph.:<http://arxiv.org/abs/astro-ph/0606426v3>
- Task Group on Ground-Based Solar Research; Space Studies Board; Commission on Physical Sciences, Mathematics, and Applications; National Research Council, 1998, An Assessment And Strategy For The Future, National Academy Press, Washington, D.C.
- Thompson, R. J., 1993, Sol. Phys., 148, 383
- <http://solarscience.msfc.nasa.gov/>
- http://www.amsta.leeds.ac.uk/~alice/WEB/alpha_talk.pdf