



Sema Kesmen

Inönü University, semakesmen@gmail.com, Malatya-Turkey

İbrahim Ünal

Inönü University, ibrahim.unal@inonu.edu.tr, Malatya-Turkey

Erdoğan Timoçin

Inönü University, ertim44@hotmail.com, Malatya-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.1.3A0075>

ORTA ENLEM ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN İYONOSFERİK KRİTİK FREKANSLARDAKİ İZİNİN İNCELENMESİ

ÖZ

Bu çalışmada, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun iyonosferik kritik frekanslardaki olası izi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için kuzey yarım kürede 30° - 70° değişmeyen manyetik enlemler (Λ) arasındaki iyonosondalardan alınan 1972 yılına ait saatlik iyonosferik kritik frekans (foF2) değerleri kullanılmıştır. foF2 değerleri istatistiksel metotlar kullanılarak, yerel zamana, mevsimlere, farklı jeomanyetik aktivite (K_p) gruplarına ve değişmeyen manyetik enleme göre incelenmiştir. Bu incelemelere göre, çukura benzer yapılar gündüz saatlerine kıyasla gece saatlerinde daha fazla oluşmuş ve artan K_p değeri ile daha belirgin gözlemlenmiştir. Ayrıca, K_p değerleri arttıkça çukura benzer yapıların en fazla gözlemlendiği mevsim Aralık, en az gözlemlendiği mevsim ise Haziran dönemi olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yaklaşık 550 km'de ölçülen elektron yoğunluğu verileri ile daha düşük yüksekliklerdeki foF2 verilerinin farklı yerel zamanlar ve farklı mevsimler için benzer değişimler gösterdiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, Manyetosfer, Elektron Yoğunluğu Çukuru, Kritik Frekans, Haberleşme

THE INVESTIGATION OF SIGNATURE AT IONOSPHERIC CRITICAL FREQUENCIES OF MID-LATITUDE ELECTRON DENSITY TROUGH

ABSTRACT

In this study, a possible trace of mid-latitude electron density trough was studied to determine on ionospheric critical frequencies. For this purpose, hourly critical frequency values that were taken from the ionosondes at between 30° - 70° invariant magnetic latitudes (Λ) of the northern hemisphere were used. foF2 values were investigated by using statistical methods according to local time, seasons, different groups of K_p and invariant magnetic latitude. According to this investigates, the structures similar to trough occurred for more night hours than day hours and structures similar to trough are observed more prominent with increasing K_p value. In addition, it was determined that structures similar to trough were more observed for December period and were least observed for June period with increasing K_p value. As a result, the electron density data measured at about 550 km and foF2 data at lower latitudes have been exhibited similar changes for different local times and different seasons.

Keywords: Ionosphere, Magnetosphere, Electron Density Trough, Critical Frequency, Communication



1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güneş patlamaları sonucu meydana gelen Güneş rüzgârları, Yer'in manyetik alanını önemli derecede etkilemekte ve bu etkileşim, iyonosferdeki elektron yoğunluğunda büyük ve ani değişimlere sebep olabilmektedir. Güneş rüzgârlarından kaynaklı elektron yoğunluğunda meydana gelen bu değişim, özellikle 30°-70° değişmeyen manyetik enlemler arasında bulunan iyonosferin yaklaşık 550 km yüksekliklerinde elektron yoğunluğundaki bir azalma olarak kendini göstermektedir. Bu bölgedeki elektron yoğunluğunun azalmasından dolayı gözlemlenen çukur "Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukuru" olarak isimlendirilmiştir [1 ve 9]. 1960-1972 yılları arasında sayıları çok az olan alçak Yer yörüngesi uydularından özellikle, Ariel 3 ve Ariel 4 uydularının kesintisiz ve çok sayıdaki ortamın elektron yoğunluğu verileriyle yapılan morfolojik çalışmalar sonucunda orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun nitel tanımlaması yapılmış ve nicel ölçütleri geliştirilmiştir [7 ve 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. Meydana gelen bu değişim plazmasfer ve manyetosfer arasında manyetik alan içerisindeki elektron yoğunluğunda ani ve keskin bir azalmaya neden olur. Kuramsal olarak bu azalmanın orta enlemlerdeki iyonosferin daha düşük yüksekliklerinde de meydana gelmesi gerekir.

Bunu izleyen araştırmalarda ise kuramsal bir "plasmopause" modeli ile iyonosferin yaklaşık 550 km'de gözlenen orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun karşılaştırması yapılmış ve orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun, manyetosferik plasmopause'un iyonosfersel izdüşümü olduğu ortaya çıkarılmıştır [10 ve 13]. Bu çalışmanın amacı, yaklaşık 550 km den Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından elde edilen elektron yoğunluğu verileri kullanılarak orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılan yapının, 250 km civarındaki özellikle haberleşmede çok büyük öneme sahip olan foF2 üzerindeki olası izini araştırmaktır [14 ve 21].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Manyetosferik plasmopause'un iyonosfersel izdüşümünün tanımlanması ve modellenmesi, yerden yaklaşık 200-300 km yüksekliklerdeki HF haberleşmeleri, iletişim, uydu haberleşmeleri ve bilgi aktarımları için oldukça önemlidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, yaklaşık 550 km'deki elektron yoğunluğu çukurunun foF2 üzerindeki olası izini tespit etmek için, 1972 yılında 30°-70° değişmeyen manyetik enlemler arasındaki iyonosferden alınmış saatlik foF2 verileri ve jeomanyetik aktivite değişimlerinin çukurun yapısı ve oluşumu üzerindeki etkisini görebilmek için aynı yılın K_p verileri kullanılmıştır. foF2 verileri ve K_p verileri, Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR)'den alınmıştır. Kullanılan istasyonların adları, coğrafik ve manyetik enlem-boylam değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca bu istasyonların Avrupa üzerindeki konumları Şekil 1'de gösterilmiştir. Saatlik foF2 verilerinden çukurun oluşumu ve yapısındaki değişimlere, yerel zamanın, mevsimlerin ve jeomanyetik aktivitenin etkilerini görmek için;

- foF2 verileri 3'er saatlik K_p değerleri referans alınarak, 1. yerel zaman grubu (00:00-02:00), 2. yerel zaman grubu (03:00-05:00), 3. yerel zaman grubu (06:00-08:00), 4. yerel zaman grubu (09:00-11:00), 5. yerel zaman grubu (12:00-14:00), 6. yerel zaman grubu (15:00-17:00), 7. yerel zaman grubu (18:00-20:00) ve 8. yerel zaman grubu (21:00-23:00) olacak şekilde 8 yerel zaman grubu için incelenmiştir.
- İstasyonlardan alınan foF2 verileri 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül ve 21 Aralık günlerinin 42 gün öncesi ve 42 gün sonrasını kapsayan 85 günlük bir aralığa sahip dört mevsim için incelenmiştir.
- İstasyonlardan alınan foF2 verileri, jeomanyetik sakin ($K_p \leq 2^+$) dönem ve jeomanyetik aktif ($K_p > 2^+$) dönem için ayrı ayrı incelenmiştir.
- İyonsonda istasyonlarından alınan 85 (± 42) günlük saatlik foF2 verilerinin aritmetik ortalamaları alınarak her bir yerel zaman grubu için ortalama iyonosferik kritik frekans değerleri (foF2) hesaplanmış ve bu değerlerin değişmeyen manyetik enleme göre grafikleri yukarıdaki üç durumun her biri için çizdirilmiştir.

Tablo 1. 1972 için foF2 verilerinin alındığı iyonsonda istasyonlarının isimleri ve konumları

(Table 1. The names and locations of the ionosonde stations those are taken foF2 data for 1972)

İstasyon Adı	Coğrafi Enlem	Coğrafi Boylam	Manyetik Enlem
Sofia	42,7° K	23,4° D	40,7° K
Bekescsaba	46,7° K	21,2° D	45,0° K
Kiev	50,7° K	30,3° D	47,6° K
Miedzeszyn	52,2° K	21,2° D	50,3° K
Kaliningrad	54,7° K	20,6° D	52,8° K
Upsala	59,8° K	17,6° D	58,2° K
Lysksele	64,6° K	18,7° D	62,5° K

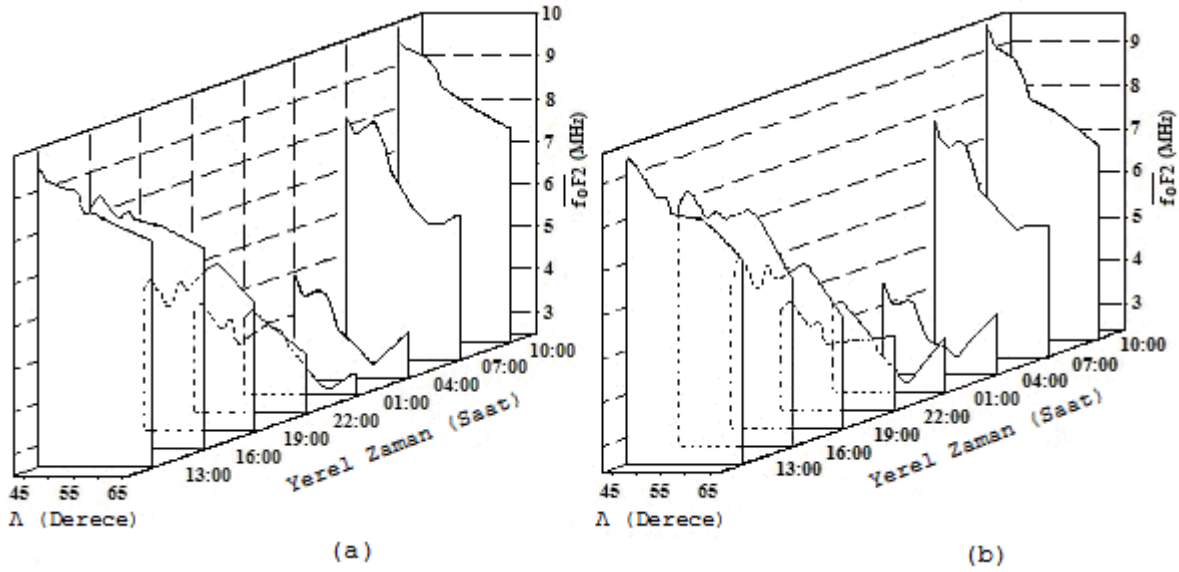


Şekil 1. 1972 için foF2 verilerinin alındığı iyonsonda istasyonlarının Avrupa üzerindeki konumları

(Figure 1. The locations over the Europe of the ionosonde stations those are taken foF2 data for 1972)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

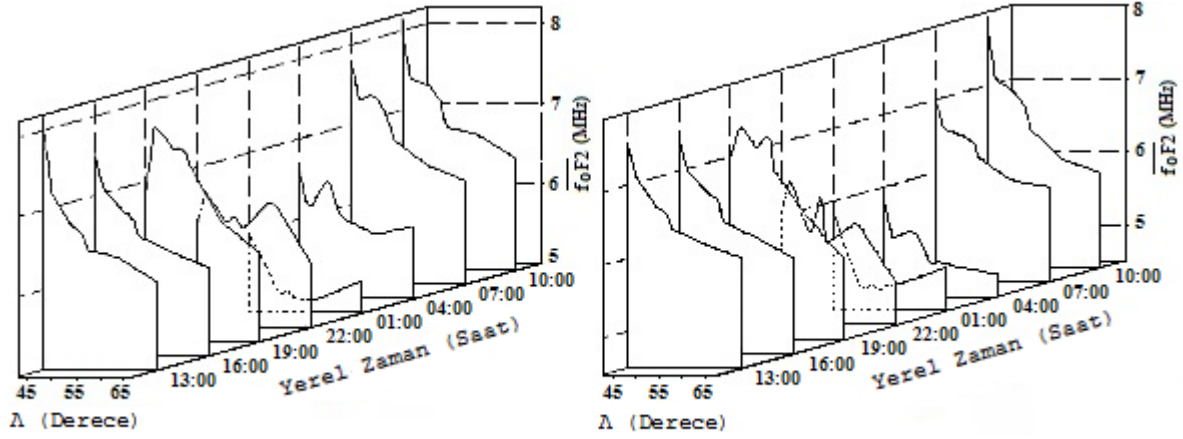
Şekil 2 (a), 21 Mart civarında $K_p \leq 2^+$ durumu için farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Burada, gece saatleri için ortalama foF2 değerleri yaklaşık olarak $57^\circ \Lambda$ kadar düzgün bir şekilde azalma ortaya koyarken, enlem değeri artıkça ortalama foF2 değerlerinde artış meydana gelmektedir. Bu duruma benzer bir yapı, saat 07:00 civarında da kısmen gözlemlenmiştir. Ancak gece saatlerinde meydana gelen çukura benzer yapılar, saat 07:00'da gözlemlenen çukurdan daha belirgin bir yapıya sahiptir. Gündüz saatleri için ise ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik enlemin artması ile sürekli ve yavaş bir şekilde azalmaktadır.



Şekil 2.(a) $K_p \leq 2^+$ için 21 Mart döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri (b) $K_p > 2^+$ için 21 Mart döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri
(Figure 2.(a) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 March period for $K_p \leq 2^+$ (b) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 March period for $K_p > 2^+$)

Şekil 2 (b) ise 21 Mart döneminin $K_p > 2^+$ durumu için farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi çukura benzer yapılar, $K_p \leq 2^+$ durumuna benzer şekilde 01:00 ve 04:00 yerel zaman grupları için net bir şekilde gözlemlenmektedir. Ancak $K_p \leq 2^+$ durumundan farklı olarak, $K_p > 2^+$ durumu için tespit edilen çukurlar daha derin bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, çukura benzer yapılar

$K_p > 2^+$ için daha net olarak tespit edilmektedir. Bu saatler dışındaki yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerleri, manyetik enlemin artışı ile düzenli bir azalma sergilemektedirler.



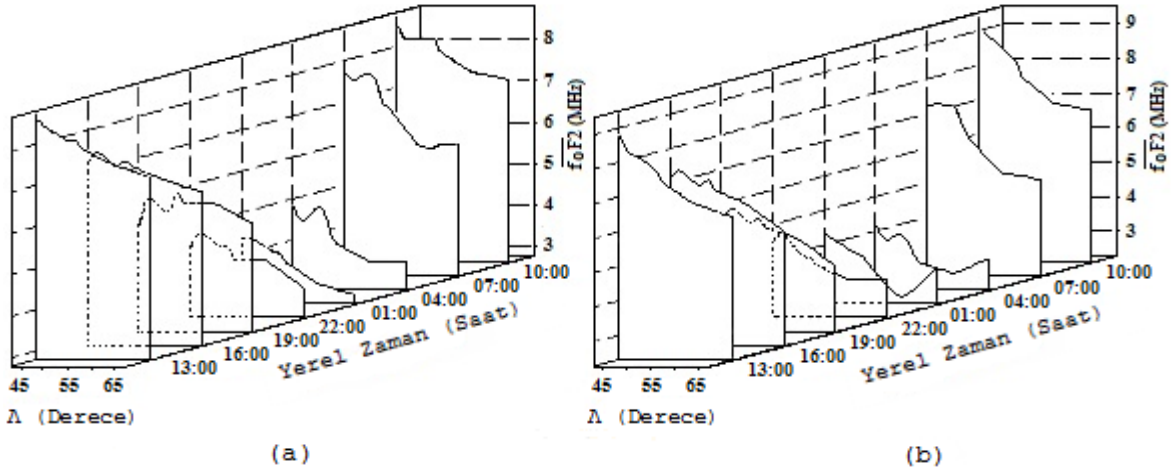
(a)

(b)

Şekil 3.(a) $K_p \leq 2^+$ için 21 Haziran döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri (b) $K_p > 2^+$ için 21 Haziran döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

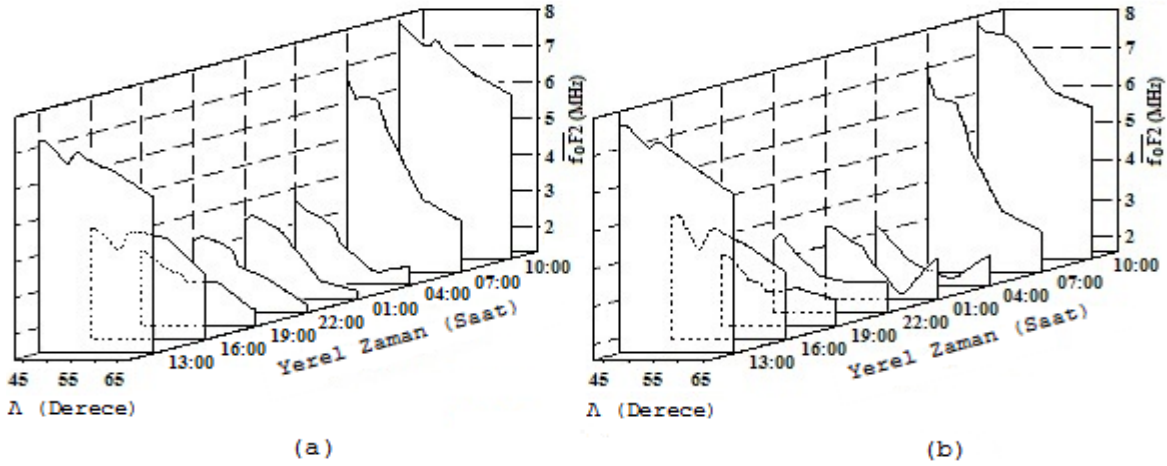
(Figure 3.(a) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 June period for $K_p \leq 2^+$ (b) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 June period for $K_p > 2^+$)

Şekil 3'ü incelediğimizde, Mart döneminden farklı olarak Haziran döneminin hem $K_p \leq 2^+$ durumu hem de $K_p > 2^+$ durum için çukurun yalnızca 01:00 yerel zaman grubu için net bir şekilde tespit edilebildiği görülmektedir. Günün diğer yerel zaman gruplarında ise ortalama foF2 değerleri, değişmeyen manyetik enlem değerinin artması ile sürekli ve düzenli bir azalma meydana getirmektedir. Yani Haziran döneminde jeomanyetik aktivite artışının ortalama foF2 değerleri üzerinde etkisi net bir şekilde tespit edilememiştir. Şekil 4 (a)'dan, 23 Eylül döneminin $K_p \leq 2^+$ durumu için tüm yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlemin artması ile sürekli bir azalma meydana getirdiği görülmektedir. Yani 21 Mart ve 21 Haziran dönemlerinde gözlemlenmiş olan çukura benzer yapılar, bu mevsimin hemen hemen hiçbir yerel zaman grubu için gözlemlenmemiştir. 23 Eylül'ün jeomanyetik olarak aktif olduğu ($K_p > 2^+$) dönemi incelediğimizde (Şekil 4 (b)), çukura benzer yapının 01:00 yerel zaman grubu için net bir şekilde tespit edilebildiği ve 04:00 yerel zaman grubu için ise kısmen meydana geldiği görülmektedir. Günün diğer yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerleri diğer mevsimlerdeki yerel zaman gruplarına benzer bir yapı göstererek değişmeyen manyetik enlem değerinin artması ile sürekli bir azalma meydana getirmektedir.



Şekil 4. (a) $K_p \leq 2^+$ için 23 Eylül döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri (b) $K_p > 2^+$ için 23 Eylül döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

(Figure 4. (a) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 23 September period for $K_p \leq 2^+$ (b) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 23 September period for $K_p > 2^+$)



Şekil 5. (a) $K_p \leq 2^+$ için 21 Aralık döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri (b) $K_p > 2^+$ için 21 Aralık döneminin farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

(Figure 5. (a) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 December period for $K_p \leq 2^+$ (b) Variations according to invariant magnetic latitudes of the averaged foF2 values at different local time groups of the 21 December period for $K_p > 2^+$)

Şekil 5 (a) incelendiğinde, 21 Aralık döneminin jeomanyetik olarak aktif olmayan durumda her bir yerel zaman grubu için elde edilen ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik enlemin artması ile düzgün bir azalma meydana getirmektedir. Bu durum, $K_p \leq 2^+$ olduğu 23 Eylül dönemi ile benzer bir yapı sergilemektedir. 21 Aralık döneminin $K_p > 2^+$ durumu için farklı yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gösteren Şekil 5 (b)'yi incelediğimizde, 01:00 ve 04:00 yerel zaman grupları için çukura benzer yapıların net bir şekilde ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum gece saatlerinin büyük bölümünde tespit edilmiştir. Buradan jeomanyetik aktivitenin gece saatlerinde çukur oluşumu üzerindeki etkisi net bir şekilde görülmektedir. Gündüz saatlerinde ise ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem değerinin artması ile sürekli bir azalma meydana getirdiği görülmektedir. Diğer mevsimlerin $K_p > 2^+$ durumları ile karşılaştırdığında, 21 Aralık dönemi gece saatlerinde tespit edilen çukur yapısı yönünden 21 Mart dönemi ile birlikte çukur yapısının en fazla gözlemlendiği mevsimler olmuştur.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun iyonosferik foF2 üzerindeki olası izinin incelendiği bu çalışmada, 1972 yılı için orta enlem bölgesi olarak tanımlanan $30^\circ-70^\circ \Lambda$ arasındaki 7 iyonosonda istasyonundan alınan saatlik foF2 verilerinin Λ ile değişimleri istatistiksel yöntemler kullanılarak farklı K_p değerlerine, farklı mevsimlere ve farklı yerel zaman gruplarına göre incelenmiştir. Bu analizler sonucunda genel olarak, $K_p \leq 2^+$ olduğu sakin ve $K_p > 2^+$ olduğu aktif durumlar için istasyonlardan alınan foF2 verileri gece saatleri için $41,8^\circ K \Lambda$ 'da bulunan Sofia istasyonunda maksimum değerini alırken, $57,1^\circ K \Lambda$ 'daki Uppsala istasyonunda minimum değerine sahiptir.

Manyetik sakin ve manyetik aktif durumlar için ortalama foF2 değerleri gündüz saatlerinde Λ 'nın artması ile sürekli bir azalma gösterirken, $K_p > 2^+$ durumunda foF2'nin çukura benzer bu yapısı gece saatlerinin büyük bölümünde tespit edilmiş ve $K_p \leq 2^+$ durumunda yalnızca belirli yerel zaman grupları için gözlemlenmiştir. Buradan foF2 için çukura benzer yapıların gündüz saatlerine kıyasla gece saatlerinde daha fazla meydana geldiği, ayrıca artan K_p değerinin gece saatlerinde gözlemlenen bu yapıların oluşmasında arttırıcı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum, jeomanyetik aktivite ile özellikle gece saatlerinde tespit edilen çukur sayısı ve bu çukurların derinliği arasında pozitif yönlü bir ilişkinin olduğunun açık bir göstergesidir [7].

$K_p \leq 2^+$ ve $K_p > 2^+$ durumları için istasyonlardan alınan foF2 verilerinden hesaplanan ortalama foF2 değerlerinin mevsimlere göre yapılan analizlerinden, $K_p \leq 2^+$ durumu için elektron yoğunluğu çukuruna benzer yapılar, tüm mevsimlerin gece saatlerinde tespit edilemezken $K_p > 2^+$ durumunda tespit edilmiştir. $K_p > 2^+$ durumunda gece saatlerinde bu yapının en fazla ve en belirgin gözlemlendiği mevsimler Mart ve Aralık dönemleri, en az gözlemlendiği mevsim ise Haziran dönemidir.

Bu sonuçlar, Ariel 3 ve Ariel 4 uydularının ortalama 550 km de ölçtüğü elektron yoğunluğunun, farklı K_p ve farklı yerel zamanlara göre incelenmesinden elde edilen sonuçlar ile önemli benzerlikler göstermektedir [7, 23 ve 24].

Manyetik orta enlem bölgesinde iyonsondalarla ölçülen foF2 verileri ile uydular tarafından ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin benzerlik göstermesi, iyonosferin yaklaşık 550 km'deki yapısının fiziksel süreçler sonucunda F2 bölgesini etkilediğini ortaya koymaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (Ankara/Türkiye)'nde görev yapan Prof.Dr. Yurdanur Kabasakal Tulunay'a bu çalışmada ihtiyaç duyulan kolaylıkları sağladığı için minnettardır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rishbeth, H. and Garriott, O.K., (1969). Introduction to Ionospheric Physics. New York: Academic Press.
2. Calvert, W. and Van Zandt, T.E., (1966). Fixed-frequency Observation of Plasma Resonances in the Topside Ionosphere, J. Geophys. Res., 71:1799-1813.
3. Carlson, H.C., (1966). Ionospheric Heating by Magnetic Conjugate Point Photoelectrons, J. Geophys. Res., 71:195-199.
4. Muldrew, D.B., (1965). F-layer Ionisation Troughs Deduced from Alouette Data, J. Geophys. Res., 70:2635-2650.
5. Sharp, G.W., (1966). Mid-latitude Trough in the Night Ionosphere, J. Geophys. Res., 71:1345-1356.
6. Kelley, M.C., (1989). The Earth's Ionosphere (Plasma Physics and Electrodynamics). New York, London: Academic Press.
7. Tulunay, Y.K. and Sayers, J., (1971). Characteristics of Mid-latitude Trough as Determined by the Electron Density Experiments on Ariel-3, J. Atmosph. Terr. Phys., 33:1737-1761.
8. Schunk, R.W. and Nagy, A.F., (2000). Ionospheres. New York: Cambridge University Press.
9. Tulunay, Y.K., (1972). The Topside Ionosphere as Observed by the Satellite Ariel 3. Doktora Tezi, İngiltere: Birmingham Üniversitesi Uzay Araştırmaları Bölümü.
10. Grebowsky, J.M., Maynard, N.C., Tulunay, Y.K., and Lanzerotti, L.J., (1976). Coincident Observations of Ionospheric Troughs and the Equatorial Plasma-Pause, Planet. Space Sci., 24:1177-1185.
11. Tulunay, Y.K., (1972). Some Topside Electron Density Measurements Made by the Ariel-3 Satellite during the Geomagnetic Storm of May 25-27 1967, Planet. Space Sci., 20:1299-1307.
12. Tulunay, Y.K., (1972). Magnetically Symmetrical Detection of the Mid-latitude Electron Density Trough by the Ariel-3 Satellite, J. Atmosph. Terr. Phys., 34:1547-1551.
13. Grebowsky, J.M., Maynard, N.C., and Tulunay, Y.K., (1976). Coincident Plasma Pause-Troughs Observations, EOS T Am Geophys. Un., 57(4):299-299.
14. Tulunay, Y.K., (1973). Global Electron Density Distributions from the Ariel 3 Satellite at Mid-latitudes during Quiet Magnetic Periods, J. Atmosph. Terr. Phys., 35:233-254.
15. Grebowsky, J.M., Tulunay, Y.K., and Chen, A.J., (1974). Temporal Variations in the Dawn and Dusk Mid-latitude Trough Position and Plasmopause, Planet. Space Sci., 22:1089-1099.



16. Tulunay, Y.K., (1974). Mid-latitude Ionosphere as Observed by Satellites Ariel-3 and Ariel-4, B. Am. Meteorolog. Soc., 55(6):650-650.
17. Tulunay, Y.K. and Grebowsky, J.M., (1975). Temporal Variations in Dawn and Dusk Mid-latitude Trough positions, EOS T Am Geophys., 56(3):172-172.
18. Tulunay, Y.K. and Grebowsky, J.M., (1975). Temporal Variations in the Dawn and Dusk Mid-latitude Trough Position-Measured (Ariel-3, Ariel-4) and Modelling, Ann. Geophys., 31:29-38.
19. Tulunay, Y.K. and Grebowsky, J.M., (1978). The Noon and Midnight Mid-latitude Trough as Seen by Ariel 4, J.Atmosph. Terr. Phys., 40:845-855.
20. Rothkaehl, H., Stanislawski, I., Leitinger, R., and Tulunay, Y.K., (2000). Application of a Trough Model for Telecommunication Purposes, Physics and Chemistry of the Earth, 25(4):315-318.
21. Tulunay, Y.K., Stanislawski, I., and Rothkaehl, H., (2003). Revisiting the Ariel Trough Work for HF Telecommunication Purposes, Cosmic Research Journal, 41(4):1-13.
22. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr/>.
23. Tulunay, Y.K., (1977). Ariel 4 Uydusuyla Elde Edilen Elektron Yoğunluğu Çukurunun 07.00 ve 21.00 Yerel Saatlerinde İncelenmesi. Doçentlik Tezi, Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi.
24. Tulunay, Y.K., Rothkaehl, H., Juchnikowski, G., Laletas, Y., and Stanislawski, I., (1998). A Comparison between the Ariel 4 Ambient Electron Density and Ionospheric Critical Frequency over COST 251 Area, Proceedings of the 2nd COST 251 Workshop, Side-Antalya, Türkiye.