

ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN foF2 YAPISINDAKİ OLASI ÖZEL İZİ

İbrahim ÜNAL, Yurdanur TULUNAY*, Erdinç TİMOÇİN**, Sema KESMEN**

İnönü Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü, 44280 Malatya, TÜRKİYE

*ODTU, Mühendislik Fakültesi, Uzay ve Havacılık Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, TÜRKİYE

**İnönü Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 44280 Malatya, TÜRKİYE

ibrahim.unal@inonu.edu.tr, ytulunay@ae.metu.edu.tr, ertim44@hotmail.com, semakesmen@gmail.com

Özet: *ARIEL 3 ve ARIEL 4 uyduları elektron yoğunluğu (EY) verileriyle yapılan kapsamlı morfolojik araştırmalar sonucunda, ortamın EY verilerinde, dar bir enlem aralığında ani EY düşüşleri olduğu gözlenmiştir. Buna bağlı olarak yapılan çalışmalar sonucunda, bu EY düşüşlerinin, manyetosferik plazma pause'un (PP) iyonosferdeki izdüşümü olduğu kanıtlanmış ve bu yapı "Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukuru-Trough" olarak adlandırılmıştır. Çukur, uzay havası yönünden, Yer'e Yakın Uzaydaki (YYU) biyolojik ve teknolojik dizgeleri etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada yaklaşık olarak Yer'den 550 km yükseklikteki çukur ele alınarak, bu çukurun iyonosferik F2 bölgesindeki foF2 verilerinde özel bir izinin bulunup bulunmadığı incelenmiş ve ilk sonuçlar sunulmuştur.*

1. Giriş

Yer'in manyetik alanı, uzay fiziğinde çok önemli bir rol oynar. Bu, birçok büyüleyici olaya neden olan yüklü parçacıklar ile manyetik alanın etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Bu olaylar arasında, Yer'in radyasyon kuşaklarında enerjik parçacıkların tuzaklanması ve aurora çizgilerinin oluşumu gösterilebilir. Ayrıca, iyonosferin iletkenliği önemli derecede manyetik alan tarafından değiştirilmektedir ve Güneş-Yer arasındaki önemli etkileşimler, Güneş rüzgârlarının manyetosfer üzerindeki etkilerine dayanmaktadır [1].

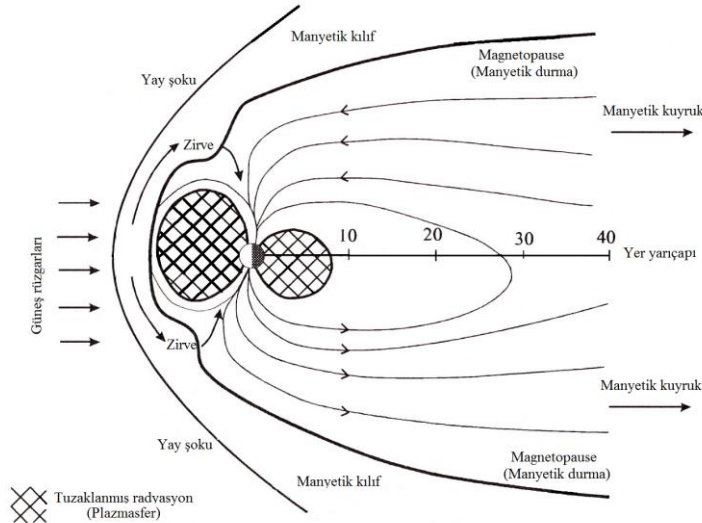
Güneş rüzgârı yani Güneş'in merkezinden dışarı doğru hareket eden elektronların ve iyonların oluşturduğu bir plazma, 300–500 km/s bir hızla Yer'in manyetik alanı üzerinde etkili olur. Hareketli plazma Yer'in Güneş'e bakan tarafındaki alanı sıkıştırır ve Yer'in Güneş'e bakmayan yönünde birkaç milyon kilometre uzayan bir kuyruk içerisinde alan çizgileri şişer. Güneş rüzgârının etkileşimi ve jeomanyetik alan karmaşıktır ve karakteristiklerin çoğunun kontrol süreçleri henüz anlaşılamamasına rağmen, son 30 yılın üzerindeki uydu deneyleriyle manyetosferin temel özellikleri anlaşılma çalışılmıştır.

Yer'in manyetik alanının bir dipol yapısına sahip olması, manyetik alan kuvvet çizgilerinin kuzey ve güney kutup noktalarında yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Böylece kutup bölgesine doğru kuvvet çizgileri hem yoğunlaşacak hem de Yer'e doğru yönelecektir. Bu kuvvet çizgilerinin etrafında tuzaklanmış elektron ve protonlar düşünülürse yani plazma taşıdığı göz önüne alındığında, manyetik orta enlem civarında manyetik alan içerisindeki elektron yoğunluğunda ani ve keskin bir düşme yaşanır. Bu yapı "Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukuru-Trough" olarak adlandırılmıştır [2-9]. Bu çukurun temel sebebi, Güneş rüzgârının içinde taşıdığı manyetik alanın (IMF-Interplanetary Magnetic Field) kuzeyden güneye doğru olması ve Yer'in manyetik alanının ise güneyden kuzeye olması sonucunda, bu etkileşimin manyetosferin şeklini değiştirmesidir. Yer'in gündüz tarafında bu değişimler olurken, gece tarafında Yer'in manyetik kuvvet çizgileri açılır. Böylece plazmasfer ve manyetosfer arasındaki elektron yoğunluğunda büyük bir düşme yaşanır. Kuramsal olarak bu düşme orta enlemlerdeki iyonosferik yüksekliklerde de olması gerekir ve bu durum günümüzde yaşam ve teknoloji üzerinde çok büyük önemi olan orta enlem iyonosferini etkiler. HF haberleşmeleri, iletişim, uydu haberleşmeleri ve bilgi aktarımlarında bu durumun tanımlanması ve modellenmesi çok önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, elektron yoğunluğu çukuru ve iyonosferik F2 tepesi kritik frekansı tanımlanmıştır. 1967'de ve 1972'de Yer yüzeyinden yaklaşık 600 km yukarıdaki yörüngede hareket eden Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından alınan elektron yoğunluğu değerleri kullanılarak tespit edilen orta enlem elektron yoğunluğu çukuru [10] ile bu çukurun aynı enlem, gün ve yerel zamanlarda Yer iyonosferi tarafından ölçülen iyonosferik F2 bölgesindeki foF2 verilerinde özel bir izinin bulunup bulunmadığı araştırılmış ve ilk sonuçlar sunulmuştur.

2. Manyetosfer ve Elektron Yoğunluğu Çukuru

Gezegenler arası ortam ile etkileşimin sonucu, Şekil 1'de gösterilen ve manyetosfer olarak adlandırılan jeomanyetik alanın, sonlu bir hacme hapsedilmesidir. Bu hacmin dış sınırı, manyetik engel olarak adlandırılmaktadır. Manyetosfer, Güneş'e bakan tarafta elipsoidal bir şekle sahiptir ve Güneş tarafındaki manyetik engel üzerindeki bir noktanın yermerkezli uzaklığı, yaklaşık 10 yer yarıçapıdır ($\approx 64000\text{km}$). Bu uzaklık, gezegenler arası ortamın özelliklerine, özellikle Güneş rüzgârlarının dinamik basıncı üzerine bağlı olarak birkaç yer yarıçapı değişiklik gösterebilmektedir. Zirve veya yarık olarak adlandırılan, değişen bölgelerdeki yoğunluk minimumdur. Bunlar, manyetosferin farklı bölgelerine uzayan manyetik alan çizgilerinin ayrıldığı yerlerdir. Örneğin, ayrılan alan çizgileri, manyetosferin Güneş'e bakan tarafında kapalı iken, Yer'in gece tarafında uzaya doğru genişlemektedir.



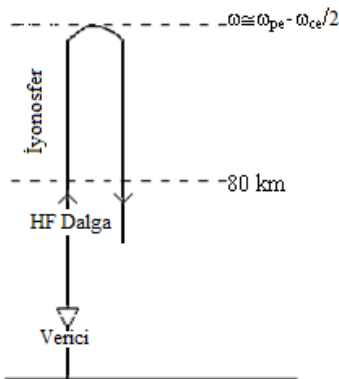
Şekil 1. Yer'in manyetosferinin şematik gösterimi [11].

Güneş rüzgârı yani Güneş'in merkezinden dışarı doğru hareket eden elektronların ve iyonların oluşturduğu bir plazma, 300–500 km/s bir hızda Yer'in manyetik alanı üzerinde etkili olur. Hareketli plazma Yer'in Güneş'e bakan tarafındaki alanı sıkıştırır ve Yer'in Güneş'e bakmayan yönünde yani Güneş rüzgârı yönünün tersi yönünde birkaç milyon kilometre uzayan bir kuyruk içinde alan çizgileri şişer.

Bu alanın içerdiği enerjik iyon ve elektron kuşaklarının 1958 deki keşfi, Jeofizik ve Astronomide büyük bir dönüm noktası olmuştur. Güneş plazması ve iyonosfer arasındaki bölgede tanımlanan bu jeomanyetik alan, yüklü parçacıkları hızlandırır (ivmelendirir), depo eder ve taşır.

Manyetosfer içerisinde uzanan radyasyon kuşakları, enerjili iyon ve elektronların uzun süreli manyetik tuzaklanmayı sağladıkları bölgedir. Şekil 1'e bakıldığında, eğer ekvatordan düşey olarak yukarı doğru elektronlara basarak yürüdüğümüz zaman plasmosferin bittiği noktada bir çukura düşeceğimiz görülür. Yani plazmasferin sonu olarak tarif edilen PP bölgesinde elektron yoğunluğunda ani bir düşme yaşanacaktır. İşte bu düşüş elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge ekvatordan itibaren yaklaşık olarak 6-7 R_E veya 36000 km-40000 km uzaklık olarak tanımlanırken, orta enlemlerde PP'nin iyonosferdeki izdüşümü olduğu kanıtlanmış ve orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmıştır [7, 9-10].

3. İyonosferik Kritik Frekans



Şekil 2. İyonosferde dikey yayılan HF radyo dalgasının şematik gösterimi [12].

Şekil 2, iyonosfere dikey gönderilen dalganın iyonosferden yansımaları ve yansıdığı yüksekliği göstermektedir. Bu yükseklikte elektron yoğunluğu maksimumdur. Bu yükseklik, tepe yüksekliği olarak adlandırılır (h_mF2). Bu yükseklikten yansıyan dalganın frekansı, ordinari dalga için foF2 olarak tanımlanmakta ve F2 tabakası kritik frekansı olarak adlandırılmaktadır.

Dalganın yansıma noktası, kırılma indisinin sıfır olduğu nokta olduğu için, dalga yaklaşık olarak ortamın titreşim frekansına eşit olduğu noktada yansıyacaktır. Herhangi bir zamanda yansıyacak maksimum dalga frekansı o andaki maksimum titreşim frekansının olduğu duruma denk düşecektir [13]. Buna göre iyonosferden en fazla yansıyabilecek dalga, elektron yoğunluğunun en fazla olduğu F2 tepesinden yansıyacak dalga olup, yılın tüm günlerinde ve saatlerinde Güneş ışınlarının geliş açısı ve dolayısıyla elektron yoğunluğuna göre değişiklik gösterir.

4. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 1972 yılında Kuzey yarım kürede Tablo 1’de gösterildiği gibi, 30°-70° sabit (invariant) manyetik enlemler ve 0°-180° doğu boylamlar arasındaki iyonsondalardan elde edilen foF2 verileri kullanılmıştır. Veriler SPIDR (Space Physics Interactive Data Resouce) data merkezinden elde edilmiştir [14]. Her saat için bir yıllık veri alınmıştır. Bu veriler dört mevsim için incelenmiştir. 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül ve 21 Aralık için incelemeler, bu günler civarındaki 84 gün (± 42 gün) için alınmıştır. Güneş’in sakin olduğu ($K_p \leq 2^+$) saatler için veriler seçilerek, her saat için aritmetik ortalama alınmış ve bir değer elde edilmiştir.

Tablo 1’deki her istasyon için alınan saatlik ortalama verileri kullanılarak ve istasyonların konumları dikkate alınarak, her saat için kritik frekans değerinin invariant manyetik enleme göre değişimleri incelenmiştir.

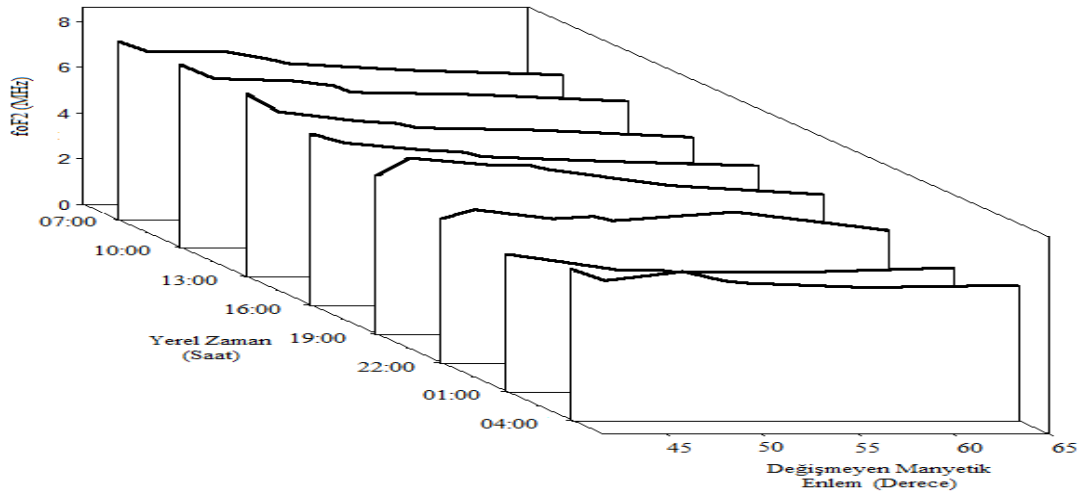
Tablo1. Bu çalışmada kullanılan iyonsonda istasyonlarının coğrafik ve manyetik koordinatları.

İstasyon Adı	Coğrafik Enlem (Derece)	Coğrafik Boylam (Derece)	L Değeri	Değişmeyen Manyetik Enlem (Derece)
Sofia	42,7 K	23,4 D	1,8	41,8
Bekescsaba	46,7 K	21,2 D	1,9	43,5
Kiev	50,5 K	30,5 D	2,2	47,6
Miedzeszyn	52,2 K	21,2 D	2,4	49,7
Kaliningrad	54,7 K	20,6 D	2,5	50,7
Upsala	59,8 K	17,6 D	3,4	57,1
Lysksee	64,6 K	18,7 D	5,6	65

5. Sonuç ve Tartışma

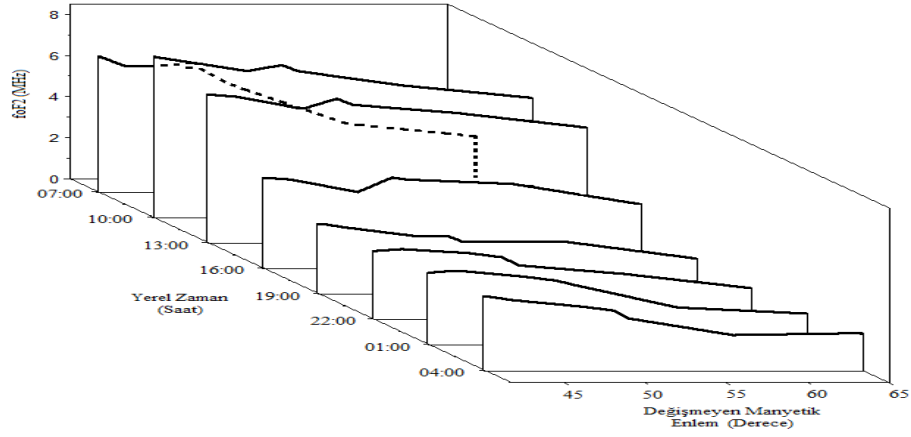
Elektron yoğunluğu çukurunun foF2 verileri üzerindeki izdüşümünü incelemek için, yukarıda verdiğimiz metot doğrultusunda incelediğimiz kritik frekans değerinin invariant manyetik enleme göre değişimlerinin, Mayıs 1967’de fırlatılan Ariel 3 ve Aralık 1971’de fırlatılan Ariel 4 uydularından elde edilen elektron yoğunluğunun invariant manyetik enleme göre değişimleri incelenerek karşılaştırılacaktır.

Buna göre 1972 yılının 21 Haziran yani yaz civarındaki veriler dikkate alınarak Şekil 3’teki grafik elde edilmiştir. Yılın bu dönemi için foF2 değerleri, yaklaşık her yerel zaman için enlem derecesinin artması ile düzgün bir şekilde azalma ortaya koymaktadır. Bu dönem için foF2 verilerinde çukur tam olarak gözlemlenmemiştir. Bu durum literatürdeki EY verileri ile büyük oranda örtüşen bir sonuçtur.

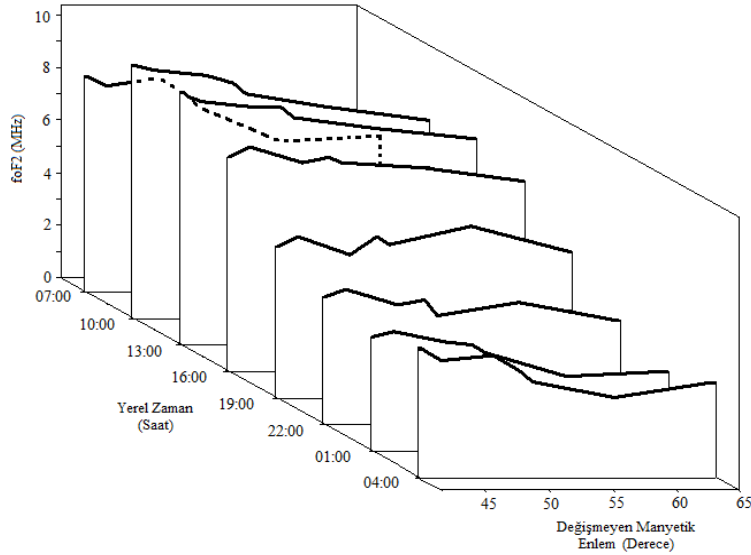


Şekil 3. 21 Haziran civarında farklı yerel zamanlardaki ortalama foF2’nin enlemsel davranışı.

Aynı yılın 21 Aralık yani kış civarındaki veriler dikkate alınarak Şekil 4’teki grafik elde edilmiştir. Bu dönem için Ariel 3 uydusundan elde edilen elektron yoğunluklarının invariant manyetik enleme göre değişimini incelediğimizde çukura benzer yapılar Avrupa üzerinde yılın diğer dönemlerine göre çok net ve günün büyük çoğunluğunda gözlemlenmektedir. Bu durum ile foF2 verilerinden elde edilen durum karşılaştırıldığında tam bir benzerlik ortaya koymamaktadır.



Şekil 4. 21 Aralık civarında farklı yerel zamanlardaki ortalama foF2'nin enlemsel davranışı.



Şekil 5. 21 Mart civarında farklı yerel zamanlardaki ortalama foF2'nin enlemsel davranışı.

21 Mart yani ilkbahar ekinoksu civarındaki veriler dikkate alınarak Şekil 5'deki grafik elde edilmiştir. Burada, gece saatleri için foF2 profilleri yaklaşık olarak 55°'ye kadar düzgün bir şekilde azalma ortaya koyarken, enlem değeri artıkça bir artış meydana gelmektedir. Gündüz saatleri için ise foF2 değerleri enlemin artması ile sürekli ve yavaş bir şekilde azalmaktadır. Genellikle gece saatlerinde meydana gelen bu yapı EY çukurunu karakterize etmektedir. Çukur genellikle 45° ile 60° arasında tespit edilmiştir. Gündüz saatlerinde bu yapı daha yüksek enlemlerde gözlemlenirken, gece saatlerindeki derinliği daha fazladır. Genel olarak ekinoks civarındaki foF2 verileri, literatürdeki sonbahar ekinoksu EY verileri ile benzerlik göstermektedir.

Kaynaklar

- [1]. Prölss, G. W., Physics of the Earth's Space Environment. Springer-Verlag Press, Berlin-Heidelberg-New York, 2004.
- [2]. Muldrew, D. B., "F-layer ionisation troughs deduced from Alouette data", J. Geophys. Res., 70, s.2635-2650, 1965.
- [3]. Carlson, H. C., "Ionospheric heating by magnetic conjugate point photoelectrons", J. Geophys. Res., 71, s.195-199, 1966.
- [4]. Sharp, G. W., "Mid-latitude trough in the night ionosphere", J. Geophys. Res., 71, s.1345-1356, 1966.
- [5]. Rishbeth, H. ve Garriott, O. K., Introduction to Ionospheric Physics, Academic Press, New York, 1969.
- [6]. Kelley, M. C., The Earth's Ionosphere (Plasma Physics and Electrodynamics), Academic Press, New York, London, 1989.
- [7]. Tulunay, Y. K. ve Sayers, J., "Characteristics of mid-latitude trough as determined by the electron density experiments on Ariel-3", J. Atmosph. Terr. Phys, 33, s.1737-1761, 1971.
- [8]. Tascione, T. F., Introduction to The Space Environment, ORBIT Book Company, Malabar, Florida, 1988.
- [9]. <http://www.ualberta.ca/~dumberry/geoph325/325D4-2008.ppt>
- [10]. Tulunay, Y. K., "Global electron density distributions from the Ariel 3 satellite at mid-latitudes during quiet magnetic periods", J. Atmosph. Terr. Phys, 35, s.233-254, 1973.
- [11]. http://education.gsfc.nasa.gov/.../3b-magnetic_fie
- [12]. Ünal, İ., Özcan, O ve Canyılmaz, M., "Ionospheric absorption of the HF radio wave in vertical propagation", Iranian J. of Sci. and Tech.-Trans. A, 31(A4), 413-419, 2007.
- [13]. Ünal, İ., Şenalp, E. T., Yeşil, A., Tulunay, E. ve Tulunay, Y. "Performance or IRI-based ionospheric critical frequency calculation with reference to forecasting", Radio Science, Vol.46 RS1004, 2011.
- [14]. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>