

## İSTANBUL İYONKÜRESİNDE ÖLÇÜLEN ŞİDDETLİ MANYETİK FIRTINA ETKİLERİNE JEOFİZİKTE BİR ÖRNEK

Harutyun AGOPYAN \*

TC İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektronik Haberleşme Teknolojisi Programı, Avcılar Yerleşkesi, 34320, Avcılar-İstanbul, Türkiye,

### Özet

Bu çalışmada yakın uzay hava tahminlerine hizmet veren uydu haberleşmesi ile mevcut iyonkürenin dinamik model çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla, sadece ani başlangıçlı fırtına (SSC; Storm Sudden Commencement) ile bu ani başlangıçların (SC; Sudden Commencement) gündüz saatlerine rastlayan ve çok şiddetli manyetik fırtınaya eşlik eden bazı iyonküre etkileri incelenmiştir. 29 Ekim 1968 tarihinde başlayarak 2 Kasım 1968 tarihine kadar, gezegenlerarası manyetik alanın (IMF; Interplanetary Magnetic Field) 3 saatlik etkinlik indisi,  $K_p \geq 7$  olarak, IMF kutuplanmalarının, A(Away) Güneş'ten uzaklaşan yönde güneş rüzgarı ile alanın pozitif kutuplanmalarına ve T(towards) ise tersi kutuplanmaları koşullarında, beş gün boyunca; İstanbul iyonküresi üzerinde F2 bölgesi gerçek yüksekliklerinin ( $h_p F_2$ -km) dış ve yerel iyonlaşma davranışları olarak sabit plazma yoğunluklarına (N) karşın nonlinear biçimde dalgalandıkları ve yapılan spektral analiz sonuçlarına göre yaklaşık; 4,6, 6,4, 10,4, 18 ve 64 saat (2,3 gün)'lük periyotların varlığı saptanmıştır. IMF düşey bileşeni ( $B_z$ -nT), dünya manyetik alan şiddetinin yatay bileşeni (H-nT) ve  $K_p$  incelendiğinde; yer manyetik alanının şiddetli ve SC etkileri nedeniyle, iyonkürenin F bölgesinin alt ve üst sınırlarının dengelerini yitirdikleri, sırasıyla değişen yerçekimi artıp azalmaları ve güneş rüzgarı basıncı etkileri sebebiyle normal yüksekliklerin sağlanamaması ve haberleşme kanallarının bozulmasından sorumlu oldukları; İstanbul'da gözlenen F<sub>2</sub> tabakasındaki kritik frekansın ( $f_o F_2$ -MHz) %70 değerindeki sapmaları ile yüksekliklerin ( $h_p F_2$ -km) ise yüzlerce kilometrelere varan değişikliklere uğradıkları saptanmıştır. Günlük dengelenme sürelerine karşın İstanbul için plazma küredeki plazma geri kazanım süresinin 1,1 günlük proton küresi rezervuarına ihtiyaç duyması neticesinde, anlaşılın; L=1,6 değerindeki Mc Ilwain manyetik kabuk parametresi eşdeğeri mesafedeki plazmapoz lokosyonunun ve  $K_p \geq 7$  olmasının sonucunda boşalan plazma miktarının rekombinasyonu için bir günlük sürenin yeterli olamamasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Jeomanyetik Etkinlik, İyonküre Fırtınası, Nötral Gaz Aşırı Yoğunlaşması, Alıcı/Verici, Halka akımları.

## SEVERE MAGNETIC STORM EFFECTS MEASURED ON THE IONOSPHERE OVER ISTANBUL: A CASE STUDY OF UPPER ATMOSPHERIC GEOPHYSICS

The presented study here concentrates on the effects on the ionosphere of an individual severe magnetic Storm of the Sudden Commencement (SSC) type, which SC taking place in the daytime hours aiming improvements of recent ionosphere models and near earth space weather predictions for satellite communications. The storm started on 29 October 1968 and went on to 2 November 1968 with geomagnetic 3-hourly magnetic activity index reaching values of  $K_p \geq 7$ . Interplanetary magnetic field (IMF) polarities included A (field polarity Away from the solar wind) positive and T (field polarity Towards the solar wind) negative polarities. In these conditions, the Istanbul local response of true height of F<sub>2</sub>-region ( $h_p F_2$ ) ionization fails nonlinearly from fixed plasma densities showing ~6h, 9h 12h and 2.3day varying periodicities in spectral analysis. The interplanetary B<sub>z</sub>, the magnetic field H component and  $K_p$  were examined for the 5 days following the sudden commencement. Due to intensive geomagnetic SC effects, the lower and upper limits of the F-regions were unbalanced

\* E-posta: harutyun@istanbul.edu.tr

because of gravity relaxation and solar wind pressure effects, until normal levels were restored. In the F<sub>2</sub>-layer 70% deviations of critical frequencies (f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>-MHz) from median values, as well as peak height (h<sub>p</sub>F<sub>2</sub>-km) level variations reaching hundreds of kilometers, were observed and were responsible for the destruction of communication channels. With a plasmopause location value of Mc Ilwain Magnetic Shell parameter L = 1.6 and with K<sub>p</sub> ≥ 7 the protonosphere reservoir should take 1.1 day for its replenishment; one day was in fact insufficient for a full plasma recovery.

**Key words:** geomagnetic activity, ionospheric positive storm, neutral gas concentration excess, reception / transmission, ring current.

## 1.Giriş

Bir Jeomanyetik Fırtına (GS: Geomagnetic Storm) halka akımları (RC; Ring Current)'nın şiddetli artışının sonucunda, Dünya'nın manyetik alanı (EMF: Earth Magnetic Field)'nin normal şiddetinin sakin günlük değerlerinin altındaki değerlere düşmesidir. Bir iyonküre fırtınası (IS: Ionospheric Storm) GS'nin iyonküresel etkisi olup F bölgesinin elektron yoğunluğu (Ne)'nin ve toplam elektronları sayısı (N<sub>TEC</sub>)'nin artışı veya azalışıdır [1,2]. Negatif IS ve pozitif IS olarak iki çeşit iyonküre fırtınası mevcuttur. Bunlar, yerel zaman (LT: Local Time)'a GS'nin başlangıcına, enlemlere ve mevsimlere bağlıdır. F2 bölgesinin kritik frekans (f<sub>o</sub>F<sub>2</sub>) davranışının olsun mevsimlere, Güneş'e ve jeomanyetik etkinliğe ve de jeomanyetik enlemlere bağlı olduğunu ilk bulan kişi Matsushita'dır [3]. Çoğu kış fırtınaları artış gösterirken, yaz ve bahar fırtınaları kısa süreli artışlarının ardından azalış kaydederler. Gezegenlerarası manyetik alan (IMF) ilkbaharda A-tipi (Anti-sunward) pozitif bir kutuplaşmaya sahip olduğundan (yani Güneş'ten veya Güneş rüzgârından uzaklaşan doğrultuda), +Bz değerleri indüklerken özellikle sonbaharda T-tipi (yani Güneş'e doğru) negatif kutuplaşma (alan polaritesi Güneş veya güneş rüzgârına doğru) –Bz değerlerini indüklerler. Ekim Fırtınası, böylece, –Bz işaretli olanlarının en çok rastlanı ve en şiddetlisi olarak, İstanbul'da da bulunmuştu. Güneş patlamalarından indüklenen fırtınaların, hem daha zayıf olmaları ve hem de bir kaç gün daha geç sonlanmalarının sebebi, dünyamızı aşan güneş rüzgarı akışlarının aldığı uzun zaman süresine bağımlı olmalarıdır. Yıllar önce, Dungey [4] ile Akasofu ve Chapman [5] ilk olarak güneş rüzgarından dünyayı saran manyetik küreye enerji transferi mekanizmasının manyetik bağlantılılık olduğunu ve bunun da IMF–Bz denen güney bileşeninin hakim olduğu gezegenlerarası manyetik alanı ile dünyanın dipolünün elektromanyetik alanı arasında var olduğunu iddia etmişlerdir. Burada, manyetik küremiz ve iyonküremiz için mevcut nonlineerlik, RC enerji akıtması oranına dayanmaktadır [6]. Mendillo ve Klobuchar toplam elektron sayısı fırtına kavramını kullanarak, N<sub>TEC</sub>, yani iyonküredeki toplam elektron yoğunluğu miktarındaki davranışların, gittikçe alçak enlemlere doğru, zamanla bir geçiş yaptıklarını, hatta gecikerek başladıklarının çok önceleri; “trough“ adlı geçişlerle üretilen negatif fazları bularak yapmışlardır [7]. Pröls, yukarı atmosferin termoküresel sıcaklık davranışlarını önemsemiş, kompozisyon değerleri hakkında sayısal sonuçlar elde etmiş, ve ayrıca bir de, termoküresel model yayınlamakla beraber, orta enlemlerdeki negatif IS ler için de ileri çalışmalar gerektiğini önermiştir [8]. İyonküre profili tahminine yarayan mevcut modellerin, önemli ölçüde birbirinden farklılık gösterdiği 200 km'lik yükseklikte, yazları azotun (N:nitrojen) yoğunluğunun önem kazandığı ve seyrelen atomik oksijen yoğunluğunun yeni Güneş çevrimleri için doğru kestirimi, yapılacak daha yeni, uydu misyonları ile günümüzdeki uydu sürüklenmesi analizleri için ise yeryüzünden bazı gelişmiş gözlem metotları gerektirecektir [9]. Rees ve meslektaşları, sabit basınç seviyelerinde, ortalama moleküler ağırlık dağılımlarının, kutupsal ışık dairesi olan ovaldeki yerlerinden sadece kısa bir mesafeye kadar oluşumlarının; negatif IS'nin düşük enlemlerde nötral gaz bileşenlerindeki, değişimleri yüzünden olamayacaklarının bir delili olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca N/O yoğunluk oranının, 280 km'nin üzerindeki, basınçsal ölçek yüksekliğinin, yaklaşık olarak sabit oranda kabul edilen diğer azınlık bileşenlerinin de hep birlikte dikkate alınması ile önemli olduğunu vurgulamışlardır [10]. Hewish ve Duffett-Smith, 1 AU' de yüksek hızlı güneş rüzgarı fırtına akışlarının azalmasını, yakın olduğu uyarısını verecek, bir araç önermişlerdir [11]. Bunun sayesinde, Tsurutani ve meslektaşları, çok yüksek hassasiyetle MS oluşumuna müsait yerlerin ve oluşum zaman aralıklarının kestirimine olanak sağlayabildiklerini söylemişlerdir [12], [13].

Bu çalışmada elde edilen değişken verilerin ve parametrelerin nicel sonuçları dikkate alındığı takdirde; yüksek jeomanyetik etkinlik şartlarında kullanılan uydu haberleşmelerinin kesintiye uğramaması için gelecek uzay hava tahminlerine hizmet veren bir örnek teşkil edebileceği ve de mevcut iyonküresel model çalışmaların eksikliklerinin tamamlanabileceği amaçlanmıştır. Şayet Geomanyetik fırtınalar tahmin edilebilirse seyrüsefer, havacılık, elektrik güç ağı ve astronomların uzay çalışmalarında bile extra araç gereçleriyle hizmet veren ortamın zarar görmemesi sağlanabilir. [14]. Bu çalışma, Türkiye İstanbul'da mevcut lokal etkilerin iyonküre ile jeomanyetik alanın hangi ölçüde dikkate alınması gerektiğinin kanıtını içeren tipik bir yukarı atmosfer jeofiziği örneğidir,

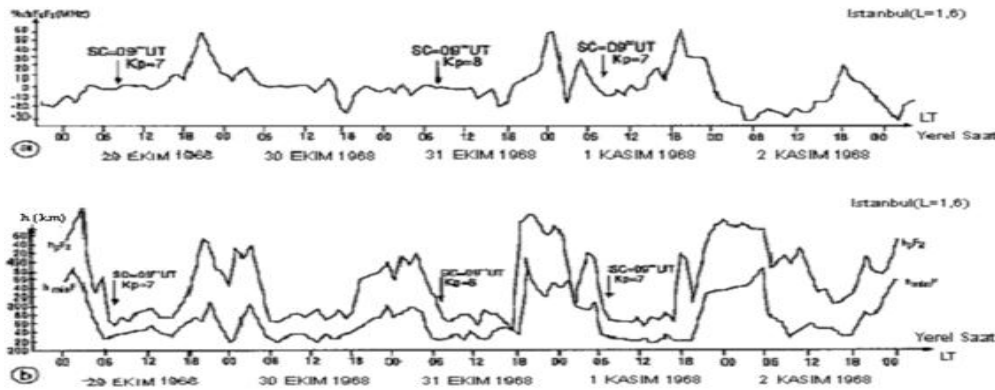
## 2.Deney, Gözlem ve Analiz Yöntemi

İstanbul İyonküresinin, yer manyetik alanı ile iç içe bulunan  $F_2$  tabakasının kritik frekansı olan  $foF_2$ 'nin saat başı (**hourly**) ve aylık ortalama (**medyan**) frekans (MHz) davranışları İstanbul İyonosfer Araştırma İstasyonu (İİAİ)'de,  $F_2$  tabakasının gözlem veri kayıtları (1)

$$\Delta foF_2 = \{[(foF_2)_{hourly} - (foF_2)_{median}] / [(foF_2)_{median}]\} * 100 \quad (1)$$

bağıntısıyla aylık medyan ortalamalardan yapmış oldukları yüzdelik sapmalara ( $\% \Delta foF_2$ ) göre analiz edilmişlerdir.  $F_2$  Tabakasının  $\Delta foF_2$  ölçümleri, reel tepe yükseklik değerleri ( $h_p F_2$  ölçümleri), minimum yükseklik değerleri ( $h_{min} F_2$  ölçümleri) ve sanal yükseklik değerleri ( $h' F_2$  ölçümleri) İstanbul için coğrafik koordinatları  $41^\circ K$ ;  $25^\circ D$ ; jeomanyetik koordinatları  $39^\circ K$ ;  $108^\circ D$ ;  $Mc$  Ilwain [15] manyetik kabuk parametresi;  $L \approx 1,6$  için şiddetli GS düzensizlikleri sırasında, iyonkürenin davranışını açığa çıkarmak amacı ile analiz edilmişlerdir. Gözlemler 29 Ekim 1968'den 2 Kasım 1968 tarihlerine kadar Güneş'in yüksek etkinlik periyodu sırasında yapılmışlardır. Bu zaman aralığı süresince  $D(\gamma) \geq -120$  gibi hayli düşük değerli olarak, manyetik etkinlik indisi ise  $K_p \geq 7-8$  gibi oldukça yüksek değerli olarak gözlenmiştir [16], [17].

Aylık meydanlardan belirlenen fırtına sapma yüzdeleri, jeomanyetik fırtınaların sayısal değerlerinin manyetogramlarla gözlenen belirgin periyodlu manyetik alanın üç temel fazı; Başlangıç (initial), Ana (main), Düzleme (recovery), fazlarına karşın iki zıt faz ile (pozitif ve negatif) değişken genlikli bu periyodlarını nasıl ve ne kadar zamanda tamamladıkları bulunmuştur [18].



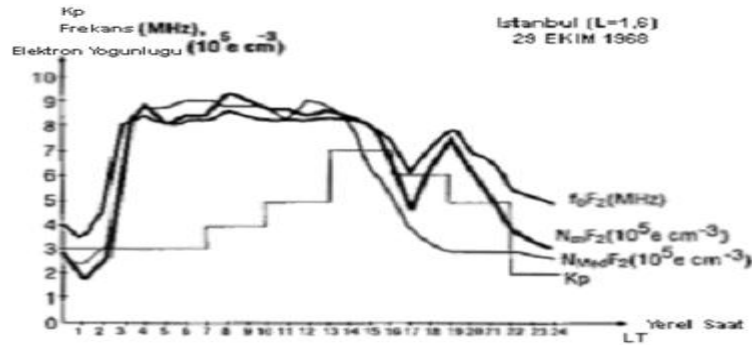
**Şekil 1a)** 29 Ekim-2 Kasım 1968 tarihlerinde Gezegenlerarası 3 saatlik manyetik etkinlik indisi değişimleri  $K_p=7-8-7$  için oluşan SSC ani başlangıçlı fırtınaların oluşum zamanlarına karşın , Yerel Saat ( $LT=UT+2h$ ) kritik frekans değişimlerinin yüzde olarak aylık medyanlar'dan sapmaları [ $\% \Delta foF_2$ (MHz)].

**Şekil 1b)** 29 Ekim-2 Kasım 1968 tarihleri arasında Gezegenlerarası 3 saatlik manyetik etkinlik indisi değişimleri  $K_p=7-8-7$  için oluşan iyon küre fırtınalarına ait Yerel Zaman (LT) saatlerine karşın F tabakasının minimum  $h_{min} F_2$  ve maksimum  $h_p F_2$  yükseklik değişimleri,  $h$ (km).

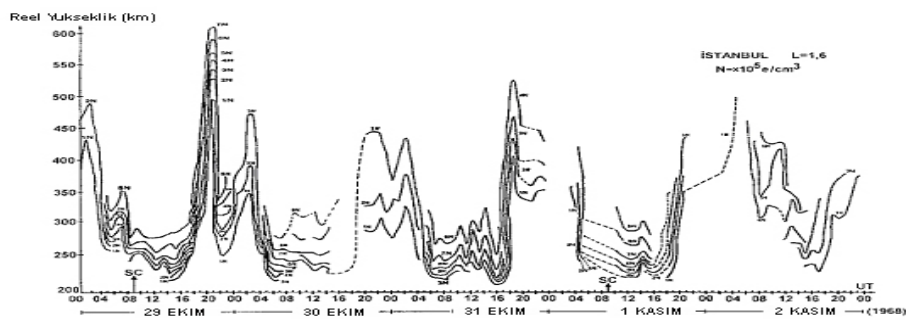
Şekil 1a şiddetli MS'nin 5 günlük periyodu boyunca  $foF_2$  (MHz) frekans değerinin yüzdelik sapmalarını göstermektedir. Görüldüğü gibi,  $foF_2$  değerleri, aylık medyan ortalamalardan %50 den %70'e varan görünür artışlarını bir SSC başlangıcını takip eden 8 veya 10 saat sonrasında gösterirler. Oysa; SW (;Short Wave) telsiz kısa dalga boyu veya  $foF_2$  frekans değeri kestirimleri için; en uygun radyo frekans 10 MHz iken; bu, şiddetli bir GS sırasında 17 MHz'lik frekans değerine ulaşır. Dolayısıyla, haberleşmenin bozulmaması için, radyo istasyonunun (verici/alıcı) daha yüksek frekanslara ayar edilmesi gerekir. Başka bir deyişle kısa dalga SW radyo alıcılarının; dalga boylarını azaltmaları daha iyi sonuç verecektir. Örneğin; 31 metre bandında parazitli bir dinleme durumunda bunun yerine 19 metre bandına ayar edilmesi daha iyidir [19].

Şekil 1b'de  $h_p F_2$  ve  $h_{min} F_2$  saat başı yükseklik değerlerinin grafikleri çizilmiştir. Burada, şiddetli GS dizisi sırasında (29/30/31 Ekim ile 1/2 Kasım 1968) iyonkürenin plazma halini ve yoğunluğundaki ani değişim nedeniyle F tabakasının kalınlık farkını çok daha açık bir biçimde görebilmekteyiz [20].

Fırtınanın ilk gününde yükseklik değişimlerinin olduğu değerler 250 km yükseklikte iken, gündüz Güneş'in mevcut olduğu saatlerde yükseklik değişimleri pek gözlenemez. Buna karşın gece, önemli ölçüde yükseklik değişimleri gözlenmektedir. 1 Kasım'da gece vakti sırasında  $h_p F_2$  ve  $h_{min} F$  davranışları birbirini keserlerken, elektrik akımlarının artışları ile EMF (elektromanyetik alanları)'nın karşılıklı birbirlerini artırmalarına yol açan üretimleri yüzünden iyonkürede G-aykırılık koşulunun ortaya çıktığı ( $h_p F_2 \leq h_{min} F$  yani  $F_2$  katman yüksekliğinin  $F_1$  yüksekliğinden küçük olması) göze çarpmaktadır (Şekil 1.b) [21]. Karşılaşılan sıra dışı bu olayın daha ayrıntılı olarak belirlenebilmesi için İstanbul Kandilli Rasathanesi (IKR) ile İstanbul Üniversitesi Araştırma İstasyonu (İİAİ) 1964-1976 Fen Fakültesi Jeofizik Bölümü Kütüphanesi kayıtlarından yararlanılarak gerekli hesaplamalar ve çizimler yapılmıştır. Şekil 2'de 29 Ekim 1968 tarihi için saat 00:00 LT 'den itibaren saat 24:00 LT'ye kadar geçen yerel zaman süresine karşın ölçülen maksimum elektron yoğunluğu  $N_m F_2 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$ , kritik frekans,  $f_o F_2$  (MHz), aylık median ortalama  $N_{MED} F_2 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$  ve  $K_p=3-7-2$  değişim aralıkları karşılaştırılarak çizilmişlerdir. Takip eden günlerdeki kayıtların veri eksiklikleri nedeniyle ölçümlerin devamının çizimleri ihmal edilmişlerdir. Fırtına sırasında, gece ve gündüz arasındaki muazzam farklar sebebiyle, çeşitli yüksekliklerin elektron yoğunluk değişimlerinin analizinde "elektron yoğunluğu" ile "zaman" arasında çizilen davranış eğrileri elverişli değildir. İşte bu yüzden çizilen Şekil 3'te, gerçek yükseklik profillerinden türetilen, elektron yoğunluklarına ait izoionik konturlar gösterilmişlerdir. Burada sabit tutulan plazma yoğunluk değişimleri; azalan genliklere sahip plazma miktarlarıyla dalgali davranışlar arz ettikleri 29 Ekim 1968 gününden itibaren 5 gün devam eden fırtına için izoionik konturlar halinde görülmektedirler [22].



**Şekil 2.** 29 Ekim 1968 tarihli gün boyunca saat 00:00 LT ile 24:00 LT'e kadar yerel zamana göre F2 tabakasının maksimum elektron yoğunluğu ( $N_m F_2 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$ ), F2 tabakasının aylık ortalama Medyan elektron yoğunluğu ( $N_{MED} F_2 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$ ), F2 tabakasının kritik frekansı ( $f_o F_2$ , MHz), ve Gezegenlerarası 3 saatlik manyetik etkinlik indisi ( $K_p$ ) değişimleri.



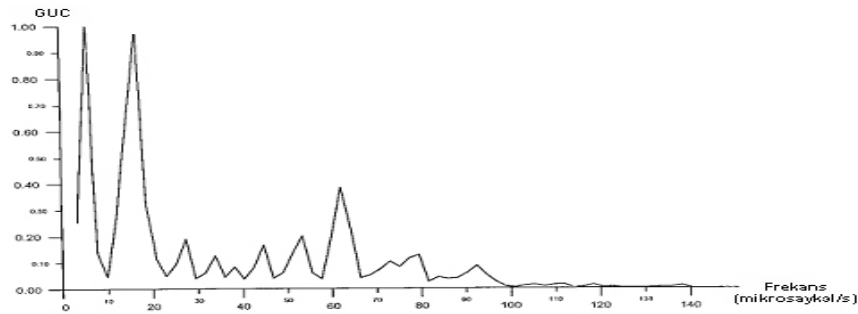
**Şekil 3.** 29 Ekim ile 2 Kasım 1968 tarihleri arasındaki 5 günde Gezegener arası 3 saatlik manyetik etkinlik indisi değişimleri  $K_p \geq 7$  olduğunda yapılan  $N(h)$  ionogram analizlerinden türetilen izoionik konturlarla görülen gerçek yükseklik değişimlerine ait plazma yoğunluklarının düzensiz, nonlineer ve dalgali davranışları.

Şekil 3'ten de görüldüğü gibi ölçülen yoğunluk değişimlerinin maksimum yükseklik aralıkları  $1,5-6,5 \cdot 10^5 \text{ e/cm}^3$  tepe düzeyine saat 20:00 LT civarında ulaşırlar. Bu değişimler iyonkürenin tepe altı penceresinde 500 km ile 700 km yüksekliğe kadar görülmektedirler. Burada, oksijen ( $O^+$ ) iyonlarının yoğunlukları güvenilir derecede bir yükseklik tespiti yapmaya yetecek miktarda değildir. Ancak, yüksekliklerin, 250 km ile 300 km arasında 50

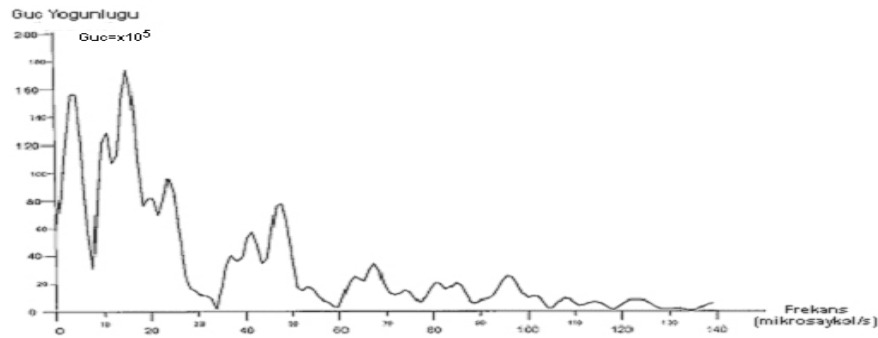
km'lik yükseklik değişimleri arz ettikleri uygun yöre nin; günün akşam üzeri saatlerine isabet eden 17:00 LT esnasında oldukları gözlenmiştir [23].

Çeşitli elektron yoğunluk değerlerine ait profillerde, gece vakitlerinde yükseklik artışlarıyla birlikte lineer olmayan davranışların görülmeleri; sadece güneş koronasından güneşin kütle zerk etmesi (CME:Coronal Mass Ejection) sonucuna bağlı olmayıp, kısmen gelgitler ile rüzgar basınçları ve yerçekimsel (Gravitational) değişimlerden de kaynaklanmaktadır [23]. Ani başlangıçlı fırtınaların söz konusu oluşumları esnasında herhangi bir Güneş patlamasının olmadığı bilinmektedir. Aslında bu tarihlerdeki iyonküre fırtınaları gözlendiğinde; uzayda yerleşik olan uydulardan bazıları referans olarak jeomanyetik alana bağlı olduklarından dolayı, alan pertürbasyonları olsun haberleşme amaçlı olsun diğer amaçlı uyduların çalışmalarını etkileyebilirler. Şiddetli bir fırtınada, manyetopozun yerinin, jeosenkron yörüngenin içine hareket etmesiyle beraber bir uydu, kendini, yerin manyetik alanından tamamen farklı olan, hem manyitüd hem de yer olarak, Güneş rüzgarının içinde bulur kendini, böylesi olaylar uzay araç anomalisi (spacecraft anomalies) olarak bilinirler

Datanın spektral analizi neticesinde Şekil 4'te görünen güç spektrumu Hanning penceresine göre filtre edilerek [24], [25] yaklaşık 12 saatlik bir periyoda sahip oldukları görülen gezegen dalgalarının hâkimiyetine ilaveten, Ay'a ve Güneş'e ait periyotlar; yaklaşık 4,6-6,4-10,4-18 ve 64 saatlik (2,3gün) tekrarlamaya karşılık gelmektedirler. Nitekim Şekil 5'te görüldüğü gibi Güç Spektral yoğunluğu Hanning penceresine göre yapılan filtreleme de benzeri sonuçları yine aynı fırtına periyodu süresince göstermektedir. Güneş'in gelgiti yanı sıra; yani Güneş'in 280 km'lik yüksekliklerden daha yukarı seviyelerde yerçekimi ivmesini etkileyebileceği yerlerde, basınç ölçek yüksekliğin, N<sub>2</sub>O yoğunluk oranı dengesi üzerinde önemli olmaya başladığı zaman, sadece plazma dalgaları ve atom elementleri azımlık bileşenleri değil de, ayrıca Ay'ın gelgitinin yerel etkileri de dikkate alınmalıdır.



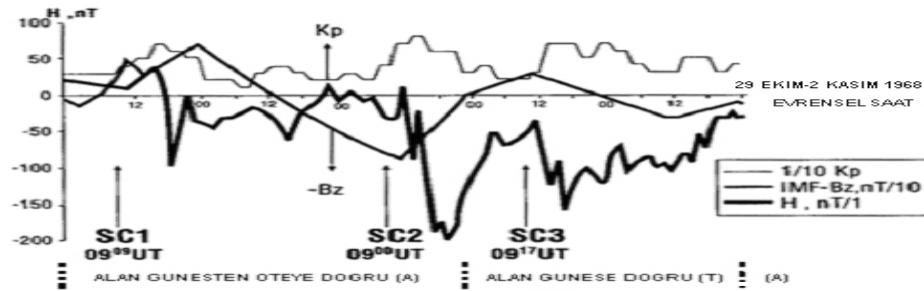
**Şekil 4.** Hanning pencere filtrelemesi uygulanarak 29 Ekim-2 Kasım 1968 tarihleri arasında gözlenen şiddetli iyon küre fırtınasına ait elektron yoğunluğunun frekans ( $\mu\text{cycle/s}$ )'in fonksiyonu olarak Güç spektrumu davranışı.



**Şekil 5.** 29 Ekim-2 Kasım 1968 tarihleri arasında gözlenen şiddetli iyon küre fırtınasına ait elektron yoğunluğunun Hanning penceresi ile filtreleme uygulanarak frekans ( $\mu\text{cycle/s}$ )'in fonksiyonu olarak ( $\cdot 10^5$ ) Güç Spektrumu Yoğunluk davranışı.

Şekil 6'da, SC ani başlangıçlı fırtınaların 5 günü boyunca  $K_p$ , IMF(Bz) ve EMF(H) bileşenlerinin grafikleri çizilmişlerdir [22], bu fırtınalar 29 Ekim 1968'den 2 Kasım 1968 tarihine kadar bütün dünyada gözlenmiş olup A, Antisunward, +, (Alan polaritesi güneş rüzgarının Güneş'ten uzaklaşan yönünde olunca pozitif) iken T, Towards, -, (Alan polaritesi güneş rüzgarından Güneş'e yaklaşan yönünde olunca negatif) polariteye sahiptirler. Şayet IMF kendi A veya T polariteleriyle bu sektörel sınırları geçerken etkinleşiyorsa o zaman  $f_0F_2$  değişimi T'den A'ya ve A'dan T'ye geçişlerde Güneş'in rüzgar hızıyla açıklanabilir (Şekil 2; [26] ve Şekil 9; [26]). Güneş leke sayısına ait

tekrarlama çevriminin; değişen fazlarıyla, genlikler arasında; K indisi ile ve EMF ile de olduğu gibi pozitif korelasyonlar mevcuttur. Fakat özellikle bahar aylarında H bileşeninin ilk harmoniği güneş leke sayısı ile düzensiz değişir. Genliklerin mevsimlik değişimi ile genlik harmoniklerinin filtrelenmiş Güneş çevrim değişimleri arasında düzensiz günler için, hem yıllık değişimler hem de Güneş leke sayıları ve K indisi, ve de H bileşeni için hep bir arada mevcut düzensiz günler araştırılmışlardır [27]. İstanbul Kandilli Rasathanesinden K indislerinin 1952 yılından beri ölçülen değerleri, EMF'nin Güneş ve Ay değişimlerinin genlikleri ile istatistiksel önemli ilişkiler göstermektedirler. Güneş'in artan Güneş leke sayısına karşılık olarak EMF'nin tüm bileşenleri ile K indisi genelde bir genlik artışı,  $F_2$  tabakasının kritik frekansı, maksimum elektron yoğunluğu ve tepealtı değeri olarak göstermektedirler [28].



**Şekil 6.** 29-30-31 Ekim ile 1-2 Kasım 1968 tarihlerinde gözlenen 5 günlük SC başlangıçlı şiddetli manyetik fırtınaların; A, Alan polaritesi güneş rüzgarından uzaklaşan yönde olan pozitif ve T, Alan polaritesi güneş rüzgarına yaklaşan yönde olan negatif polaritelere bağlı olarak,  $(1/10) K_p$ ,  $(1/10) IMF(-B_z, nT)$  ve  $H(nT)$  bileşenlerinin karşılaştırılması.

### 3.Yorum, Tartışma ve Sonuç

Sonuçlar şekil ve grafiklerden şöyle yorumlanabilirler;

a)F tabakası oldukça normal bir yükselişi Güneş'in batışına yakın zamanlarda gösterir. Bu yükselişler, 3 adet ani fırtına başlangıcında her bir SSC için ( $SC1$ ,  $SC2$ ,  $SC3$ ) iyonlaşma miktarında ani artışlar, normal seviyelerden %70 dolayındaki değerlere kadar ulaşırlar. Bu ani fırtına başlangıçlarının yerel zaman  $LT=UT+2h$  oluşum saatlerine göre gezegenler arası 3 saatlik manyetik etkinlik indisi  $K_p=7, 8, 7$  ilişkisi aşağıdadır.

Birinci Fırtına:  $SC1$ (29 Ekim 1968 saat 11:09 LT,  $K_p=7$ ), İkinci Fırtına:  $SC2$ (31 Ekim 1968 saat 11:00 LT,  $K_p=8$ ), Üçüncü Fırtına:  $SC3$ (01 Kasım 1968 saat 11:17 LT,  $K_p=7$ ).

I) Nötral rüzgar dolaşımının şiddetlenerek ekvatora doğru hareketi; iyonlaşmaları yukarı taşıyarak daha düşük rekombinasyon süreçlerine sahip bölgelere yoğunlaştırır.

II)Plazma vasıtasıyla iyonkürenin beslenmesi; kendi sıkıştırması yüzünden plazmaküreden ekvatora doğru oluşan akışlarla söz konusudur. Bu sıkıştırma  $ExB$  nedeniyle iyonların kutuplarından, yani, daha yüksek değerli L-manyetik kabuklarından, daha düşük olan L-kabuklarına (ekvatoryale) doğru sürüklenerek (drift) manyetik akı tüpleri boyunca daha ileriye ilave bir harekete sebep olmalarından ötürü akı tüplerinin doyuma ulaşmaları 8-10 saat sonra tamamlanır.

Elektron miktarında tepe yoğunluğa ulaşılmışken, bu tepeli izleyen ani düşmelerin sebepleri şunlardır:

I) Ani bir değişim, elektrik alanının yapısındaki daha yüksek rekombinasyon bölgelerine yani F tabakasının bütünüyle aşağıya doğru driftine yol açabilir.

II) Nötral rüzgârların normal yönlerinden aniden değişime uğramaları mümkün olabiliyor.

Alçak enlemlerdeki termosferin ısıtılmasının kaynağının anlaşılması çok daha zordur. F tabakalarının fırtınalardan sonra salınım yaptığı görülmektedir, bu dalgalı yapı şekillendirilmiştir. F tabakasının yüksekliklerinin önceki daha yüksek olan değerlerine geri dönüş yapmalarının sebepleri aşağıda belirtilen nedenlerden olabilirler;

I) Elektrik alanın özel yapısında aniden belirsizlik oluşması;

II) Nötral rüzgârın normal koşullara dönmeleri.

Her şeye rağmen pozitif fazın nedeni, Güneş'in iyonlaştırıcı radyasyonunun artışı yüzünden olamaz, çünkü; o zaman fırtınanın  $SC$ 'a oldukça daha yakın bir pozitif tepeli gözlememiz gerekirdi. Aeronomik açıdan, genelde, orta enlem

coğrafyasındaki İstanbul'un  $L \approx 1,6$ 'lık manyetik kabuğuyla, ekvatorial fırtına özelliklerine maruz kalmasının nedeni, global yerinin; Atina ( $L=1,4$ ), Roma ( $L=1,6$ ) ve Cape Kennedy ( $L=1,8$ ) istasyonlar benzeri boylamsal şebekede yer almasından kaynaklandığı gibi ayrıca faz benzerlikleri, paralel yapısal özellikler ve karakteristik Mendillo Peak'leri de göstermektedirler. İstanbul'un jeomanyetik enlemi için plazma küresinin bitim çizgisi yerinin  $L=1,6$  ile sınırlı olması  $K_p \geq 7$  durumunda protonküre rezervuarının doyumuna gerekli bekleme süresinin  $t_s = 0,17 * (L)^4 \approx 1,1$  gün olduğu hesaplanmıştır [29]. Böylece bu  $t_s = 1$  günlük besleme süresi kendisini tamamlamasına yetersizdir.

Bu durum, benzer koordinatları olan istasyonlar için beklendiği gibi benzer sonuçlar vermez. Ancak eşdeğer  $L$  değerlerine sahip istasyonlar için benzerdir. Şayet  $F_2$  tabakasının kontrolü tamamen Güneş tarafından yapılsaydı, yerel  $f_oF_2$  kontur haritaları, coğrafik enlem çizgilerini takip etmiş olurlardı [30]. Şu da asla unutulmamalıdır ki; Güneş'in Dünya'ya göre hızlı olduğu zamanlarda, bir çeyrek saate varan farkla ilerleme zamanı, örneğin (zaman denkleminin pozitif olması durumunda) iyonküreye çok aşırı bir oranda enerji zerkinin manyetik küredeki plazma yoluyla ve de tersinin oluşum durumu Güneş'in yüksek jeomanyetik etkinlik koşullarında daima mevcuttur. Güneş rüzgârının  $-B_z$ 'li olduğu zamanlarda Perreault ve Akasofu tarafından türetilen manyetik küre enerji transfer fonksiyonu  $\sin^4(\gamma/2)$  terimi yüzünden  $180^\circ$  civarında egemendir ve buradaki  $\gamma$  kutupsal açısı, güneş-manyetosfer koordinat sisteminin y-z düzlemindeki IMF vektörüne aittir [6], [31].

Bilindiği gibi,  $\varepsilon = vB^2 I_0 \sin^4(\gamma/2)$  bağıntısında görülen  $v$  güneş rüzgârının hızıdır,  $B$  büyüklüğü IMF'ye aittir ve  $I_0$  ise dünyanın yarıçapının 7 katı mesafedir.  $\varepsilon$  fonksiyonunun değişimince ifade edilen, güneş rüzgârından manyetosfere doğru yapılan enerji transferi IMF'nin T pro-sektörleri süresince IMF'nin A anti-sektörlerinin süresince görülenden daha yüksek miktarlarda olurlar. Bir CME sonrasında, ortalama enerji girişi belirleyen yegane güç güneş rüzgârı hızının değişimidir, ancak, burada da yine dikkat edilecek husus; pro  $\rightarrow$  anti sektörel geçişlerdeki azalım davranışına karşın anti  $\rightarrow$  pro sektörel geçişlerdeki artışların çok daha kısa bir sürede olmasıdır. Plazma levhasının uzandığı mesafe, kuyruk potansiyeli,  $\Phi_T$  (Tail potential) terimi ile bilinen manyetik küre kuyruğunun kat ettiği mesafeye düşen potansiyele ya da kutupsal kat etme potansiyeli,  $\Phi_{cp}$  (cross-polar cap potential) terimi ile bilinen kutbun kat ettiği mesafeye düşen potansiyele bağlıdır. Kuyruk potansiyeli değeri  $\Phi_T$   $\varepsilon$ 'ye  $\Phi_T \approx \Phi_{cp} \alpha(\varepsilon)^{0.5}$  bağıntısıyla uyumludur. Ayrıca bunun da korelasyon katsayısı  $\alpha = 0,92$  olup güneş rüzgârı manyetosfer dinamosu değişimleri  $\varepsilon$ , enerji transfer fonksiyonu'nun kuvveti, zamanın fonksiyonu olarak değişir [26]. Sıcaklık artışlarının kaynağı ile bunun fiziksel açıklamaları en güvenli bilgiyi verirler. Ne var ki, şiddetli manyetik etkinlik halen kritik bir araştırma alanı olarak varlığını korumakta olup, uzay hava tahminleri ve tüm mevcut iyonküre modelleri gelişim ve ileri güncelleme gereksinimlerine hala muhtaçtırlar [31]. Çünkü şiddetli bir GS sırasında, teknolojik sistemler üzerinde (GPS, Yer istasyonlarının radarları, haberleşme uyduları ve HF radyoları) aşırı etkin olan iyonküre, radyo dalgalarının yayını bozabilir, geciktirebilir ya da hedefini şaşırtabilir [33]. Neticede, IS sırasındaki HF haberleşmelerinin frekans regülasyonunda optimizasyon terimi olarak dikkate alınması gerekli olan faktör %70 artış göstermesi gerekir, aksi halde haberleşme yapılamaz.

#### 4. Teşekkür

Sayın meslektaşlarıma, iyonogramların elde edilerek değerlendirilmelerinde önderliğinden dolayı hocam Prof. Dr. Taner Bulat'a ve bilgisayar desteklerinden ötürü Prof. Dr. Emin Demirbağ'a müteşekkirim.

#### Kaynaklar

- [1] M. Förster, N. Jakowski, "Geomagnetic storm effects on the topside ionosphere and plasmasphere: a compact tutorial and new results", *Surv. Geophys.*, 21, 47-87, (2000).
- [2] H. Agopyan, "Magnetic and Ionospheric Storms in Istanbul: An Observational Review", *Journal of The Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye, Geophysics, Jeofizik*, edited by Ahmet Tuğrul BAŞOKUR, 8 (2), 105-121, ISSN 0259-1472, (1994).
- [3] S. Matsushita, "A study of the morphology of ionospheric storms", *J. Geophys. Res.*, 64, 305-321, (1959).
- [4] J. W. Dungey, "Interplanetary magnetic field and auroral zones", *Phys. Rev. Lett.*, 6, 47-48, (1961).
- [5] S. Akasofu, S. Chapman, "The development of the main phase of magnetic storms", *J. Geophys. Res.*, 68, 125-129, (1963).
- [6] S. Akasofu, "Energy coupling between solar wind and the magnetosphere", *Space Sci. Rev.*, 28, 121-190, (1981).
- [7] M. Mendillo, J.A. Klobuchar, "Investigations of the ionospheric F-region using multistation TEC observations", *J. Geophys. Res.*, 80, 643-650, (1975).
- [8] G. W. Prölss, "Storm induced changes in the thermosphere composition at middle latitudes", *Planet. Space Sci.*, 35, 807-811, (1987).
- [9] A.E. Hedin, "Atomic oxygen modeling in the upper thermosphere", *Planet. Space Sci.*, 36, 907-920, (1988).

- [10] D. Rees, T.J. Fuller-Rowell, H. Risbeth, “The use of mass spectrometer measurements to derive thermospheric temperatures and density”, *Planet. Space Sci.*, 36, 281-290, (1988).
- [11] A. Hewish ve P. J. Duffet-Smith, “A new method of forecasting geomagnetic activity and proton showers”, *Planet. Space Sci.*, 35, 487-491, (1987).
- [12] B. T. Tsurutani, R.McPHerron, W.Gonzales, G.Lu,J.H.A.Sobrel, N.Gopalswamy Recurrent Magnetic storms: Corotating Solar Wind streams Ameican. Geophysical Society , Un. .Press, Washington,DC, (2006).
- [13] B. T. Tsurutani, W..D. Gonzales, F. Tang, S.I. Akasofu, E.J. Smith, “Origin of interplanetary southward magnetic fields responsible for major magnetic storms near solar maximum (1978-1979)”, *J. Geophys. Res.*, 99, 8519-8531, (1988).
- [14] J.A. Linker ve Z. Mikic, “Extending coronal model to Earth orbit”, *Coronal Mass Ejections*, editors: Nancy Crooker, Jo Ann Joselyn, Joan Feynman, Geophysical Monograph 99, AGU, ISBN 0-87590-081-X ISBN 0065-8448 pp.269-277, (1997).
- [15] C. E. Mc Ilwain, “Coordinates for mapping the distribution of magnetically trapped particles”, *J. Geophys. Res.*, 66, 3681-3691, (1961).
- [16] M. O. Uyar, “Magnetic Storms”, Republic of Turkey, Ministry of National Education, Magnetic Service of Kandilli Observatory Istanbul, 1-5 , (1964).
- [17] T. Bulat ve H. Agopyan, “Tepealti elektron yoğunluğunun Güneş lekelerine ve mevsimlere göre değişimi”, VII. Bilimsel teknik araştırma kurumu kurultayı, Tubitak, İzmir, Türkiye, 387-392, (1980).
- [18] H. Agopyan , “Ionospheric Storms Occuring in Connection with Geomagnetic Storms”, EGS-ESC Joint Meeting, Leeds, England, (1982).
- [19] H. Agopyan, “Ionospheric behavior on geomagnetic storms”, in *Proceedings of the International Symposium on «Radio Beacon Contribution to Study of Ionization and Dynamics of the Ionosphere and Corrections to Geodesy»*, Oulu, Finland, edited by ANTTI TAURAINEN, Part-1, 11-25, (1986).
- [20] H. Agopyan , “Severe magnetic storm effects on the ionosphere over Istanbul”, in *Proceedings of Abstracts on «International Beacon Satellite Symposium (IBSS) 88 on the Investigation of the Ionosphere by Means of Beacon Satellite Measurement»*, April 18-21, Beijing, China, edited by CAO CHONG, China Research Institute of Radio wave Propagation, 2 , (1988).
- [21] H. Agopyan, “The reason for severe magnetic storm effects in the Ionosphere over Istanbul” (ST066), in XXI General Assembly of the European Geophysical Society, 6-10 May 1996, «Solar Terrestrial Events and Their Effects on the Ionosphere and Atmosphere (ST10)», The Hague, Holland, *Ann. Geophysicae*, suppl. III, vol. 14, C755, (1996).
- [22] H. Agopyan, “Severe Magnetic Storm Effects on the Ionosphere over Istanbul: A case study”, *Annals of geophysics*, 45(5)-621-628, October, (2002).
- [23] H. Agopyan, “Revised comparison and analysis of severe magnetic storm effect measured over Istanbul and Rome”, *Annals of geophysics*, 52(5), 453-458, October, (2009).
- [24] J. F. Claerbout, *Imaging the Earth’s Interior* (Blackwell, Oxford, England), 67-75, (1985).
- [25] W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky, W.T. Wetterling, “Numerical Recipes, The Art of Scientific Computing”, Cambridge University Press, 420-429, (1988).
- [26] J. Bremer, “The influence of the IMF structure on the ionospheric F-region”, *J. Atmos. Terr. Physics*, 50, 831-838, (1988).
- [27] A. M. Işıkara, “The solar and lunar influences on the Earth’s magnetic field at Istanbul, *Revue de la Faculté des Sciences de l’Universite d’Istanbul, Géophysique*, Ser. C, 36, 117-127, (1971).
- [28] H. Agopyan, and T. Bulat, “The Changes of Subpeak Electron Content of The Ionosphere Depending on Seasons and Sunspots, Publication of Istituto Nazionale di Geofisica, n. 523, Roma, Italia, (1990).
- [29] Y.Kamide, A. D. Richmond, “Recent advances in studies of magnetosphere ionosphere coupling”, *J. Geomagn. Geoelectr.*, 38, 653-714, (1986).
- [30] M. W. Fox , L. F. McNamara, Improved worldwide maps of monthly median foF2, *J. Atmos. Terr. Physics*, 50, 1072-1086, (1988).
- [31] P.H. Reiff, T.W. Hill, J.L.Burch, “Solar wind plasma injection at the dayside magnetospheric cusp”, *J.Geophys. Res.*, 82,479-491, (1977).
- [32] R.Filjjar, K. Tomislav, S. Kos, “ Klobuchar- Like local model of Quiet space weather GPS ionospheric delay for northern Adriatic, *Journal of navigation ISSN 0373-4633 Coden Jonval*, Volume 62, no:3, pp. 543-544, (2009).
- [33] S. Simpson, U.S.Air Force, Predict Space weather Impact on Technological Systems, pp 6-8, space weather Quarterly, the international, journal of research and application spring (2005).