

**T.C.  
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA ENLEM ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN  
İYONOSFERİK KRİTİK FREKANSLARINDAKİ  
İZİNİN İNCELENMESİ**

**SEMA KESMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**ŞUBAT 2013**

Tezin Başlığı : Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun İyonosferik Kritik Frekanslarındaki İzinin İncelenmesi.

Tezi Hazırlayan: Sema KESMEN

Sınav Tarihi :01/02/2013

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Sınav Jüri Üyeleri**

**Tez Danışmanı:** **Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÜNAL** .....  
İnönü Üniversitesi

**Eş Danışman:** **Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY** .....  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Ali YEŞİL** .....  
Fırat Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Tuncay ÖZDEMİR** .....  
İnönü Üniversitesi

**Prof. Dr. Mehmet ALPASLAN**  
Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun İyonosferik Kritik Frekanslarındaki İzinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada, yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

**Sema KESMEN**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ORTA ENLEM ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN İYONOSFERİK KRİTİK FREKANSLARINDAKİ İZİNİN İNCELENMESİ

Sema KESMEN

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

xvi+68 sayfa

2013

Danışmanlar:

Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÜNAL  
Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY

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. Özellikle jeomanyetik olarak aktif dönemlerde  $30^{\circ}$ - $70^{\circ}$  değişmeyen manyetik enlem bölgesindeki orta enlem elektron yoğunluğundaki değişim, iletişim ve navigasyon sistemleri üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Yaklaşık olarak 550 km yükseklikte, manyetik orta enlemlerde ortamdaki elektron yoğunluklarında gözlemlenen çukura "Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukuru (OEEYÇ)" denmektedir. 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 OEEYÇ'nun nitel tanımlaması yapılmış ve nicel ölçütleri getirilmiştir. Bunu izleyen araştırmalarda ise kuramsal bir "plasmopause" modeli ile iyonosferde yaklaşık 550 km'de gözlenen OEEYÇ'nun karşılaştırması yapılmış ve OEEYÇ'nun, "magnetosferik plasmopause"un iyonosfersel izdüşümü olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmada ise, OEEYÇ'nun iyonosferik kritik frekanslardaki olası izi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için kuzey yarım kürede  $30^{\circ}$ - $70^{\circ}$  değişmeyen manyetik enlemler arasındaki iyonosferden alınan saatlik kritik frekans değerleri kullanılmıştır. İyonosferden alınan saatlik foF2 değerleri, istatistiksel yöntemler kullanılarak yerel zamana, mevsimlere, farklı  $K_p$  guruplarına ve değişmeyen manyetik enleme göre

incelenmiştir. Veri çözümlenmeleri manyetik olarak “sakin” ve “etkin” dönemler için yapılmıştır. Manyetik nitelik “gezegensel 3h- $K_p$ ” indisleriyle tanımlanmıştır. Özetle,  $K_p \leq 2^+$  ise, “sakin” dönem;  $K_p > 2^+$  ise, “etkin” dönem olarak tanımlanmıştır.

Çukura benzer yapılar,  $K_p > 2^+$  durumu için gece saatlerinin büyük bölümünde tespit edilirken, bu yapılar  $K_p \leq 2^+$  durumunda yalnızca bazı yerel zamanlar için gözlemlenmiştir. Buradan çukura benzer yapıların gündüz saatlerine kıyasla gece saatlerinde daha fazla meydana geldiği ayrıca artan  $K_p$  değerinin gece saatlerinde gözlemlenen çukura benzer yapıların oluşumunu arttırıcı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.  $K_p \leq 2^+$  durumunda çukura benzer yapılar, tüm mevsimlerin gece saatleri için tespit edilirken, bu dönemler arasında gece saatlerinde en fazla çukurun gözlemlendiği mevsim Mart, çukurun en az gözlemlendiği mevsim ise Aralık dönemi olduğu tespit edilmiştir.  $K_p > 2^+$  durumunda ise, tüm mevsimlerin gece saatlerinde çukur tespit edilirken, bu dönemler arasında gece saatlerinde en fazla çukurun gözlemlendiği mevsimler Mart ve Aralık dönemleridir. Bu dönemde çukurun en az gözlemlendiği mevsim ise Haziran dönemidir.

Özellikle  $K_p > 2^+$  durumu için, Ariel 3 ve Ariel 4 uydularının yaklaşık 550 km’de ölçtüğü elektron yoğunluğu verileri ile foF2 verileri, farklı yerel zamanlar ve farklı mevsimler için benzer değişimler göstermektedir.

**ANAHTAR KELİMELER:** İyonosfer, manyetosfer, elektron yoğunluğu çukuru, kritik frekans.

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **INVESTIGATION OF MID-LATITUDE ELECTRON DENSITY TROUGH DIPTRACE AT IONOSPHERIC CRITICAL FREQUENCIES**

Sema KESMEN

İnönü University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physics

xvi+68 pages

2013

Supervisors:  
Assistant Prof. Dr. İbrahim ÜNAL  
Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY

Solar winds caused by solar flares affect the Earth's magnetic field significantly and this interaction can cause large and sudden changes in the electron density of the ionosphere. Especially during geomagnetic active periods, mid-latitude electron density changes between the 30 and 70 degree invariant magnetic latitude create a negative effect on communication and navigation systems. Approximately 550 km height, the ambient electron densities trough observed in magnetic mid-latitudes is called "mid-latitude electron density trough (MLEDT)". Between the years of 1960-1972, in the number of low earth-orbit (LEO) satellites was little. As a result of morphological studies by especially Ariel 3 and Ariel 4 satellites continuous and a large number of electron density data have been made identification of qualitative of MLEDT and quantitative criteria have been developed. In subsequent studies, a theoretical "plasmopause" model compared with about 550 km in the ionosphere has been observed MLEDT and MLEDT has been discovered as ionospheric trace of "magnetospheric plasmopause".

In this study, a possible trace of MLEDT's tried to determine from ionospheric critical frequencies. To do this, critical frequency values, were obtained from ionosondes of 30°-70° invariant magnetic latitudes of the northern hemisphere for every hour, were used. The hourly foF2 values from the ionosondes were analyzed according to the statistical method. These methods include a local time, seasons, different groups of  $K_p$  and

invariant magnetic latitude. Data analysis was made magnetically "quiet" and "disturb" periods. Magnetic quality is defined by "planetary 3h-  $K_p$ ". In brief,  $K_p \leq 2^+$  and  $K_p > 2^+$  is described quite and disturb period, respectively.

While trough-like structures are detected in large part hours of night for  $K_p > 2^+$  these structures are observed only some local time for  $K_p \leq 2^+$ . This structure occurred in night hours more than day hours. Furthermore, increased value of  $K_p$  was seen a stronger effect in which occurred trough-like structures in night hours. In case of magnetically quite, these structures has been seen for night hours of all season. Between these periods more trough were observed the in March despite that less trough was observed in December. In case of magnetically disturb, these structures has been seen all night. Between these periods most trough were observed during March and December periods, at least troughs were observed during June period.

In particular for  $K_p > 2^+$  state, Ariel 3 and Ariel 4 satellites is measured electron density data near the 550 km compared with, and foF2 data were shown the similar to variations in different local times and seasons.

**KEYWORDS:** Ionosphere, magnetosphere, electron density trough, critical frequency.

## TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın ortaya çıkması sűrecinde deneyimlerini, bilgilerini ve hoőgűrűsűnű benden esirgemeyen, çalıőmanın her aőamasında bana yol gűsteren ve destek veren danıőmanım Yrd. Doç. Dr. İbrahim ŪNAL'a, bu tezin oluőmasında her tűrlű imkânı saėlayarak deėerli fikirleri, tecrűbeleri ve yol gűstericiliėi için ikinci danıőmanım Sayın Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY'a, çalıőmamda yardımlarını esirgemeyen Erdiņ TİMOÇİN'e, sabrı ve desteėiyle bana gű veren her zaman yanımda olan hayat arkadaőım Serkan KESMEN'e, hayatımın her aőamasında bana destek olan sevgili aileme sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

**Sema KESMEN**



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ .....	xv
1. GİRİŞ .....	1
2. MANYETOSFER .....	5
2.1. Yer'e Yakın Jeomanyetik Alan .....	5
2.2. Yer'den Uzak Jeomanyetik Alan .....	8
2.3. Jeomanyetik Alanda Yüklü Parçacıkların Hareketi .....	11
2.3.1. Dairesel hareket .....	11
2.3.2. Salınım hareketi .....	13
2.4. İç Manyetosferdeki Parçacık Popülasyonu .....	16
2.4.1. Radyasyon kuşakları .....	16
2.4.2. Plazmasfer .....	17
3. ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN TANIMLANMASI.....	19
3.1. Elektron Yoğunluğu Çukurunun Tanımlanması .....	19
3.2. Elektron Yoğunluğu Çukurunun Karakterize Edilmesi .....	21
4. MANYETİK İNDİSLER .....	22
4.1. K indisi .....	22
4.2. a ve A İndisi .....	23
4.3. $K_p$ İndisi (Gezegensel K İndisi) .....	23
4.4. $a_p$ ve $A_p$ İndisleri .....	24
4.5. $C_p$ ve $C9$ İndisleri .....	24
4.6. AE, AL, AU ve AO İndisleri .....	25
4.7. $D_{st}$ (Disturbance Storm Time) İndisi .....	26
4.8. PC İndisi .....	27
4.9. Manyetik Aktivite ve Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki .....	29
4.10. Manyetik Aktivite ile Çukur Konumu Arasındaki İlişki .....	30

5.	DALGALARIN YANSIMA MEKANİZMASI VE KRİTİK FREKANS (foF2)	32
6.	MATERYAL VE METOT .....	36
7.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	40
7.1.	$K_p \leq 2^+$ İçin Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2'deki İzi .....	40
7.1.1.	21 Mart Dönemi .....	40
7.1.2.	21 Haziran Dönemi.....	42
7.1.3.	23 Eylül Dönemi.....	45
7.1.4.	21 Aralık Dönemi .....	48
7.2.	$K_p > 2^+$ İçin Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2'deki İzi .....	52
7.2.1.	21 Mart Dönemi .....	52
7.2.2.	21 Haziran Dönemi.....	54
7.2.3.	23 Eylül Dönemi.....	57
7.2.4.	21 Aralık Dönemi .....	59
8.	SONUÇ .....	63
9.	KAYNAKLAR .....	66

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Yer'in katmanları .....	1
Şekil 1.2. Atmosferin katmanları .....	2
Şekil 1.3. Güneş rüzgarları ve Yer'in manyetik alanı.....	3
Şekil 2.1. 6 Aralık 1989, 11:00 EZ için, orta şiddetli bir manyetik aktivite boyunca (AE=240–400 nT) Tsyganenko (1990)'nın yarı deneysel modeline göre oluşturulmuş Yer'e yakın jeomanyetik alan modeli .....	5
Şekil 2.2. Yer'in coğrafik ve manyetik ekvatoru .....	6
Şekil 2.3. Yer merkezli bir dipol alanı için Yer'in manyetik alan çizgileri ve yönelimi ..	7
Şekil 2.4. Değişmeyen manyetik enlem açıları .....	7
Şekil 2.5 Yer'in manyetosferinin şematik gösterimi .....	8
Şekil 2.6. $V_{\parallel} = 0$ için, düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi .....	12
Şekil 2.7. $V_{\parallel} \neq 0$ için, düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi .....	13
Şekil 2.8. Alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyen) sahip düzgün olmayan bir manyetik alanda parçacık hareketi .....	14
Şekil 2.9. Yer'in dipol manyetik alanında salınım hareketi .....	15
Şekil 2.10. İç manyetosferde hapsolmuş parçacık popülasyonlarının uzaysal dağılımı ...	16
Şekil 2.11. Kuzeyden bakıldığında, ekvatorial düzlemindeki dönme .....	18
Şekil 3.1. Çukur özelliklerinin belirlendiği tipik bir çukur örneği .....	21
Şekil 4.1. Yer'in manyetik alanının bileşenleri .....	22
Şekil 4.2. 01/11/2011 tarihinde Kyoto manyetometre istasyonundan ölçülen AU, AL, AE ve AO indis değerleri .....	26
Şekil 4.3. Manyetik fırtınalarla meydana gelen ekvator ve kutup elektrojet akımları .....	26
Şekil 4.4. Nisan 1981'de meydana gelen manyetik fırtınadaki $D_{st}$ değerleri .....	27
Şekil 4.5. Mayıs-Aralık 1967 süresince günün fonksiyonu olarak, çukur sayıları ile $K_p$ arasındaki ilişki .....	29
Şekil 4.6. 1967 yılı için Güney ve Kuzey yarımkürelerdeki farklı $K_p$ gruplarında meydana gelen çukur sayıları .....	30
Şekil 4.7. Elektron yoğunluğu çukurunun $K_p$ değerlerine bağlı karakteristiği .....	30
Şekil 4.8. Kuzey yarımkürede gözlemlenen çukur konumlarının $K_p$ ile değişimi .....	31

Şekil 5.1. Değişken ortamlarda kırılmanın yapısı ( $\phi_2 > \phi_1$ ) .....	32
Şekil 5.2. Yer ve iyonosfer düzlemi için denklik teoremi .....	32
Şekil 5.3. Eğime bağlı olarak farklı yüksekliklerden yansıyan dalgalar .....	34
Şekil 6.1. Güncel iyonsonda istasyonları .....	36
Şekil 6.2. Uyduların Yer'e göre yörüngeleri .....	38
Şekil 7.1. 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	41
Şekil 7.2. 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	42
Şekil 7.3. 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	43
Şekil 7.4. 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	44
Şekil 7.5. 21 Haziran döneminde Ariel 3 uydusunun kuzey yarımkürede $K_p \leq 2^+$ için ölçtüğü farklı yerel zamanlardaki ortalama elektron yoğunluklarının enlem- sel davranışı .....	45
Şekil 7.6. 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	46
Şekil 7.7. 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	47
Şekil 7.8. 23 Eylül döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda Ariel 3 uydusunun $K_p \leq 2^+$ için ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışı .....	48
Şekil 7.9. 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	49
Şekil 7.10. 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	50
Şekil 7.11. 21 Aralık döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda Ariel 3 uydusunun $K_p \leq 2^+$ için ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışı .....	51
Şekil 7.12. 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	52

Şekil 7.13. 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	54
Şekil 7.14. 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	55
Şekil 7.15. 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	56
Şekil 7.16. 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	58
Şekil 7.17. 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	59
Şekil 7.18. 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	60
Şekil 7.19. 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi .....	62

## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki .....	23
Tablo 4.2. K ve a indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki .....	23
Tablo 4.3. $K_p$ indisine karşılık gelen $a_p$ değerleri .....	24
Tablo 4.4. Toplam $a_p$ değerlerine karşılık gelen $C_p$ değerleri .....	25
Tablo 4.5. $C_p$ değerine karşılık gelen C9 değerleri .....	25
Tablo 4.6. Jeomanyetik indislere ait özellikler .....	28
Tablo 6.1. 1972'de 30°–70° kuzey manyetik enlemler arasındaki iyonsonda istasyonları .....	37
Tablo 6.2. 1972 için 1. boylam bölgesindeki foF2 verilerinin alındığı iyonsonda istasyonları .....	38
Tablo 7.1. 21 Mart 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	40
Tablo 7.2. 21 Mart 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	41
Tablo 7.3. 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	42
Tablo 7.4. 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	44
Tablo 7.5. 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	45
Tablo 7.6. 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	47
Tablo 7.7. 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	49
Tablo 7.8. 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	50
Tablo 7.9. 21 Mart 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	52
Tablo 7.10. 21 Mart 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	53
Tablo 7.11. 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	55
Tablo 7.12. 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	56
Tablo 7.13. 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	57
Tablo 7.14. 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	58
Tablo 7.15. 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri .....	60
Tablo 7.16. 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri .....	61

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

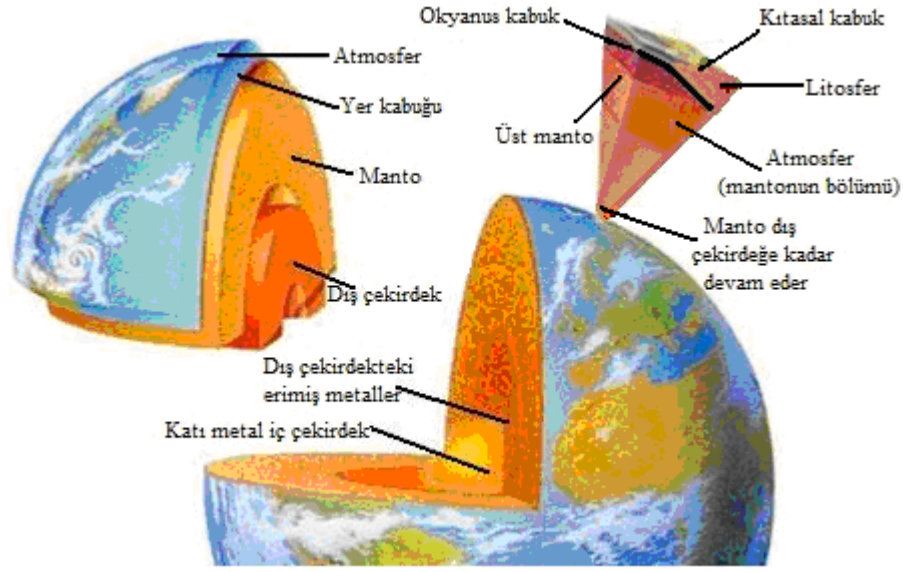
$\delta$	Yer'in dönüş eksenine göre dipol eksen eğikliği
$\lambda_C^{KK}$	Yer'in kuzey manyetik kutbunun coğrafik boylam değeri
$\Omega_E$	Yer'in dönme açısal hızı
$\phi_0$	Dalganın iyonosfere giriş açısı
$\phi$	Manyetik enlem
$\phi_g$	Coğrafik enlem
$\Lambda$	Değişmeyen manyetik enlem değerleri (invariant magnetic latitude)
$\alpha$	Yükselme açısı
$a$	Lineer yapıya dönüştürülmüş K indisi
$a_p$	Lineer yapıya dönüştürülmüş $K_p$ indisi
$A$	Sekiz tane a indisinin aritmetik ortalaması
$A_p$	Sekiz tane $a_p$ indisinin aritmetik ortalaması
$B$	Manyetik alan
$B_r$	Merkezi alan çizgisine dik manyetik alan bileşeni
$B_z$	Merkezi alan çizgisine paralel manyetik alan bileşeni
$C_p$	Sekiz tane $a_p$ indisinin toplamı
$C_9$	Lineer yapıya dönüştürülmüş $C_p$ indisi
$E$	Elektrik alan
$E_{dönme}$	Plazmasferin dönmesinden kaynaklanan elektrik alan
$F_{\parallel}^{grad}$	Manyetik gradyen kuvvet
$F_B$	Manyetik kuvvet
$F_r$	Merkez alan çizgisine dik kuvvet
$F_z$	Merkez alan çizgisine paralel kuvvet
$f_oF2$	F2 tabakasının iyonosferik kritik frekansı
$H$	Yer'in manyetik alanının yatay bileşeni
$K$	Manyetik etkinlik indisi
$K_p$	Gezegensel (global) K indisi
$L$	Kabuk parametresi

$m$	Yüklü parçacık kütlesi
$M_E$	Yer'in manyetik dipol momenti
$n$	Kırılma indisi
$r_B$	Larmor yarıçapı
$r_0$	Alan çizgisi uzaklığı
$R_E$	Yer yarıçapı
$t$	Zaman
$T_B$	Parçacığın yörüngesel periyodu
$V$	Hız
$V_{\text{dönme}}$	Plazmasferin dönme hızı
$V_{\perp}$	Hızın dik bileşeni
$V_{\parallel}$	Hızın paralel bileşeni
$V_{\phi}$	Manyetik enleme bağlı hızın dik bileşeni
$q$	Parçacıkların yükü
$\omega$	Dalganın açısal frekansı
$\omega_B$	Dönme frekansı
$\omega_p$	Plazmanın titreşim frekansı
$\omega_{pe}$	Plazmadaki elektronun titreşim frekansı
$\omega_{pi}$	Plazmadaki iyonun titreşim frekansı
AE	Auroral elektrojet indisi
AU	<b>H</b> bileşeninin maksimum pozitif kararsızlık değeri
AL	<b>H</b> bileşeninin maksimum negatif kararsızlık değeri
GLAT	Coğrafik enlem
GLON	Coğrafik boylam
LLP	En düşük enlem pozisyonu
LT	Yerel zaman
nT	Nanotesla
MP	En düşük elektron yoğunluğu değerinin elde edildiği nokta
OEEYÇ	Orta enlem elektron yoğunluğu çukuru
UT	Evrensel zaman



## 1. GİRİŞ

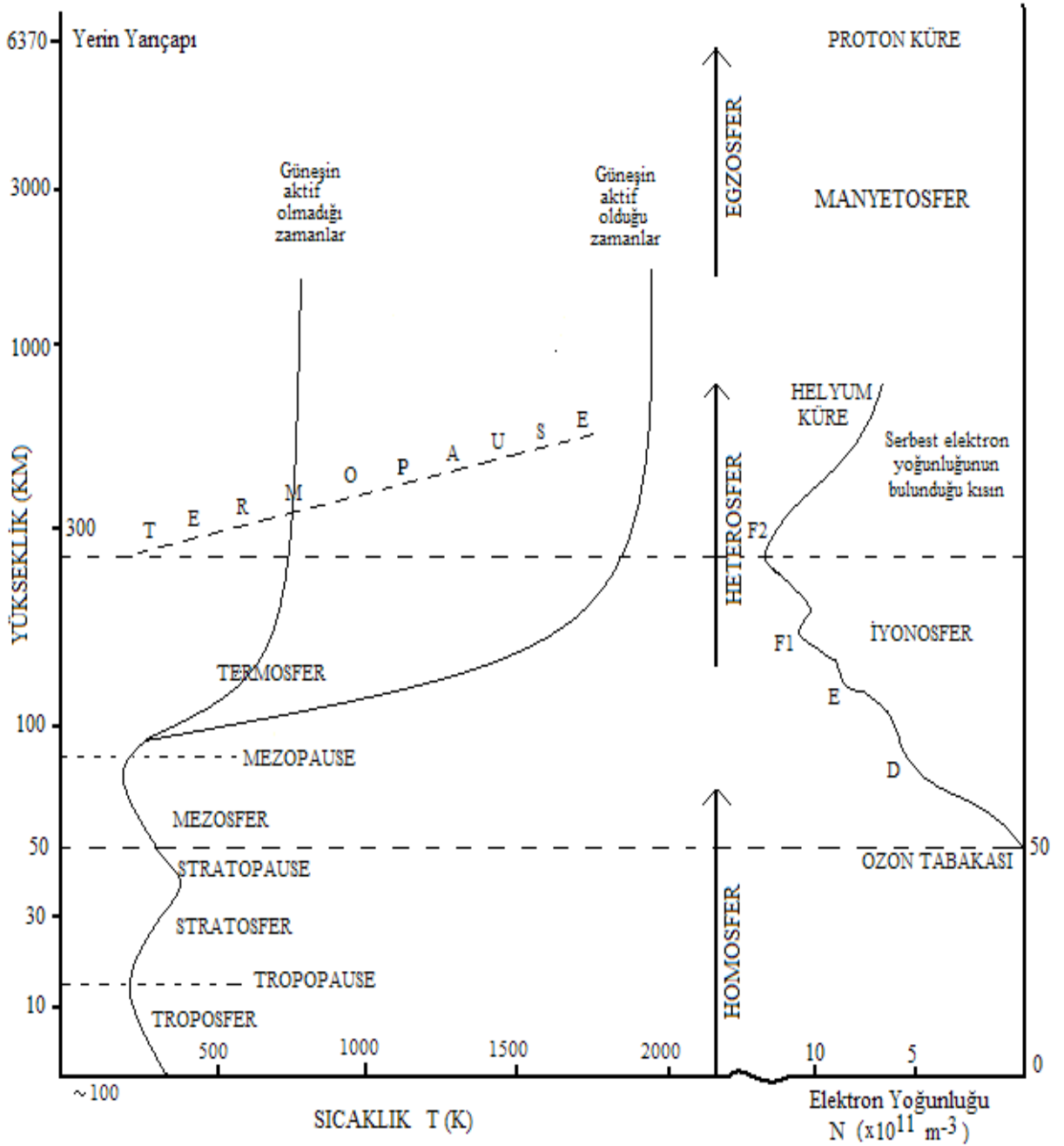
Yerküre, litosfer (taşküre), hidrosfer (suküre) ve atmosfer (havaküre) olmak üzere üç farklı katmandan veya küreden meydana gelmektedir. Merkezinde çekirdek bulunur. Çekirdeğin etrafını çevreleyen katı küreye litosfer adı verilir. Litosfer, kabuk ve manto gibi farklı katmanlardan oluşur. Litosferin büyük kısmını su ya da buz ile kaplayan tabaka hidrosfer olarak adlandırılır. Litosfer ve hidrosferi bir örtü gibi çevreleyen hava tabakasına da atmosfer denir [1].



Şekil 1.1. Yer'in katmanları [2].

Atmosfer, Yerküre'yi çevreleyen bir tabaka olup, sıcaklık, fiziksel olaylar ve kimyasal bileşenlerine göre çeşitli bölgelere ayrılır. Sıcaklığa göre troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olmak üzere dört bölgeye ve kimyasal bileşenlerine göre homosfer, heterosfer ve egzosfer olmak üzere üç ana bölgeye ayrılır [3]. Fiziksel özelliklerine göre ise, yerkürenin yakın yüksekliklerdeki çok karmaşık olayların etkisi altındaki bölge, her gazın kendi ağırlığına göre yerçekiminin etkisi altında ayrı ayrı hareket ettiği difüzyon bölgesi ve yer manyetik alanının yüklü paçacıkları etkisi altına aldığı manyetosfer olmak üzere üç bölgeye ayrılır [4].

Atmosferin yeryüzünde yaşayan canlı varlıkları Güneş'in zararlı etkilerinden koruması, Güneş ışınlarını absorbe etmesiyle olur. Böylece, atmosfer moleküllerinin bazılarının Güneş ışınları ve kozmik ışınlar tarafından iyonize edilerek, iyonize gazların üretiminin sağlanmasıyla elde edilen atmosferin bölgesine iyonosfer adı verilir.



Şekil 1.2. Atmosferin katmanları [3, 5].

İyonosfer atmosferin iyonlaşmış kısmıdır ve elektriksel olarak nötrdür. Bu özelliğinden dolayı iyonosfer doğal bir plazma olarak kabul edilir. İyonosferin oluşumunda en büyük etki Güneş tarafından oluşturulmakla birlikte, her bölgenin kimyasal yapısı ve bileşenleri farklı olduğundan, Güneş'ten gelen farklı dalga boyuna sahip ışınlar farklı yapıda bölgelerin oluşmasını sağlar. İyonosfer, elektron yoğunluğu, Yer'den yükseklik, enlem, mevsim ve yerel zaman ile değişiklik gösterir. Yer'den yaklaşık 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olmamakla birlikte,  $\text{He}^+$  ve  $\text{H}^+$  gibi hafif iyonların  $\text{O}^+$  iyonu gibi

iyonlara baskın olmaya başladığı yükseklikte bittiği kabul edilir. Şekil 1.2’de gösterildiği gibi, gün boyunca bu bölgede D, E, F1 ve F2 olarak adlandırılan dört bölge olabilir. Bu bölgelerin yaklaşık yükseklik aralıkları aşağıdaki gibidir:

D Bölgesi : 50-90 km

E Bölgesi : 90-140 km

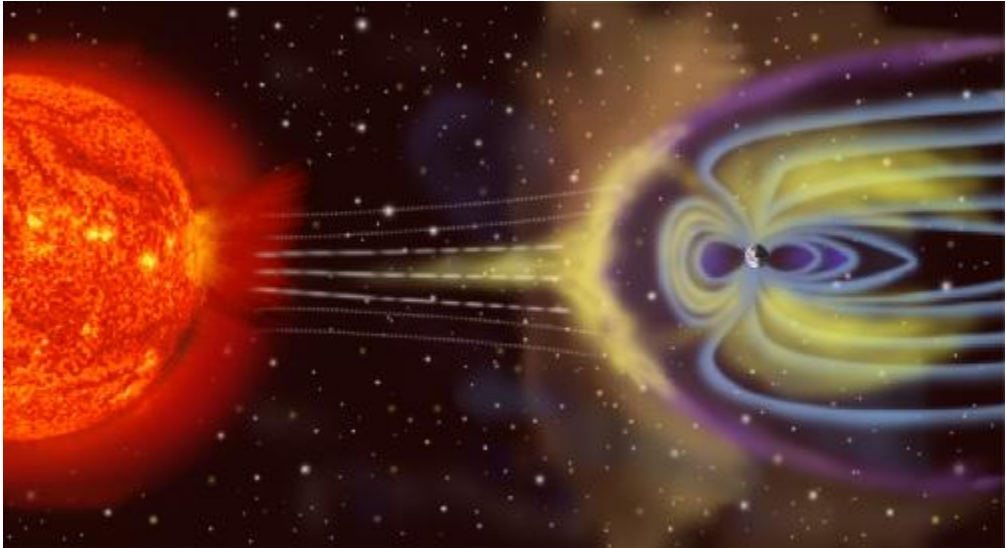
F1 Bölgesi : 140-210 km

F2 Bölgesi : 210 km nin üzeri.

Elektron yoğunluğu bakımından iyonosferin en zengin ve kararlı bölgesi F2 bölgesidir. F2 bölgesi yüksek frekanslı radyo dalgalarının yayılımında en önemli bölgedir [6]. Çünkü,

- Günün 24 saati mevcuttur,
- Büyük yüksekliklerdeki yansımalarla, çok uzak mesafelerle haberleşmeye izin verir,
- Genellikle HF aralığındaki en yüksek frekansları yansır [7].

Atmosferi fiziksel olaylara göre bölgelere ayırdığımızda, manyetik alanının yüklü paçacıkları etkisi altına aldığı bölgeye manyetosfer demiştik. Yer’in manyetosferi, kaynağı Yer olan ve şiddetli manyetik alanlar içeren uzayın bir bölgesidir. Yer’in çekirdeğindeki elektrik akımlar, bir manyetik alan üretir (Yer yüzeyinde kutuplara yakın bölgede yaklaşık  $6 \times 10^{-5}$  tesla). Alanın geometrik modeli, yeryüzünden yukarıda yaklaşık olarak Yer’in merkezinden birkaç Yer yarıçapı mesafesindeki bir dipoldür.



**Şekil 1.3.** Güneş rüzgârları ve Yer’in manyetik alanı [8].

Şekil 1.3’de şematik olarak gösterildiği gibi, Güneş rüzgârı yani Güneş’in merkezinden dışarı doğru hareket eden elektronların ve iyonların oluşturduğu bir plazma,

300–500 km/s bir hızda Yer’in 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. Güneş rüzgârının etkileşimi ve jeomanyetik alan karmaşıktır ve karakteristiklerin çoğunun kontrol süreçleri henüz anlaşılmasına rağmen, son 30 yılın üzerindeki uydu deneyleriyle manyetosferin temel özellikleri anlaşılmaya çalışılmıştır.

Bu süreçlerin dışında, iyonosferin çok üzerindeki bölgede Güneş’in sakin ve aktif olduğu zamanlarda değişik yüksekliklerde orta enlemlerdeki elektron yoğunluğunda bir azalma veya çukur meydana gelmektedir [5, 9-15]. Yaklaşık olarak 550km yükseklikte, manyetik orta enlemlerde ortamdaki elektron yoğunluklarında gözlemlenen çukura “Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukuru (OEEYÇ)” denmektedir [11, 12, 16]. 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 OEEYÇ’nun nitel tanımlaması yapılmış ve nicel ölçütleri geliştirilmiştir [14, 16]. 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 (Şekil 1.3). Böylece plazmasfer ve manyetosfer arasında manyetik alan içerisindeki elektron yoğunluğunda ani ve keskin bir düşme yaşanır. Kuramsal olarak bu düşme orta enlemlerdeki iyonosferik yüksekliklerde de olması gerekir.

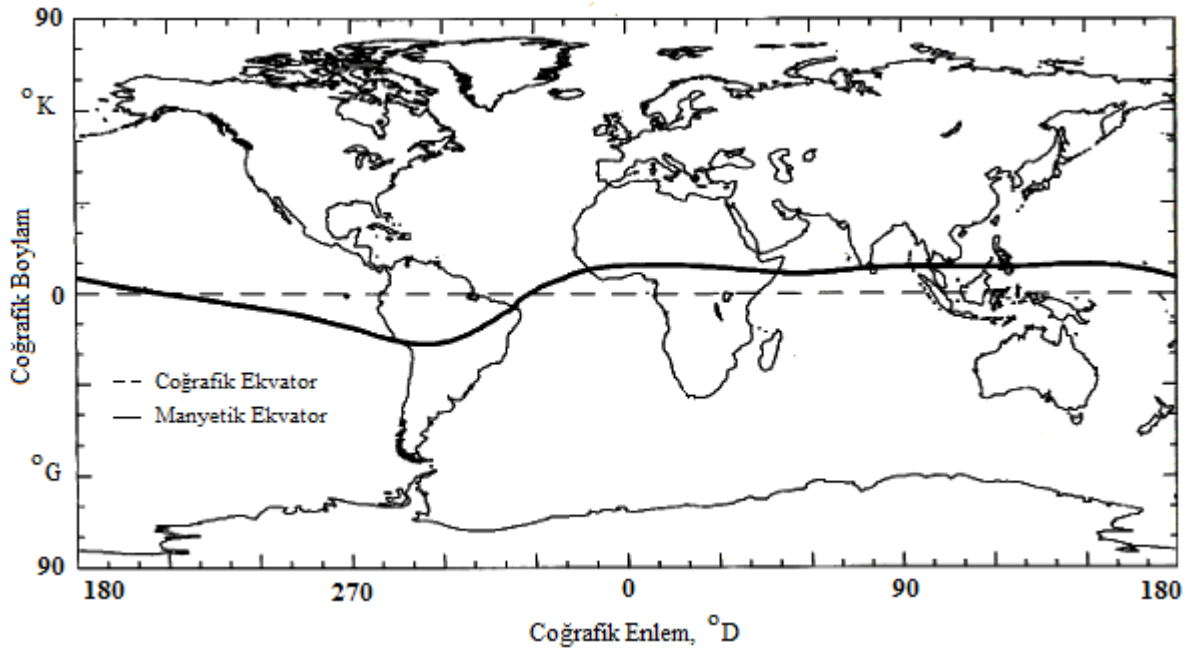
Bunu izleyen araştırmalarda ise kuramsal bir “plasmopause” modeli ile iyonosferde yaklaşık 550 km’de gözlenen OEEYÇ’nun karşılaştırması yapılmış ve OEEYÇ’nun, magnetosferic plasmopause’un iyonosfersel izdüşümü olduğu ortaya çıkarılmıştır [17-20]. HF haberleşmeleri, iletişim, uydu haberleşmeleri ve bilgi aktarımlarında bu durumun tanımlanması ve modellenmesi oldukça önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, OEEYÇ olarak adlandırılan yapının özellikle, haberleşmede çok büyük öneme sahip olan iyonosferik kritik frekanslardaki (foF2) etkisi araştırılacaktır. Özetle, veri çözümlemesi yerel zaman dilimlerinde, mevsim ve manyetik indis parametrelerinde incelenecektir [21-26]. Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından elde edilen ortamın elektron yoğunluğu verilerinin çözümlemesiyle, uluslararası literatürde kabul edilen OEEYÇ tanımı yapılmış ve ölçüt geliştirildiği için, bu sonuçlara dayalı olarak yaklaşık 250 km’deki foF2 verilerindeki olası etkiler araştırılacaktır [27, 28].



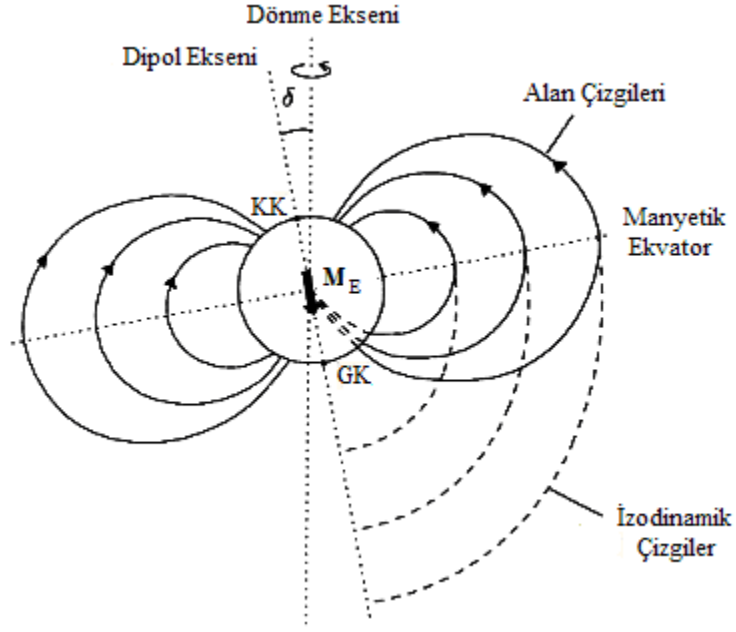
Alanın yöneliminin tam olarak yatay olduğu konum manyetik ekvator, manyetik alanın yeryüzüne tam olarak dik olduğu iki konum ise manyetik kutup olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.1'deki izodinamik çizgiler, kutupların yakınında alan çizgilerinin daha güçlenmesi (yoğunlaşması) ve ekvator yakınında zayıflamasından kaynaklı oval bir şekil meydana getirmektedir.

Manyetik kutupların konumları, uzun dönemli değişimler göstermektedir. Örneğin 1965 yılında manyetik kutupların konumları, kuzey kutup ( $76,5^\circ$  K,  $259^\circ$  B) ve güney kutup ( $66,3^\circ$  G,  $141^\circ$  B) iken, 2000 yılında uydular tarafından tespit edilen güney kutbun yaklaşık  $3^\circ$  kuzeybatı yönünde kaydığı tespit edilmiştir (Güney kutup konumu (2000):  $64,7^\circ$  G- $138,1^\circ$  B). Aynı zamanda kuzey kutbun ise, kuzeydoğu yönünde  $81,3^\circ$  K,  $249,2^\circ$  B konumuna yer değiştirmiştir. Şekil 2.2'de, manyetik ekvator coğrafik ekvatora oldukça yakındır fakat, güney Atlantik yakınındaki manyetik ekvator, güney Atlantik anormalliği olarak adlandırılan  $-17,5^\circ$ 'ye kadar bir sapma göstermektedir ( $\cong 293^\circ$  D).



Şekil 2.2. Yer'in coğrafik ve manyetik ekvatoru [29].

Yer'in merkezine yerleşik dipol parametrelerinin yaklaşık olarak  $M_E \approx 7,7 \times 10^{22} \text{ Am}^2$ ,  $\delta \approx 11^\circ$  ve  $\lambda_C^{KK} \approx 290^\circ \text{ D}$  ( $70^\circ \text{ B}$ ) değerlerine sahip olduğu bilinmektedir. Burada  $M_E$  Yer'in manyetik dipol momentini,  $\delta$  Yer'in dönüş eksenine göre dipol eksen eğikliğini,  $\lambda_C^{KK}$  ise Yer'in yüzeyi ile dipol eksenin kuzey yönündeki kesim noktasının coğrafik boylam değerini göstermektedir. Bu ifadeler ve tanımlamalar Şekil 2.3 ile resmedilmiştir [29].

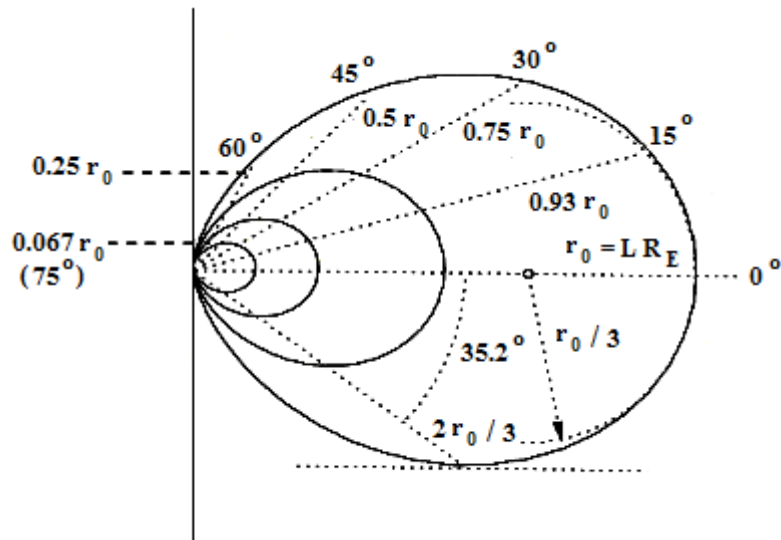


Şekil 2.3. Yer merkezli bir dipol alan için Yer'in manyetik alan çizgileri ve yönelimi [29].

Bunun dışında, kabuk parametresi  $L$ , Yer yarıçapı biriminde ölçülmüş jeomanyetik ekvatorial düzlemde bir alan çizgisinin yermerkezli uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Yani,  $r_0 = r(\Lambda = 0)$ , alan çizgisini veren denklem aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$r = LR_E \cos^2 \Lambda \quad (2.1)$$

Bu denklemden oluşturulan alan çizgilerinin grafiksel gösterimi, Şekil 2.4'de verilmiştir. Bu şekildeki  $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$  değişmeyen manyetik enlem değerleridir.



Şekil 2.4. Değişmeyen manyetik enlem açıları [29].







üzerinde etkili olur. Hareketli plazma Yer'in Güneş'e bakan tarafındaki alanı (Manyetik engel civarındaki akışkanları) sıkıştırır ve Yer'in Güneş'e bakmayan yönünde yani Güneş rüzgârı yönünün tersi yönünde birkaç milyon kilometre uzayan bir kuyruk içinde alan çizgileri şişer.

Güneş rüzgârı sestem daha hızlıdır (süpersonik). Bunun hızı, akıntıya karşı yönde yayılabilen ve karşılaştıkları civarda jeomanyetik alanda engel olan, gelen iyon ve elektronları uyaran herhangi bir plazma dalgasının hızından daha büyüktür. Bu nedenle Güneş rüzgârı parçacıklarının, jeomanyetik alanı doğrudan etkileyeceği ve yan kısımlarındaki kanatlar civarında daha fazla veya daha az düzgün bir şekilde akmayacağı beklenir. Gerçekten doğa bu problemi, manyetik engelin 2–3 Yer yarıçapı ötesinde bir şok dalgası oluşturarak çözer. Bu şok dalgaları termal hareket içindeki yönlendirilmiş iyon ve elektronların enerjilerinin bir kısmını değiştirir ve akışkanın hızını plazma hızının altında bir değere düşürür. Böylece plazma şok içerisinden geçtikten sonra sestem daha yavaştır ve manyetik engel civarında akabilir. Manyetik engel ve şok arasındaki deniz kabuğuna benzeyen bölge, manyetik kılıf (magnetosheath) olarak isimlendirilir. Manyetik kılıf, üst kısımda şok tarafından ve alt tarafta jeomanyetik alan tarafından sınırlandırılır. Bu iç taraftaki sınır (iç kısım) manyetik durma (magnetopause) olarak adlandırılır. Magnetopause, Yer'in manyetik alanı ve buradaki plazmadan, Güneş kaynaklı manyetik alanı ve buradaki plazmayı ayırır. Magnetopause'un her iki tarafındaki manyetik basınçlar ve plazma dengesinin düz fakat basitleştirilmiş hesaplanması, Güneş'e bakan yüzdeki magnetopause'un yerini belirler.

Yer'in Güneş'e bakmayan tarafındaki bu basınç-denge yaklaşımı yetersizdir. Gerçekten, jeomanyetik kuyruğun özelliklerinin hesaplanmasına ilişkin yapılan bütün teorik yaklaşımların limitleri vardır ve Şekil 2.5'deki resim çoğunlukla deneyseldir. Jeomanyetik alanın Yer'in bu kısmında iki büyük dilim olarak çizilmesi, deneylerden açıkça görülmüştür. Güney dilimindeki alan çizgileri Yer'den (ve Güneş'ten) çıkarken, Kuzey dilimindeki alan çizgileri Yer'e (ve Güneş'e) doğru işaret eder. Bu biçimdeki manyetik şekil, ekvator düzleminde gün batımından gün doğumu yönüne doğru kuyruğa doğru akan bir akım tabakası gerektirir. Diğer akım sistemleri manyetosferin yüzeyinde akmak zorundadırlar. Çünkü bu sistemler Güneş rüzgârıyla taşınan güneşsel manyetik alandan jeomanyetik kaynağın iç alanını ayırmalıdırlar. Yer ve Güneş'in yarattığı manyetik alanların ayrımı tamamlanmaz veya bitmez. Ancak Yer'den kaynaklanan alan çizgileri, Güneş alan çizgilerine topolojik olarak (birbirinden ayırt edilemez) bağlıdır. Alan çizgilerinin iç içe girdiği bu sürecin, manyetosferin dinamik davranışı için önemli

olduğuna inanılır. Boş bir manyetik alan tarafından sarmalanan ince bir üst atmosfer ve iyonosfer, artık Yer'e yakın bölgenin dışını sarmalayan bir bölge olarak görülmeyip, bunun yerine, dinamik davranan zengin ve değişken kaynaklı elektron ve iyon popülasyonu içeren bir manyetik alanın varlığı anlaşılmıştır.

Bu alanın içerdđi 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. Jeomanyetik alandaki yüklü parçacıkların yaşadıkları süreçlerin karmaşıklığı gerçekten şaşırtıcıdır. Öyleki, 50 yılı aşkın sürdürülen çabalardan sonra bu önemli olay hala net bir şekilde algılanamamıştır. Defalarca gözlenen bu pek çok özellik hala nicel olarak açıklanamamıştır ve şüphesiz yeni keşifler devam edecektir. Bunun yanısıra aurora, manyetik fırtınalar ve iyonosferik yapı gibi iyi bilinen birçok olayın açıklaması, bu yeni bilgiler ışığında yeniden gözden geçirilerek düzeltilmiştir. Böylece, gezegenimiz ile ilgili görüşümüz bu yeni buluşlar ve uzay teknolojisinin kullanılabilirliğinin desteği ile değişmiş ve gelişmiştir.

Şekil 2.5'de tanımlanan Yer'in manyetosferi değişmez bir durum (durgun hal) değildir. Manyetosferin toplam boyutu, Güneş rüzgârının hızına ve yoğunluğuna göre farklılaşır ve iç kararsızlıklar veya değişkenlikler kuyruk yapısının değişmesine neden olur. Bunun yanı sıra Güneş rüzgârıyla taşınan manyetik alanın yönü, Güneşsel ve Yersel alan çizgileri arasındaki bağlantının karakterini veya özelliğini etkiler. Şekil 2.5'de Manyetopause, sıkışmış jeomanyetik alanın dışarı yönlü olan kuvvetinin, Güneş rüzgârlarının plazma kuvvetleri tarafından dengelendiği bir yüzeydir. Güneş rüzgârlarının taşıdığı plazma kütlesi, manyetosfer etrafında yönlendirilir ve Yer'e, manyetopause den daha fazla yaklaşamaz. Bunun sonucunda, manyetosferin Güneş'e bakan tarafı keskin uçlu olmayan bir mermi şeklini alır ve Güneş'e zıt yönde neredeyse silindirik bir şekilde çok uzun mesafeler boyunca uzanır. Bu uzun jeomanyetik kuyruk (uzamış jeomanyetik alan çizgileri), Yer'in Güneş'e bakan tarafında daha az belirgin manyetopause tarafından sınırlandırılmıştır [30]. Manyetopause, Yer'in Güneş'e bakan tarafında yaklaşık 10 Yer yarıçapı kadar uzaktadır. Gece tarafındaki manyetik alan kuyruğu ise, Ay'ın yörüngesinden ( $60 R_E$ ) çok daha uzak mesafelere kadar uzanır. Güneş rüzgârları, Güneş'ten yayılan iyonlaşmış bir gazdır ve Yer'e ulaştığında Yer'in manyetik alan ile etkileşime girer ve şeklini bozar. Yüksek hızlı Güneş rüzgârları, manyetopause'i, Güneş tarafında yaklaşık  $7 R_E$ 'lik bir mesafeye kadar sıkıştırır. Güneş rüzgârları, gezegenlerarası uzayda sesten hızlı plazmalar olarak hareket ederler. Manyetosfer ile karşılaşan bu Güneş

rüzgârları, manyetosferin önünde manyetosfer ile çarpışmalarından dolayı şok dalgaları oluştururlar. Bu şok, bir hava tünelinin seston hızlı akışında bir engel tarafından oluşturulan aerodinamik şoka benzerler. Bu şokun ön kısmı (burnu) yaklaşık  $15 R_E$ 'de oluşur fakat konumu, Güneş rüzgârlarındaki değişime çok duyarlıdır. Manyetopause ile yay şoku arasındaki bölge manyeto kılıf olarak adlandırılır [30].

### 2.3. Jeomanyetik Alanda Yüklü Parçacıkların Hareketi

#### 2.3.1. Dairesel hareket

Manyetik alanlar, belirli bir hıza sahip yüklü parçacık üzerinde, hızının büyüklüğünü değiştirmeden, hız ve manyetik alana dik yönde bir ivme meydana getirir. Diğer dış kuvvetlerin yokluğunda hareket denklemini aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$m \frac{d\mathbf{V}_\perp}{dt} = q(\mathbf{V}_\perp \times \mathbf{B}) \quad (2.2)$$

Bu denklemin sağ tarafında gösterilen manyetik kuvvet, parçacık üzerine etki ederek bir ivme kazanmasına neden olur. Bu ivme, parçacığın giderek daha büyük bir eğime sahip dairesel yörüngede hareket etmesine neden olur. Buradan dairesel yörüngenin yarıçapını,

$$F_B = |q|V_\perp B = m \frac{V_\perp^2}{r_B} \quad (2.3)$$

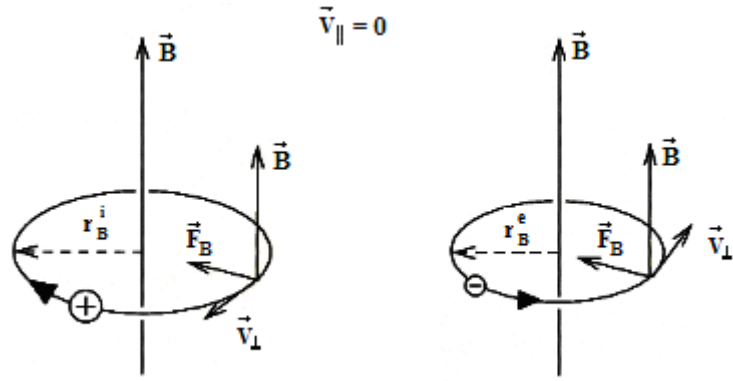
ifadesinden bulabiliriz. Bu denklemden, dairesel yarıçap veya Larmor yarıçapı olarak bilinen ifadeyi;

$$r_B = \frac{mV_\perp}{|q|B} \quad (2.4)$$

şeklinde elde edebiliriz. Manyetik kuvvetin yönü, yükün polaritesine bağlı olduğu için, Şekil 2.6'de gösterildiği gibi, pozitif yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönü, negatif olarak yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönünün tam tersi yöndedir. Burada, pozitif yüklü parçacıklar olarak iyonlar, negatif yüklü parçacıklar olarak elektronlar düşünülmektedir. Parçacığın yörüngesel periyodu;

$$T_B = \frac{2\pi r_B}{V_\perp} = 2\pi \frac{m}{|q|B} \quad (2.5)$$

şeklindedir.



Şekil 2.6.  $v_{\parallel} = 0$  için düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi [29].

Dönme frekansı ise;

$$\omega_B = \frac{2\pi}{T_B} = \frac{|q|B}{m} \quad (2.6)$$

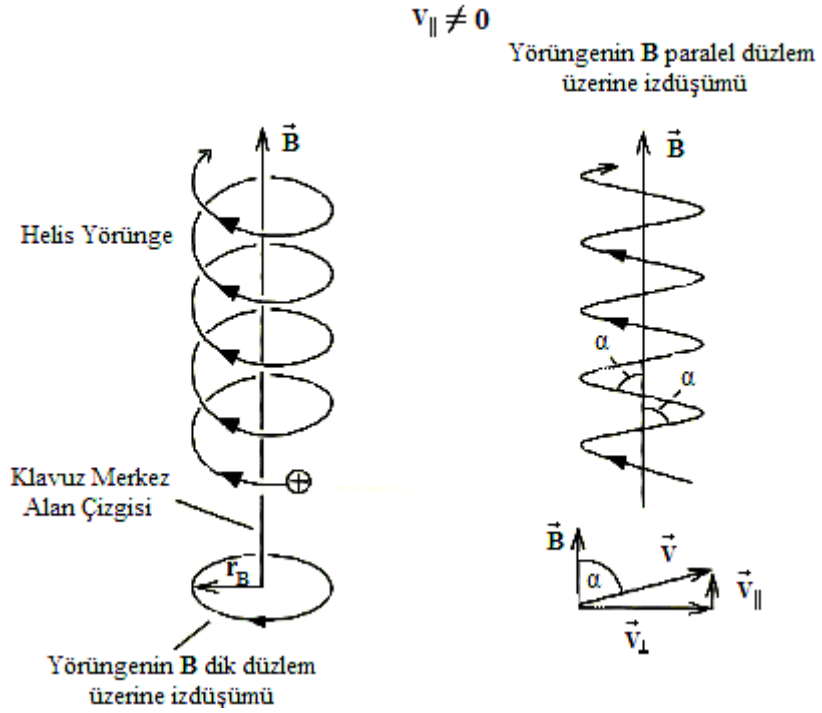
olarak ifade edilir.

Bütün bu ifadeler, parçacık hızının manyetik alana dik olduğu durum için tanımlanmıştır. Eğer manyetik alana giren parçacığın hızının hem manyetik alana dik hem de manyetik alana paralel bileşeni varsa veya üç boyutta ise, parçacık helis hareketi yapacaktır. Çünkü, parçacık manyetik alana dik bileşenden dolayı dairesel hareket, manyetik alana paralel bileşene manyetik alanın etkisi olmayacağından bu hız bileşeninin etkisiyle manyetik alan yönünde sabit hızla hareket edecektir. Sonuçta Şekil 2.7'deki gibi bir yörünge izleyecektir.

Yerel manyetik alana göre bu yörüngeyi eğimi yükselme açısını belirtmektedir. Hızın manyetik alana paralel ve dikey bileşenleri,

$$v_{\parallel} = v \cos \alpha \quad \text{ve} \quad v_{\perp} = v \sin \alpha \quad (2.7)$$

olacaktır. Burada  $\alpha$  yükselme açısıdır. Sarmal hareketin merkezindeki alan çizgisi, merkez alan çizgisini belirtmektedir ve dönen parçacığın yörünge merkezini tanımlar.



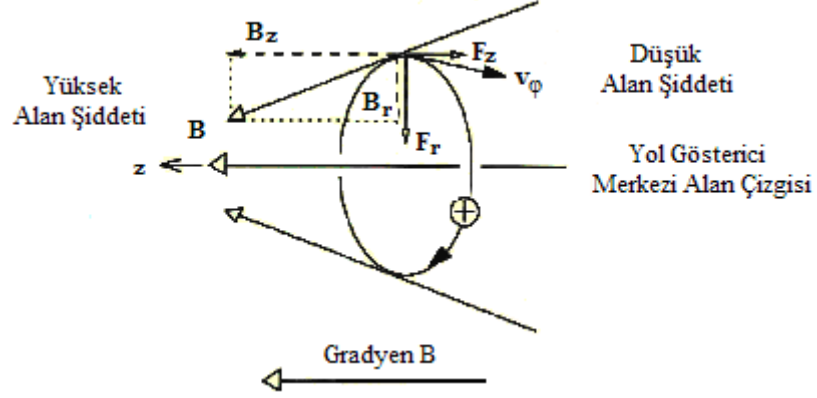
**Şekil 2.7.**  $v_{\parallel} \neq 0$  için, düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi.  $\alpha$  açısı, helis yörünge'nin manyetik alana göre eğimini göstermektedir [29].

### 2.3.2. Salınım hareketi ( $\vec{N} \parallel \vec{B}$ )

Burada, alan çizgileri boyunca şiddet değişimi (gradyen) gösteren, değişen bir manyetik alan göz önüne alınmıştır. Böyle bir manyetik alan bir noktada birleşen, şiddeti artan veya şiddeti azalan manyetik alan çizgilerine sahip olabilir. Bundan dolayı değişim, alan çizgilerinin değişen yoğunluğunu yansıtmaktadır.

Bu, manyetik alanın diverjansının sıfır olduğu gerçeğinin doğrudan bir sonucudur. Başlangıcı ve sonu olmayan manyetik alan çizgileri, alan şiddetinin arttığı bölgelerde birbirine yaklaşır (sıkışır), alan şiddetinin azaldığı bölgelerde birbirlerinden uzaklaşır. Şekil 2.8, böyle bir manyetik alanda yüklü bir parçacığın dönüş yörüngesini göstermektedir.

Merkez alan çizgisine dik yöndeki kuvvet  $F_r$ , parçacığın dönme hareketinden sorumlu iken, merkez alan çizgisine paralel kuvvet  $F_z$ , ayrılan alan çizgileri yönünde bir ivme oluşturur. Bu etki, dönen parçacığı yüksek manyetik alan şiddetine sahip bölgeden uzaklaşmaya zorlamaktadır.



**Şekil 2.8.** Alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyan) sahip düzgün olmayan bir manyetik alanda parçacık hareketi [29].

Şekil 2.8’de silindirik koordinat sistemi kullanılarak paralel kuvvet aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$F_z = |q|v_\phi B_r \quad (2.8)$$

$B_r$ ’nin büyüklüğü, manyetik alanın diverjansının sıfır olduğunu söyleyen Maxwell denkleminde elde edilebilir. Silindirik koordinatlar için bu ifade,

$$\text{div}\mathbf{B} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (rB_r) + \frac{\partial B_z}{\partial z} = 0 \quad (2.9)$$

şeklinde yazılır. Bu ifade  $r$  ile çarpılıp integrali alınır;

$$\int_0^r \frac{\partial}{\partial r'} (r'B_r) dr' = - \int_0^r r' \frac{\partial B_z}{\partial z} dr' \quad (2.10)$$

ifadesi elde edilir.  $\frac{\partial B_z}{\partial z}$  ifadesi  $r$ ’den bağımsız olduğu için buradan aşağıdaki ifade elde edilir.

$$B_r(r) = - \frac{r}{2} \frac{dB_z}{dz} \quad (2.11)$$

Dönüş yörüngesi konumu için ( $r = r_B$ ) bu ifade aşağıdaki şekle dönüşür.

$$B_r(r_B) = - \frac{mV_\phi}{2|q|B_z} \frac{dB_z}{dz} \approx - \frac{mV_\phi}{2|q|B} \frac{dB}{dz} \quad (2.12)$$

Burada ikinci adım olarak,  $B_r$  'nin küçük bir düzensizlik olarak varsayılması ile iyi bir yaklaşım yapılmış olur.  $B_z$ , toplam alan şiddetini ifade etmektedir. Manyetik kuvvetin alan ile aynı doğrultudaki bileşeni;

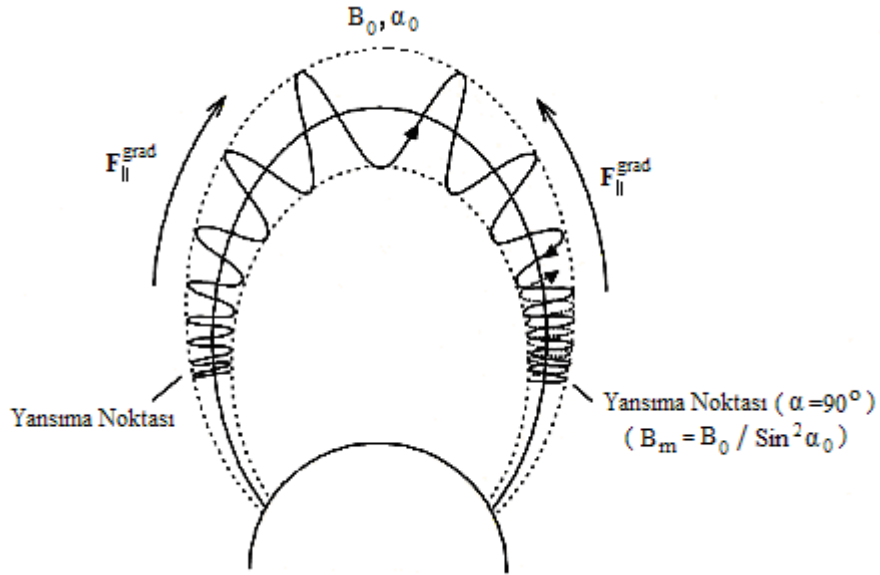
$$F_z = -\frac{mV_\phi^2}{2} \frac{1}{B} \frac{dB}{dz} \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadenin vektörel gösterimi;

$$\mathbf{F}_{\parallel}^{\text{grad}} = -\frac{E_{\perp}}{B} \nabla_{\parallel} B \quad (2.14)$$

şeklindedir. Bu ifadede, manyetik gradyen kuvveti, parçacığın enerjisinin dik bileşeni ve manyetik alan şiddetinin paralel gradyeni ile orantılıdır.

Bunların yanında manyetik gradyen kuvveti, manyetik alan şiddeti ile ters orantılıdır. Yer'in dipol manyetik alanında meydana gelen bu durum Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Bir parçacık, Yer'e doğru yönelmiş merkezi alan çizgisini izleyerek helis bir yörünge boyunca hareket eder.



Şekil 2.9. Yer'in dipol manyetik alanında salınım hareketi [29].

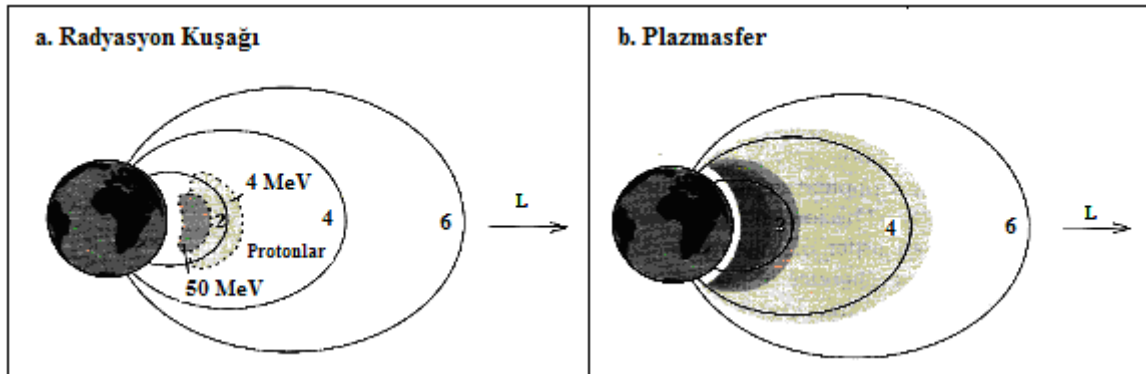
Alan şiddetinin artmasıyla manyetik gradyen kuvveti, alan çizgilerine paralel tüm enerjiyi tüketip merkez alan yönündeki hareketi durdurana kadar parçacığın yavaşlaması için etki eder. Bu noktada  $\alpha$  açısı  $90^\circ$ 'ye ulaşmıştır ve parçacığın tüm kinetik enerjisi onun dönme hareketine dönüşmüştür. Yalnızca dönme enerjisine bağlı olan (paralel enerji

bileşenine bağlı olmayan) gradyen kuvvet, sürekli olarak etki eder ve parçacığı merkez alan çizgisinin zirvesi yönünde (manyetik ekvator) yukarı doğru hızlandırır. Böylece parçacık geldiği yöne doğru yansımış olur.

Yörünge tersine döndüğü nokta, yansıma noktası olarak adlandırılır. Gradyen kuvvet, yansıtıcı kuvvet olarak da bilinir. Hızın alana paralel bileşeni arttıkça  $\alpha$  azalır ve  $\alpha$ 'nın minimum değeri ( $\alpha(\varphi=0)=\alpha_0$ ), zirve noktasıdır. Ekvatorial düzlemin içinden geçen parçacık diğer manyetik kutuptaki yansıma noktasına kadar tekrar yavaşlamaya başlar. Parçacık burada zirve alan çizgisi yönünde geriye doğru tekrar yansır. Böylece parçacık, iki yansıma noktası arasında ileri geri sürekli bir şekilde salınım hareketi yapar.

#### 2.4. İç Manyetosferdeki Parçacık Popülasyonu

Yer'in manyetik alanının dipolar şekli, içinde pek çok yüklü parçacığın hapsedildiği güçlü manyetik bir şişe gibi davranır. Bu parçacıklar enerjilerine göre, radyasyon kuşağı ve plazmasfer içinde hapsolmuşlardır. Manyetosferin bu bölgeleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. İç manyetosferde hapsolmuş parçacık popülasyonlarının uzaysal dağılımı [29].

##### 2.4.1. Radyasyon kuşakları

Radyasyon kuşağı, iç manyetosfere hapsolmuş yüksek enerjili parçacık popülasyonu olarak anlaşılmalıdır. Bu isim, radyasyon ölçüm aletlerinden (Geiger-Müller sayaçları) alınmıştır. Bu parçacık popülasyonları için alternatif bir isim Van Allen kuşaklarıdır.

Radyasyon kuşaklarının keşfi, çarpıcı bir yöntem ile yapay uydular kullanılarak uzay araştırmalarının ilk yıllarında yapılmıştır. Kozmik ışınları ölçmek için tasarlanmış Geiger sayacı, Van Allen araştırma takımı tarafından ilk Amerikan uydusunun (Explorer 1,



1958 Ocak ayında fırlatılmıştır) üzerine yerleştirilmiştir. Bilim adamları düşük yüksekliklerde (birkaç 100 km) sayacın gözlem yapmasını umarken, şaşırtıcı bir şekilde daha yükseklerde (>2000 km) sifira gittiğini gözlemlemişlerdir. Bilim adamları kendilerini yükseklerdeki kozmik ışık yokluğunu açıklamak zorunda oldukları kötü bir durumda bulmuşlardır. Üzerine başka bir Geiger sayacı takılı ikinci bir Amerikan uydusu (Explorer 2, 1958 Mart ayının başlarında fırlatılmıştır), Atlantik'den fırlatıldıktan kısa bir süre sonra patlamıştır. Üzerinde band kaydedicisi olan ilk uzay aracı olan üçüncü Amerikan uydusu (Explorer 3, 1958 Mart sonunda fırlatılmıştır) girdiği yörünge boyunca ölçüm aletleri ile bilgi depolamayı başarmıştır.

Aslında bu bölgelerde olağandışı bir şekilde yüksek yoğunluklar ölçülmüştür. İlk olarak yeni bir tür radyasyon keşfedildiği düşünülmüştür ve dış uzayın radyoaktif olduğu söylentileri yayılmıştır. Daha sonra ölçümler, Yer'in manyetik alanında hapsedilmiş yüksek enerjili parçacıklar olarak doğru bir şekilde yorumlanmıştır.

Bugün enerjik parçacıkların manyetosferin iç bölgelerinde depolandıklarını ve maksimum parçacık akışlarının konumlarının, parçacıkların türüne ve enerjilerine ek olarak manyetosferin durumuna bağlı olduğunu biliyoruz. Radyasyon kuşağından, yüksek enerjili parçacık popülasyonları anlaşılmaktadır. Bu enerjinin en düşük sınırı protonlar için yaklaşık 1 MeV, elektronlar için 50 keV dur. Şekil 2.10a'da 4 MeV ve 50 MeV enerjilere sahip çok yönlü maksimum proton akışının uzaysal dağılımı kullanılarak bir kesit gösterilmektedir. Maksimum akış, 4 MeV parçacıklar için yaklaşık  $L=1,8$  (~5000 km) deki manyetik ekvatorial düzleme kadar uzanır. 50 MeV parçacıklar için ise yaklaşık 3000 km'ye kadar değişmektedir. Maksimum ekvatorial akışlar,  $10^{10} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (4MeV parçacıklar) ve  $10^8 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (50MeV parçacıklar) değerlerine kadar ulaşır. 1,6 MeV üzerindeki enerjilere sahip elektronlar için maksimum akış yoğunlukları  $L=3$  ve  $L=4$  arasında gözlemlenmiştir. Yüksek enerjili radyasyon kuşak parçacıklarının özellikleri nispeten sabittir. Bu, kaynak ve kayıp süreçlerinin zamanla sabit olduğu anlamına gelir.

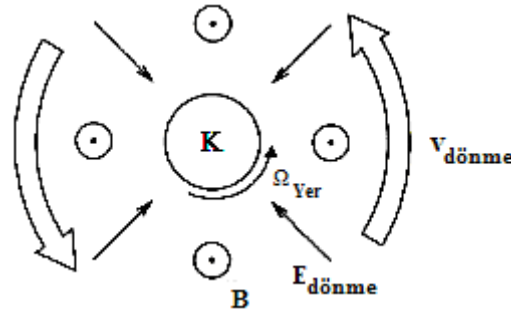
#### **2.4.2. Plazmasfer**

Plazmasfer, bağıl yoğunluklu ( $n \geq 10^8 \text{ m}^{-3}$ ) ve iç manyetosferdeki soğuk plazma bölgesidir. Şekil 2.10.b'de gösterildiği gibi, bu bölge iyonosferin manyetosfer içine doğru daha fazla genişlediği bir bölgedir. İki bölge arasındaki sınır (alt plazmasfer olarak tanımlanmış) temel iyon bileşenleri olan atomik oksijenden atomik hidrojene geçiş olarak tanımlanmaktadır. Bu geçiş özellikle jeofiziksel koşullara bağlı olarak yaklaşık 500 ve 2000 km arasındaki bir yükseklikte meydana gelir.

Plazmasferin dış sınırı, iyon yoğunluğundaki keskin bir azalmanın olduğu bir bölgedir ve bu bölge plazmapause olarak adlandırılmaktadır. Bu azalmanın konumu, manyetosferin düzensizlik derecesine bağlı olarak değişmektedir. Durgun koşullar için plazmapause, L=4-6 zirve uzaklıklı manyetik alan çizgileri ve yaklaşık 60°-65° manyetik enlemlerdeki ayak izleri tarafından tanımlanmaktadır.

Gözlemler, plazmasferin Yer ile bir bütünlük içinde döndüğünü göstermiştir. Sürtünme kuvvetleri radyal sürüklenme ile sonuçlanacağından dolayı, nötr gaz parçacıkları ile çarpışmalar bu olaydan sorumlu olamaz. Gradyen ve kavisli sürüklenme hızlı bir şekilde geri çevrilmiş olabilir. Bunlar, gerekli ambipolar sürüklenmeyi üretemezler ve görüldüğü kadarıyla sürüklenme hızları çok fazla küçüktür. Tek bir açıklama kalır o da ambipolar  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  sürüklenme ile tanımlanan dönmedir.

Dışarıdan bakan dönmeyen bir gözlemci için, plazmasferde plazmayı Yer ile birlikte dönmeye zorlayan bir elektrik alanı olmalıdır. Ayrıca bu birlikte dönme alanı, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi Yer'e doğru yönelmiş olmalıdır.



Şekil 2.11. Kuzeyden bakıldığında, ekvatorial düzlemindeki dönme [29].

Bu alanın büyüklüğü, sürüklenme hızına  $V_{\text{sürüklenme}}^E = E/B$ , birlikte dönme hızının  $V_{\text{dönme}} = \Omega_E r \cos \phi_g$  eşitlenmesi ile bulunabilir.

$$E_{\text{dönme}} = \Omega_E r \cos \phi_g B \quad (2.15)$$

Burada  $\Omega_E$ , Yer'in dönme açısal hızıdır ve  $\phi_g$  ise coğrafik enlemdir. Dipol ve dönme eksenlerinin çakıştığını varsayarak, ekvatorial düzlem için bu alanın büyüklüğü basit olarak,

$$E_{\text{dönme}} (\phi_g = 0) [\text{mV/m}] \approx 14/L^2 \quad (2.16)$$

şeklinde verilir.

### 3.ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURUNUN TANIMLANMASI

#### 3.1. Elektron Yoğunluğu Çukurunun Tanımlanması

Manyetosfer içerisinde uzanan radyasyon kuşakları, enerjili iyon ve elektronların uzun süreli manyetik tuzaklanmayı sağladıkları bölgedir. Genelde bunun gibi tuzaklanmalar durgun manyetik alan gerektirir. Bunun yanı sıra, Güneş rüzgârındaki değişikliklerden kaynaklanan magnetopause civarındaki manyetik alan değişimleri (iniş-çıkışlar) uzun süreli tuzaklanmayı engeller. Yer'e yakın yüksekliklerdeki (200–1000 km) atmosfer, radyasyon kuşağı parçacıklarını sınırlandırır. Çünkü manyetik alanda tuzaklanmış parçacıklar ile atmosferi oluşturan parçacıklar arasındaki çarpışmalar bu parçacıkları yavaşlatır veya daha yoğun atmosfer içerisine saptırır. Böylece tuzaklanmış radyasyon çalışmasında ilk ilgilenilen bölge, ~200 km'nin üstü ve ekvatorundan  $7 R_E$  uzaklığın altı arasındaki durgun manyetik alan bölgesidir. Manyetik geometri bu hacmi  $65^\circ$  civarındaki manyetik enlemde sınırlar. Ancak komşu bölgeleri (aslında tüm manyetosfer) hatırlatan manyetik geometri, radyasyon kuşak olaylarını kapsar. Bu bölgeler, tuzaklanmış parçacıkların hızlanması, savrulması veya taşınmasındaki üretilen elektrik ve manyetik alanlar ve kuşaklar için parçacık kaynağıdır.

Manyetosferin başka bir özelliği ise bu bölge içerisinde bulunan ve plazmanın bittiği kabul edilen plasmopause bölgesini içerisine almasıdır. Şekil 2.5'e bakıldığında, eğer ekvatorundan düşey olarak yukarı doğru (Zenit) elektronlara basarak yürüdüğümüz zaman plazmasferin bittiği noktada bir çukura düşeceğimiz görülür. Yani plazmasferin sonu olarak tarif edilen plasmopause bölgesinde elektron yoğunluğunda ani bir düşme yaşanacaktır. İşte bu düşüş elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge ekvatorundan itibaren yaklaşık olarak  $6-7 R_E$  veya 36000 km-40000 km uzaklık olarak tanımlanır. Ancak 4 Yer yarıçapı üzerinde dışa doğru hızlı bir azalmanın olduğu gözlemlenmiştir. Plasmopause iç kısmındaki bölgenin elektron yoğunluğu, dış kısmındaki elektron yoğunluğundan çok çok daha büyüktür. Dış kısmındaki ortalama elektron yoğunluğu  $1 \text{ cm}^{-3}$  yani  $\text{cm}^3$ 'e 1 elektrondur. Bu sınırın Yer'den yüksekliği Güneş'in aktifliğine göre değişmektedir. Çok sakin durumlarda plasmopause genişler ve çok karışık durumlarda ise büzülür. Plasmopause'nin, sakin manyetik dönemlerdeki üst yüksekliklerdeki konumundan fırtınalı zamanlardaki alt yüksekliklerdeki konumuna doğru hareket ettiği bulunmuştur.

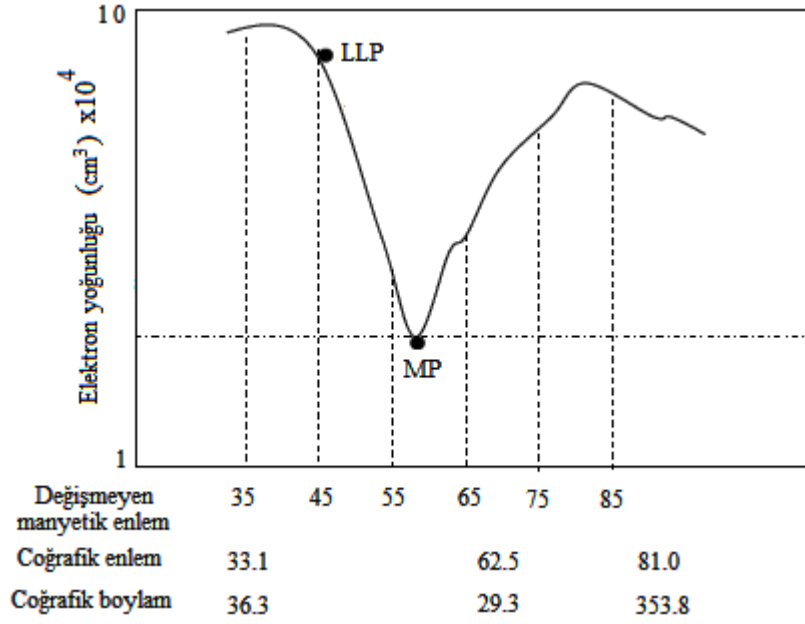
Ayrıca Plasmopause'nin konumundaki değişimler, iç ve dış dolaşımların görelî şiddetlerindeki bir farklılıkla temsil edilebilir. Bu çukurun ilk tanımlamaları, 1964 ile 1967 arasında birkaç bilim adamı tarafından yapılmıştır [5, 14].

Daha sonraki zamanlarda çukur ve plasmopause davranışları arasındaki benzerlikler ve farklılıklar 1967 ve 1968'de geniş biçimde tartışılmıştır. Bu tartışmalarda, manyetik alan çizgisi boyunca var olan dengeye dayanarak manyetik alan çizgileri boyunca meydana gelen çukur ve plasmopause arasında bir ilişki olduğu ileri sürülmüştür ve bu görüş, Alouette I alıcısından elde edilen veriler kullanılarak desteklenmiştir [14]. Plasmopause'nin sınırının manyetik alan çizgileri boyunca sınırlı olduğu anlaşıldıktan veya tanımlandıktan sonra, birçok bilim adamı düşük enlemlerde Güneş'in yaptığı iyonlaşmanın ve daha yüksek enlemlerde auroral iyonlaşmanın fazla olacağı ve bu bölgeler arasının düşük elektron yoğunluğuna sahip olabileceği görüşünü savunmuş ve bu tezlerini yaptıkları çeşitli ölçümlerle ispatlamışlardır. Bu ara bölge orta enlem elektron çukuru bölgesi olarak adlandırılmıştır [14].

Ayrıca, ekvator üzerindeki 6-7 Yer yarıçapı mesafedeki elektron yoğunluğundaki azalmanın, manyetik alan çizgileri boyunca oluşturdukları eş potansiyel yüzeylerden dolayı orta enlem üzerindeki azalmayla aynı olacağı ve Yer yüzeyine daha yakın mesafede olacağı açıktır. Orta enlemler üzerinde elektron yoğunluğu çukuru bölgesi olarak adlandırdığımız bu kararsızlık bölgesi 30°-70°'ye sahip değişmeyen manyetik enlem üzerinde etkilidir. Elektron yoğunluğu çukuru bölgesinin belirlenmesinde, yerel saat, enlem ve boylama göre elektron yoğunluğu ( $N_e$ ) önemlidir [16]. İlk elektron yoğunluğu ölçümleri Yer'den ortalama 550 km yükseklikteki yörüngeye sahip Ariel III uydusunun kapasitif uç (probe) ile yapılan elektron yoğunluğu deneyi ile elde edilmiştir [31]. Orta enlem elektron yoğunluğu çukuru bölgesi olarak tanımlama yapılabilmesi için, OEEYÇ tanımlanmasında saptanan ölçütlere göre Çukur'un,

- 1) Elektron yoğunluğu her iki yarım kürede yaklaşık 30° ve 70° coğrafik enlemleri arasında olması;
- 2) Çukur minimumunun her iki tarafındaki (30° veya 70° enlemlerindeki) maksimum elektron yoğunluğu değerinin, çukur minimumundaki elektron yoğunluğu değerine oranının en az 2 den büyük olması;
- 3) Minimumun her iki tarafındaki logaritmik elektron yoğunluğu değişimi (10 tabanında), enlem derecesi başına 0,1 den daha büyük olması gerekmektedir [14, 16].

Şekil 3.1'de orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun genel bir görünüşü için bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.1. Çukur özelliklerinin belirtildiği tipik bir çukur örneği [16].

### 3.2. Elektron Yoğunluğu Çukurunun Karakterize Edilmesi

Bir elektron çukuru için kullanılan parametreler aşağıdaki gibi sıralanmıştır [16].

- Değişmeyen manyetik enlem ( $\Lambda$ ). Jeomanyetik olarak kutuplanmış plazmanın davranışında etkili olan ek bir koordinat parametresidir. Bu parametre manyetik alan şiddeti ( $B$ ) ile Yer'den yukarıdaki manyetik kabuk sayısının ( $L$ ) ilişkisine dayalı bir koordinat sisteminde kullanılmaktadır. Aralarındaki ilişki,

$$l = L \cos^2 \Lambda \quad (3.1)$$

şeklinde tanımlanıp, birimi derecedir [29].

- GLAT, coğrafik enlemi ifade eder, birimi derecedir.
- GLON, coğrafik boylamı ifade eder, birimi derecedir.
- LLP, en düşük enlem pozisyonu olarak adlandırılır ve bu nokta, elektron yoğunluğu gradyeninin 10 tabanına göre logaritmasının her enlem derecesi için 0.1'den küçük olmaya başladığı nokta olarak tanımlanır. Bu gradyenleri tanımlama işlemi üç veri noktası seçilerek yapılır.
- MP, fiziksel olarak en düşük elektron yoğunluğu değerinin elde edildiği nokta olarak tanımlanır. Matematiksel olarak eğimin işaret değiştirdiği ilk bölge olarak ta tanımlanmaktadır. MP civarındaki bölgelerde elektron yoğunluğunun zamana bağlı olarak çok fazla değişiklik göstermesi, çukurun tanımlanması açısından MP noktasının önemini vurgular.

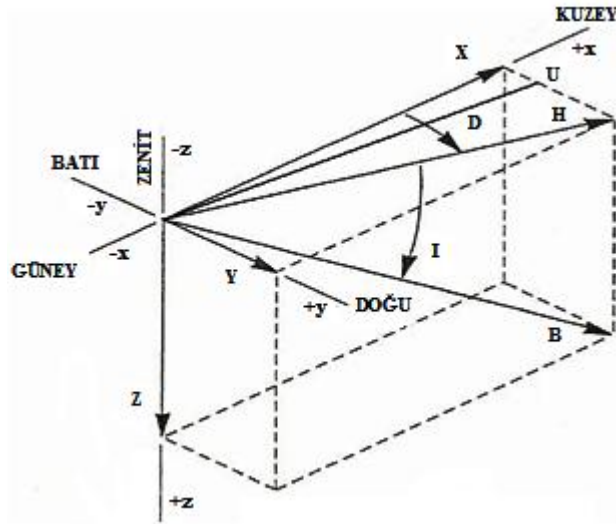
## 4. MANYETİK İNDİSLER

Güneş'te meydana gelen aktiviteler, Yer'in manyetik alanını etkilemektedir. Buna bağlı olarak iyonosferdeki elektron yoğunluğunda ani değişimler meydana gelmektedir.

Dünya üzerinde değişik enlemlerde yer alan manyetometre istasyonları, elektrik akımlarının etkisiyle Yer'in manyetik alanında meydana gelen değişimleri saptamaktadır. Bu manyetometre istasyonlarında belirlenen Yer'in manyetik alanının bileşenlerinin karmaşık yapısından kurtulmak için manyetik indisler aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

### 4.1. K İndisi

K indisi, Dünya üzerinde ölçüm yapan manyetometre istasyonlarından bir tanesinin iyonosfer içine doğru ilerleyen elektrik akımlarının etkisi ile Yer'in manyetik alanının yatay bileşen değerinin 3'er saatlik dilimler halinde ölçeklendirmesi ile elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken durum, K indisinin yerel jeomanyetik alanın yatay bileşeninin değerlerinin bir ölçüsü olmasıdır [32]. Yer'in manyetik alanının bileşenleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'deki H bileşeni, Yer'in manyetik alanının yatay bileşenini göstermektedir.



Şekil 4.1. Yer'in manyetik alanının bileşenleri [15].

Manyetik etkinlik göstergesi olan K indisi, 0'dan 9'a kadar olan bir skalada ölçeklendirilmektedir. K indisinin değerlerine karşılık gelen Yer'in manyetik alanının değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [32].

**Tablo 4.1.** K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki [32].

<b>K</b>	<b>B<sub>x-y</sub> (nT)</b>
0	0-5
1	5-10
2	10-20
3	20-40
4	40-70
5	70-120
6	120-200
7	200-330
8	330-500
9	>500

#### 4.2. a ve A İndisleri

Manyetometre ile ölçülen Dünya'nın yerel manyetik alanında meydana gelen dalgalanmalardan kaynaklı, K indisinin lineer olmayan (logaritmiksi) yapısından kurtulmak için herhangi bir istasyondan ölçülen 3'er saatlik K indisi lineer ölçekli bir yapıya dönüştürülmüş ve a indisi olarak tanımlanmıştır [32].

A indisi ise, 1 günlük periyot için elde edilen 8 tane a indisinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanmaktadır. K ve a indisine karşılık gelen Yer'in manyetik alanının yatay bileşeninin değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 4.2.** K ve a indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki [32].

<b>K</b>	<b>a</b>	<b>B<sub>x-y</sub> (nT)</b>
0	0	0-5
1	3	5-10
2	7	10-20
3	15	20-40
4	27	40-70
5	48	70-120
6	80	120-200
7	140	200-330
8	240	330-500
9	400	>500

K, a ve A indisleri yerel jeomanyetik aktiviteyi ölçeklendirmek için geliştirilmiştir. Bu indisler, günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterir.

#### 4.3. K<sub>p</sub> İndisi (Gezegensel K İndisi)

K<sub>p</sub> indisi, Dünya üzerindeki gözlemlerinden elde edilen K değerlerinden, kullanışlı basit bir gezegensel (global) indis elde etmek için türetilmiştir. K<sub>p</sub> indisi, Dünya üzerindeki 13 gözlemevinden elde edilen K değerlerinin ortalaması olarak

tanımlanmaktadır. Bu indis, günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı değildir.  $K_p$  değerleri,  $K$  değerlerinin  $1/3$ 'lük birimlere (0,  $1/3$ ,  $2/3$ , ....., 9) bölünmüş 28 kesirli değerden meydana gelmektedir. Örnek olarak herhangi bir gün için aşağıdaki gibi ölçülen 3'er saatlik  $K_p$  indisi ve buna bağlı olarak o günkü toplam  $K_p$  değeri aşağıdaki gibi tanımlanır [32].

$$K_p = 2^-, 2^+, 2^0, 3^+, 3^0, 3^0, 3^-$$

$$2^- = 1 + 2/3 = 5/3$$

$$2^0 = 2$$

$$2^+ = 2 + 1/3 = 7/3$$

$$3^- = 2 + 2/3 = 8/3$$

$$3^0 = 3$$

$$3^+ = 3 + 1/3 = 10/3$$

$$\Sigma K_p = 5/3 + 7/3 + 10/3 + 8/3 + 2 + 3 \times 3 = 21$$

#### 4.4. $a_p$ ve $A_p$ İndisleri

$a_p$ ,  $K_p$  indisi ile ilişkili bir indistir.  $K_p$  indisinin isleyişine uygun olarak türetilmiştir.  $K_p$  indisinin 0-9 arasındaki dağılımına karşı gelen  $a_p$  değerleri aşağıdaki tabloda belirtildiği gibidir.

**Tablo 4.3.**  $K_p$  indisine karşılık gelen  $a_p$  değerleri [33].

$K_p$	$0^0$	$0^+$	$1^-$	$1^0$	$1^+$	$2^-$	$2^0$	$2^+$	$3^-$	$3^0$	$3^+$	$4^-$	$4^0$	$4^+$
$a_p$	0	2	3	4	5	6	7	9	12	15	18	22	27	32
$K_p$	$5^-$	$5^0$	$5^+$	$6^-$	$6^0$	$6^+$	$7^-$	$7^0$	$7^+$	$8^-$	$8^0$	$8^+$	$9^-$	$9^0$
$a_p$	39	48	56	67	80	94	111	132	154	179	207	236	300	400

$A_p$  indisi, bir gün boyunca ölçülen 8 tane  $a_p$  değerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilmektedir.

#### 4.5. $C_p$ ve $C9$ İndisleri

$C_p$  indisi, 8 tane  $a_p$  indisinin toplamından türetilmiş manyetik aktivite seviyesinin değişimini gösteren günlük bir indistir [34].



C9 indisi ise,  $C_p$  indisinin 0'dan 9'a kadar rakamlar verilerek sınıflandırılmış halidir. Aşağıdaki tablolarda,  $a_p$  değerlerine karşılık gelen  $C_p$  değerleri ve  $C_p$  değerlerine karşılık gelen C9 değerleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.4.** Toplam  $a_p$  değerlerine karşılık gelen  $C_p$  değerleri [35].

Toplam $a_p$	$C_p$	Toplam $a_p$	$C_p$	Toplam $a_p$	$C_p$
0 ... 22	0,0	121 ... 139	0,9	562 ... 729	1,8
23 ... 34	0,1	140 ... 164	1,0	730 ... 1119	1,9
35 ... 44	0,2	165 ... 190	1,1	1120 ... 1399	2,0
45 ... 55	0,3	191 ... 228	1,2	1400 ... 1699	2,1
56 ... 66	0,4	229 ... 273	1,3	1700 ... 1999	2,2
67 ... 78	0,5	274 ... 320	1,4	2000 ... 2399	2,3
79 ... 90	0,6	321 ... 379	1,5	2400 ... 3199	2,4
91 ... 104	0,7	380 ... 453	1,6	3200 .....	2,5
105 ... 120	0,8	454 ... 561	1,7		

**Tablo 4.5.**  $C_p$  değerlerine karşılık gelen C9 değerleri [35].

$C_p$	0,0-0,1	0,2-0,3	0,4-0,5	0,6-0,7	0,8-0,9
<b>C9</b>	0	1	2	3	4
$C_p$	1,0-1,1	1,2-1,4	1,5-1,8	1,9	2,0-2,5
<b>C9</b>	5	6	7	8	9

$K_p$ ,  $a_p$ ,  $A_p$  ve  $C_p$  indisleri, gezegensel jeomanyetik aktiviteyi ölçeklendirmek için türetilmişleridir. Bu indisler, günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı değildir.

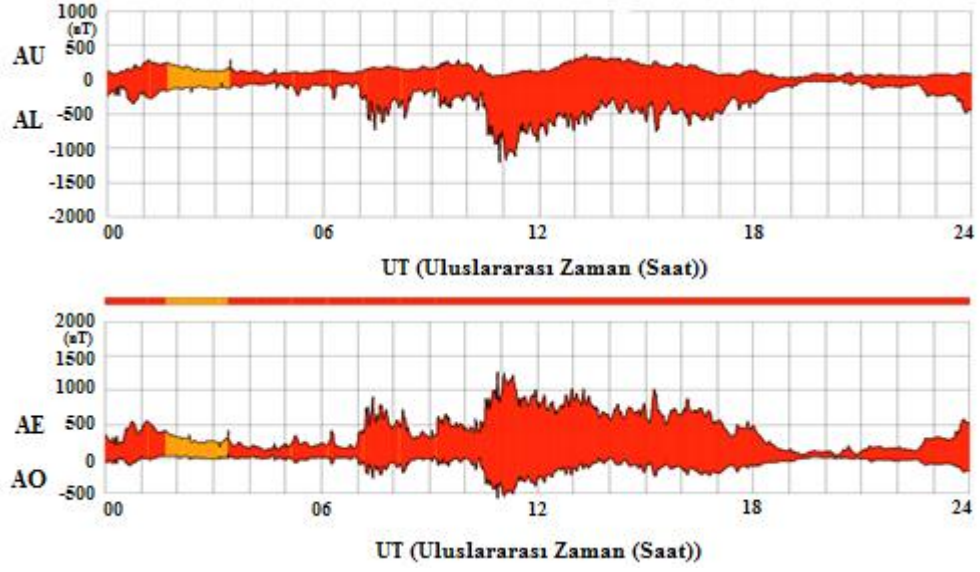
#### 4.6. AE, AL, AU ve AO İndisleri

AE indisi, auroral elektrojet indisi olup, yerel zaman ve enleme göre değişik şekilde (kuzey yarımküre auroral bölgede) konumlanmış istasyonlar tarafından elde edilmektedir.

Her istasyon kuzey-güney manyetik düzensizlik değeri olan H'yi (Yer'in manyetik alanının yatay bileşenini) evrensel zamanın bir fonksiyonu olarak kaydeder. İstasyonlardan alınan bu verilerin süperpozisyonu ile H bileşeninin maksimum negatif kararsızlık değeri tespit edilir. Bu AL olarak adlandırılır.

Aynı şekilde H bileşeninin maksimum pozitif kararsızlık değeri bulunur. Bu da AU olarak adlandırılır. Bu iki değer arasındaki fark AE indisini meydana getirir. AE indisinde günlük nominal seyir dışında oluşan kararsızlıklar manyetosferik rüzgarlar olarak

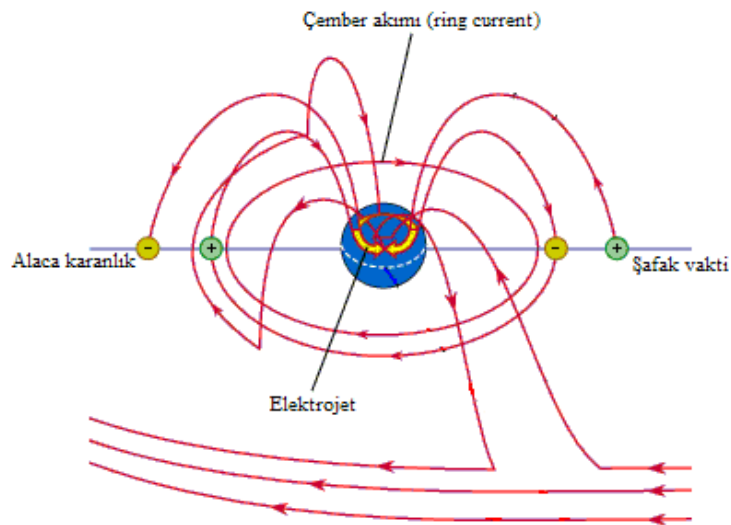
adlandırılır ve 10 dakikadan birkaç saate kadar sürebilir [32, 36, 37]. AO indisi ise, AU ve AL indislerinin ortalaması alınarak bulunmaktadır.



Şekil 4.2. 01/11/2011 tarihinde, Kyoto manyetometre istasyonundan ölçülen AU, AL, AE ve AO indis değerleri [38].

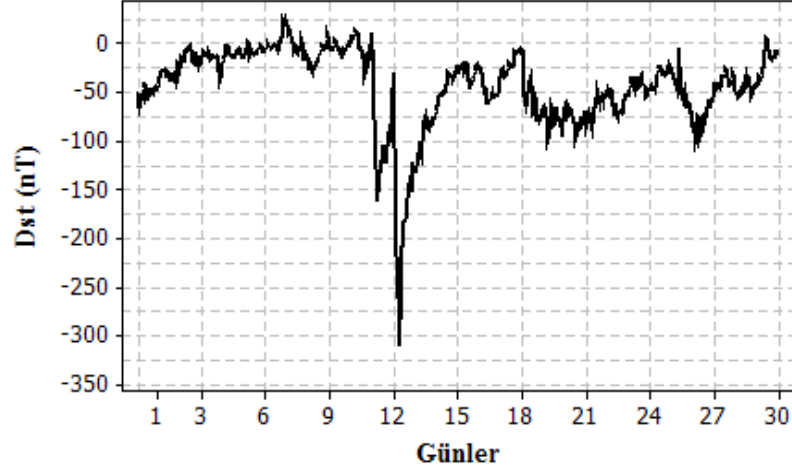
#### 4.7. $D_{st}$ (Disturbance Storm Time) İndisi

Güneş rüzgârları Yer'in manyetosferi üzerinde büyük düzensizlikler yarattığı zaman manyetik fırtınalar gelişmektedir. Bunun sonucunda Şekil 4.3'de çember akımı (ring current) olarak belirtilen kısımda bir enerji artışı olacaktır. Bu bölgedeki, Yer'in manyetik alanının H bileşeni, çember akım şiddetine bağlı olarak değişir.  $D_{st}$  indisi bu düzensizliğin direkt ölçüsüdür.



Şekil 4.3. Manyetik fırtınalarla meydana gelen ekvator ve kutup elektrojet akımları [38].

Bu indis her saat için ekvator bölgesinde konumlandırılmış istasyonlar tarafından belirlenir.  $D_{st}$  indisindeki büyük negatif düzensizlikler (değişimler), çember akımının şiddetinde meydana gelen ani bir artışın göstergesidir. Şekil 4.4, Nisan 1981 de meydana gelen ve 3 gün süreyle devam eden bir manyetik fırtınayı göstermektedir. Burada  $D_{st}$  indisinin değeri -311 nT'ya kadar ulaşmıştır. Bu, sakin durumun yaklaşık 16 katıdır [36].



**Şekil 4.4.** Nisan 1981’de meydana gelen manyetik fırtınadaki  $D_{st}$  değerleri [38].

#### 4.8. PC İndisi

Kutup şapka (PC-polar cap) indisi 1975 yılından beri ölçülmektedir. Bu indis, kutup şapkaları boyunca akan kapalı 2 auroral elektrojet akımlarının büyüklüğünü ölçmek için tasarlanmıştır.

$$\Delta F = \Delta H \sin\beta + \Delta D \cos\beta, \quad (\beta = \varphi_g + \delta + UT + \theta) \quad (4.1)$$

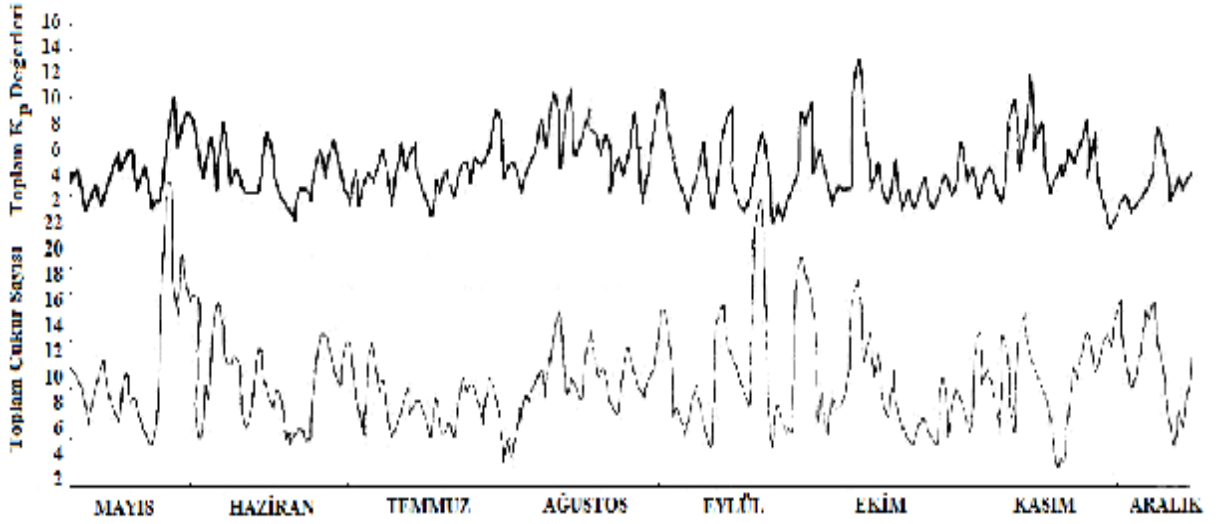
$\Delta F$  kutup şapkaları boyunca akan auroral elektrojet akımının sakin durum ile aktif durum arasındaki farkının ölçüsüdür. Bu bağıntıdaki  $\Delta H$  ve  $\Delta D$ , H ve D bileşenlerinin sakin durumdan sapmalarını;  $\varphi_g$ , istasyonun coğrafik enlemini;  $\delta$ , istasyonun ortalama sapmasını; UT, 360/24 ile çarpılarak dereceye dönüştürülmüş evrensel zamanı;  $\theta$  ise, akım vektörünün yerel öğlen vaktinde yaptığı ortalama açıdır [37].

**Tablo 4.6.** Jeomanyetik indislere ait özellikler [32].

İndis	Türetilme Metodu	Zaman Aralığı	Dezavantajları	Geçerlilik
Düzenli ve düzensiz jeomanyetik değişimler arasındaki farklılıkları belirler. K indisi, tek bir istasyonu temsil eder.	Tek bir istasyondaki verilerle K indisinin günlük değişimi çıkarılabilir.	3 saat	İndisin, değerlendirilmesindeki Problem, günlük değişimlerin, düzeltilmesinde, özel doğruların belirleyici rol oynamasıdır.	İndis rasathaneye bağlıdır.
$K_p$ Yer'e ait bir indis değeri vermek için tanımlanmıştır. 13 rasathaneden elde edilen K indisinin ortalamasıyla elde edilir.	$K_p$ katkıda bulunan rasathanelerde çıkarılan K indisinin ortalamasıyla türetilir. Günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı değildir.	3 saat	-Asya boylarında istasyon yokluğu -Güney yarım kürede az istasyon oluşu -Kutup bölgesindeki istasyonların kapalı olması	1932'den bugüne kadar veriler mevcuttur.
$A_p$ K <sub>p</sub> 'den lineer bir indis elde etmek için tanımlanmıştır.	$a_p$ indisinin bir günde 8 değerinin aritmetik ortalamasından türetilmiştir.	3 saat	-Asya boylarında istasyon yokluğu -Güney yarım kürede az istasyon oluşu -Kutup bölgesindeki istasyonların kapalı olması	1932'den bugüne kadar veriler mevcuttur.
AE, AL, AU, AO Bu indisler, auroraya ait bölgeyi incelemek için tanımlanmıştır ve onlara aynı zamanda auroral elektrojet indislere de denir.	AO indisi: $AO = 1/2(AU + AL)$ iken, AE indisi, AU ve AL indislere arasındaki farktan türetilir.	1 ya da 2,5 dakika	Şu andaki kutup bölgesinde bulunan istasyon ağı, enlem ve boylamda ideal bir dağılım meydana getirmiyor.	1957-1978 yılları arasında, saatlik AE indislere Alaska Jeofizik enstitüsü ve NASA tarafından sağlandı. 1978 ve daha sonraki yıllarda ölçülen indisler, jeomanyetizm (Kyoto, Japonya) için WDC-C2'de üretildi.
PC İkinci derece fırtınanın gelişimini belirtmek için geliştirilmiştir.	PC indisi, iki yüksek enlem istasyonlarında ölçülen jeomanyetik alanın H ve D bileşenleri kullanılarak iki yarı küre için ayrı ayrı geliştirilmiştir.	15 dakika	Yaz süresince, IMF'nin (Güneş rüzgârlarıyla taşınan manyetik alan) bileşenlerinin yıl içindeki değişimleri PC değerlerinin doğruluğunu etkiler.	PC verileri, Thule istasyonu için 1975'den şimdiye kadar mevcuttur.
D <sub>st</sub> Ekvatorial elektrojet akımının bir ölçüsüdür.	D <sub>st</sub> , düşük enlem ölçüm istasyonlarında jeomanyetik alanın H bileşeni kullanılarak türetilir. Her istasyon için sakin gün değişimi ihmal edilir	1 Saatlik	D <sub>st</sub> 'nin yıllık değişimini tanımlama kuzey yarımküre daha baskındır. Stening'e göre, her iki yarı küredeki değişen rasathane dağılımı bunda etkilidir.	1957'den sonraki yıllar için saatlik veriler, jeomanyetizm için WDC-C2' de türetilmiştir.

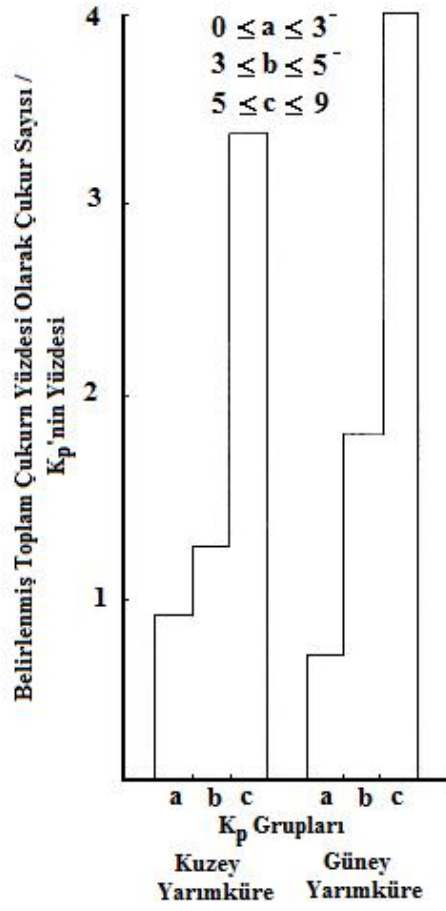
#### 4.9. Manyetik Aktivite ve Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki

Şekil 4.5, Ariel 3 uydusunun 1967 yılının Mayıs ve Aralık ayları arasında yaklaşık 550 km de ölçtüğü elektron yoğunluklarından tespit edilen orta enlem elektron yoğunluğu çukur sayıları ile 3 saatlik manyetik  $K_p$  indisinin toplamı arasındaki ilişkiyi günün fonksiyonu olarak göstermektedir.  $\sum K_p$  ve çukur sayısının değişimini kolay karşılaştırmak için, noktalar birleştirilmiştir. Çukurların oluşumunun manyetik aktiviteye benzer bir şekilde değişim gösterdiği açık bir şekilde görülmektedir. Buradan daha büyük  $K_p$  değerlerinde, daha fazla çukur gözlemlendiği açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5. Mayıs-Aralık 1967 süresince günün fonksiyonu olarak, çukur sayıları ile  $K_p$  arasındaki ilişki [14].

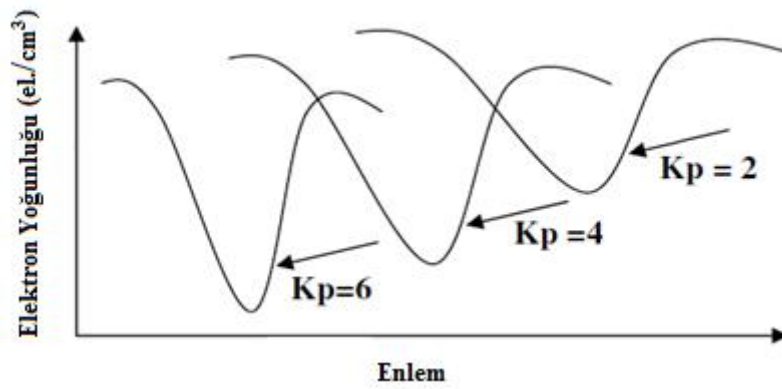
Çukur oluşumu ile  $K_p$  arasındaki ilişkiyi gösteren benzer bir analiz sonucu Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilde,  $K_p$  indisi,  $0 \leq K_p \leq 3^-$ ,  $3 \leq K_p \leq 5^-$   $K_p$  ve  $5 \leq K_p \leq 9$  olarak üç gruba ayrılmıştır ve çukurların oluşumu, tüm çukur verileri kullanılarak  $K_p$  gruplarının her biri için hem kuzey yarımküreye hem de güney yarımküreye uygulanarak incelenmiştir. Şekil 4.6'dan, yüksek  $K_p$  değerlerinde, daha fazla çukurun oluştuğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.6. 1967 yılı için Güney ve Kuzey yarımkürelerdeki farklı  $K_p$  gruplarında meydana gelen çukur sayıları [14].

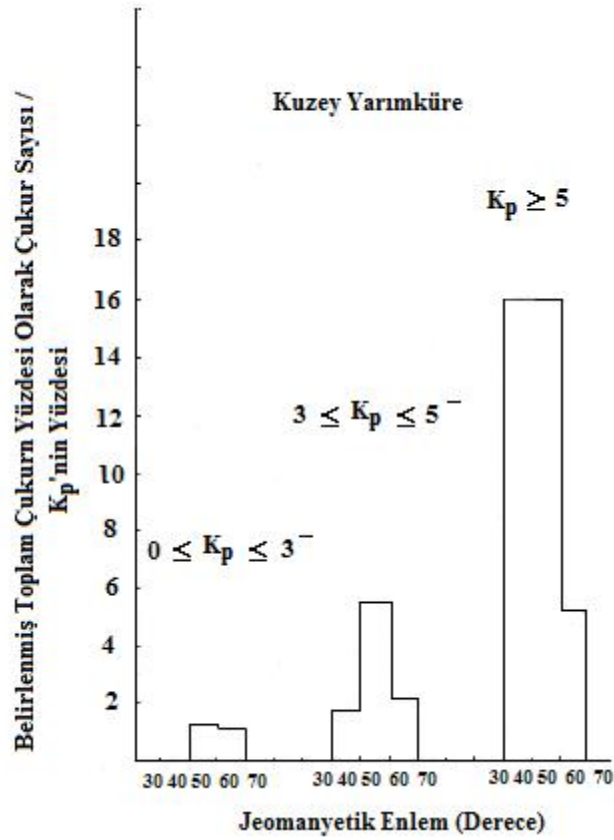
#### 4.10. Manyetik Aktivite İle Çukur Konumu Arasındaki İlişki

$K_p$  değerinin artması, dolayısıyla manyetik etkinliğin artması, çukur bölgesinin daha düşük enlemlere (ekvatora) doğru kayması ve derinliğinin artması anlamına gelmektedir. Bunu şekil 4.7’de açık bir şekilde görebilmekteyiz.



Şekil 4.7. Elektron yoğunluğu çukurunun  $K_p$  değerlerine bağlı karakteristiği [36].

Cosmos-900 uydusundan alınan verilerin değerlendirilmesi neticesinde  $K_p$  'ye bağlı olarak çukur bölgede gelişen değişimler, Güneş etkinliğinin fazla olduğu dönemler için incelenerek normal durumlarla kıyaslanmıştır. Aralık 1978 ve Ocak 1979 ayları çeşitli manyetik fırtınaların yaşandığı bir zaman aralığıdır. Manyetik fırtınaların yaşandığı süreçte  $K_p=5$  durumu ve sakin durumlar için  $K_p=2$  durumu incelenmiştir.  $300^\circ$ - $330^\circ$  boylamlarında yer alan bir bölge için yapılan kıyaslamalarda  $K_p$  indisinin 2'den 5'e değişmesiyle çukur bölgesinin genişliği  $3,5^\circ$ - $5^\circ$  aralığından  $2,5^\circ$ - $4^\circ$  aralığına azalırken, derinliği yaklaşık 2,3'den 3'e artmıştır. Genişliğin azalması MP'nin derinleşmesinin (plazma yoğunluğunun düşmesi) bir sonucudur. Buna ek olarak, 1967 yılında Ariel III uydusundan elde edilen veriler kullanılarak  $K_p$  ile çukur konumunun değişimi arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.8'de, kuzey yarımküredeki çukurların çoğunlukla  $50^\circ$  ve  $60^\circ$  jeomanyetik enlem bölgelerinde meydana geldiği ve  $K_p$  artarken düşük enlemlerde meydana gelen çukurların oluşma yüzdesinin de arttığı açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. Kuzey yarımkürede gözlemlenen çukur konumlarının  $K_p$  ile değişimi [14].





B veya B' noktası ise, dalganın yansıdığı gerçek yüksekliktir. Bu yükseklikte elektron yoğunluğu maksimumdur. Bu yükseklik, tepe yüksekliği olarak adlandırılıp  $h_m F2$  şeklinde sembolize edilir ve bu yükseklikten yansıyan dalganın frekansı, ordinari dalga için foF2 olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, F2 tabakasının kritik frekansı olarak ta adlandırılır.

İyonosferik plazma içerisine dikey olarak giren ordinari dalganın kırılma indisi,

$$n^2 = 1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} \quad (5.1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada  $\omega (=2\pi f)$  gönderilen dalganın açısal frekansı, ve  $\omega_p (= \omega_{pe} + \omega_{pi})$  ise plazma ortamının titreşim frekansı olup iyonosferik plazmadaki elektron ve iyonların titreşim frekanslarının toplamıdır [40].

Dalganın yansıma noktası, kırılma indisinin sıfır olduğu nokta olduğu için, dalganın frekansının ortamın titreşim frekansına eşit olduğu noktada dalga yansıyacaktır ve herhangi bir zamanda yansıyacak maksimum dalga frekansı o andaki maksimum titreşim frekansının olduğu duruma denk düşecektir [40].

$$n^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad 1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} = 0 \quad (5.2)$$

ve

$$\omega^2 = \omega_p^2 \quad (5.3)$$

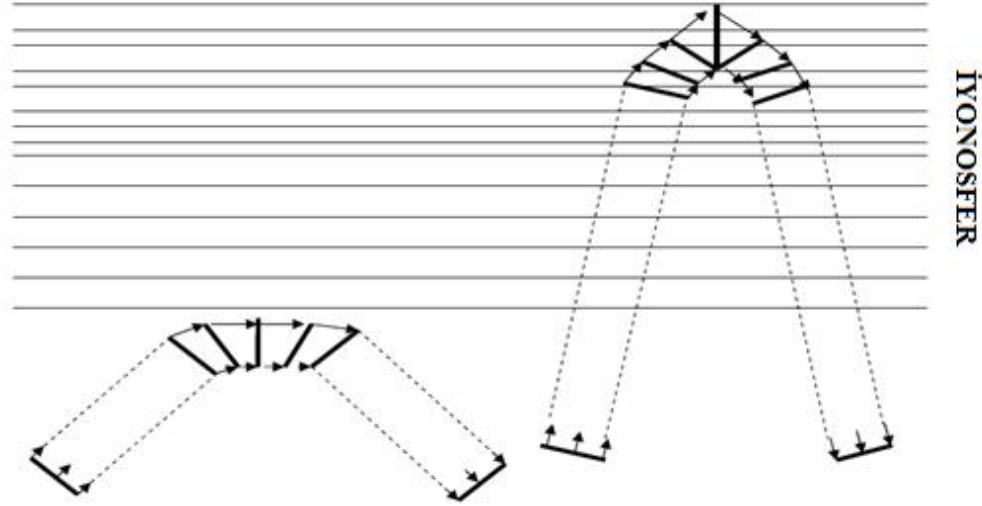
olacaktır. Bu dalga frekansı veya plazma titreşim frekansı foF2 olarak tanımlandığı için yukarıdaki ifade ve tanımlamalardan hareketle foF2,

$$foF2 = \sqrt{\frac{\omega_{pe}^2 + \omega_{pi}^2}{4\pi^2}} \quad (5.4)$$

şeklinde tanımlanır. Buradaki elektron ve pozitif iyonların titreşim frekansları aşağıdaki gibidir.

$$\omega_{pe}^2 = \frac{e^2 N_e}{m_e \epsilon_0} \quad \text{ve} \quad \omega_{pi}^2 = \frac{e^2 N_i}{m_i \epsilon_0} \quad (5.5)$$

Bu ifadelerdeki elektron ve iyonların yükleri, kütleleri ve boşluk için dielektrik sabiti, sabit değerler olup, değişken olan sadece elektron ve iyon yoğunluklarıdır. Dalganın gönderiliş açısı küçülürse, iyonosfer tabakası içinde ilerlerken oluşacak hız farkı azalır. Bu hız farkının yeterli seviyeye ulaşip yansımanın gerçekleşebilmesi için dalga daha fazla elektron yoğunluğuna ihtiyaç duyar. Bu da dalganın iyonosferin daha üst bölgesinden yansımaya neden olur [36].



Şekil 5.3. Eğime bağlı olarak farklı yüksekliklerden yansıyan dalgalar [36].

Buradan elde edilen değer kritik frekans değeridir. Eğer,

$$\omega^2 = \omega_p^2 \Rightarrow \omega = 2\pi f_o F_2, \text{ (foF}_2\text{=Kritik frekans)}$$

$\omega^2 > \omega_p^2$  olduğunda iyonosfer dalgayı geçirir.

$\omega^2 \leq \omega_p^2$  olduğunda iyonosfer dalgayı yansır.

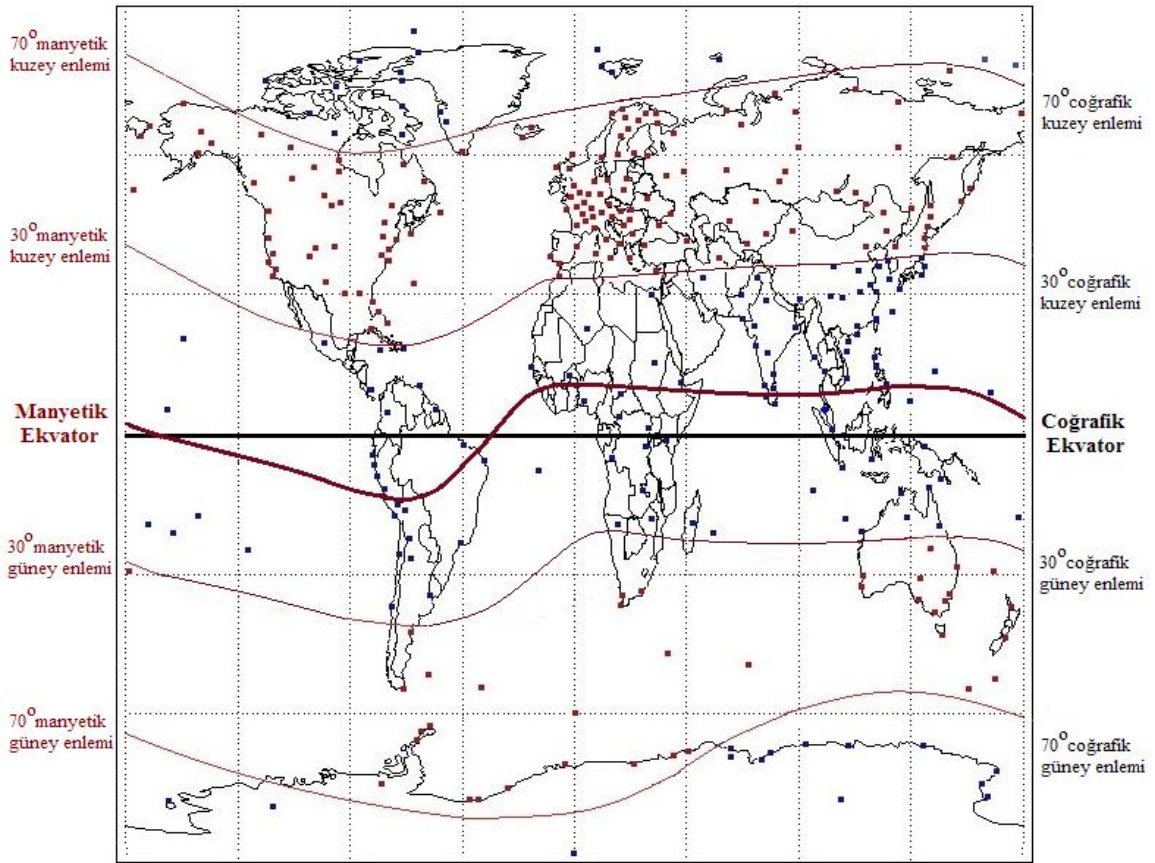
Kritik frekans değerlerinin ölçüldüğü istasyonlara iyonosonda istasyonları denmektedir. Bu istasyonlarda her saat için kritik frekans ölçümleri yapılmaktadır. 1950'den bu yana her günün her saatindeki kritik frekans verilerine ulaşmak mümkündür. Kritik frekans değerini bulmak için dalga verici tarafından dikey olarak ( $\theta=0$ ) iyonosfer tabakasına gönderilir. Gönderilen bu dalga alıcı tarafından geri alındığı takdirde, dalganın frekansı biraz daha arttırılarak tekrar gönderilir. Dalga alıcıdan geri alındığı sürece bu işlem ard arda devam ettirilir. Dalganın geri alınmadığı frekans değeri bulunur. Bu takdirde iyonosfer tabakasının bu frekanstaki dalgayı geçirdiği anlaşılır. Bu frekans değerinden bir önceki frekans değeri (geri elde edilmiş son frekans değeri) kritik frekans değeri olarak belirlenir. Gönderdiğimiz dalganın hızını ve dalganın vericiden çıkıp alıcıya ulaşması

arasında geçen süreyi de biliyorsak, dalganın aldığı yolu dolayısıyla ne kadar yüksekte geri yansıtılmış olabileceğini hesaplayabiliriz [36].

Buna göre iyonosferden en fazla yansiyabilecek dalga, elektron yoğunluğunun en fazla olduğu F2 tepesinden yansiyacak dalga olup, bu dalganın frekansı foF2 olarak isimlendirilir. Bu yükseklik yılın tüm günlerinde ve saatlerinde Güneş ışınlarının geliş açısı ve dolayısıyla elektron yoğunluğuna göre değişiklik gösterir. Buna bağlı olarak iyonlaşmanın farklı dinamik süreçlerin yaşanmasından dolayı da yansıma yüksekliği değişecektir. Genellikle yansıma 200-350 km arasındaki yüksekliklerde gerçekleşmektedir.

## 6. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, iyonosferik F2 bölgesi kritik frekans değerleri kullanılarak orta enlem bölgesi için yaklaşık 550 km de saptanmış elektron yoğunluğu çukurunun foF2 üzerindeki olası izi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için 1972 yılında 30°-70° manyetik enlemler arasındaki iyonsondalardan elde edilen foF2 verileri kullanılmıştır. Şekil 6.2’de, bu enlemler arasında bulunan günümüzdeki iyonsondaların yerleri gösterilmiştir. Güneş’in konumunun yerel zaman ile değişimi, elektron yoğunluğu ve foF2 üzerinde önemli etkilere sahip olduğundan dolayı tüm coğrafik boylamlar 1.boylam bölgesi (0°-180° D) ve 2. boylam bölgesi (40°-100° B) olarak iki farklı bölgeye ayrılmıştır [41].



Şekil 6.1. Güncel iyonsonda istasyonları [42].

Tablo 6.1’de, yalnızca 1972 yılında foF2 ölçümü yapan, 30°-70° kuzey manyetik enlemler arasındaki iyonsonda istasyonlarının coğrafik ve manyetik enlem ve boylam değerleri verilmektedir.

**Tablo 6.1.** 1972’de 30°-70° kuzey manyetik enlemler arasındaki iyonsonda istasyonları [43].

Sıra No	İstasyon Adı	Coğrafik Koordinat	Jeomanyetik Koordinat	Sıra No	İstasyon Adı	Coğrafik Koordinat	Jeomanyetik Koordinat
1	Cape Schmidt	68,8° K, 179,5° D	63,8° K, 128,4° D	28	Moscow	55,5° K, 37,3° D	50,9° K, 121,5° D
2	Tixie Bay	71,5° K, 128,9° D	63,8° K, 128,4° D	29	Arkhangelsk	64,5° K, 40,5° D	59,1° K, 128,7° D
3	Norilsk	69,4° K, 88,4° D	63,8° K, 128,4° D	30	Loparskaya	68,0° K, 33,0° D	63,5° K, 125,3° D
4	Salekhard	66,5° K, 66,7° D	63,8° K, 128,4° D	31	Tromso-Ramfjord	69,5° K, 19,2° D	67,0° K, 116,0° D
5	Yakutsk	62,0° K, 129,6° D	63,8° K, 128,4° D	32	Kiruna	67,8° K, 20,4° D	65,2° K, 115,1° D
6	Magadan	60,0° K, 151,0° D	63,8° K, 128,4° D	33	Sodankyla	67,4° K, 26,6° D	63,9° K, 119,7° D
7	Petroplavsk	53,0° K, 158,5° D	63,8° K, 128,4° D	34	Lycksele	64,6° K, 18,7° D	62,5° K, 110,8° D
8	Wakkanai	45,4° K, 141,7° D	63,8° K, 128,4° D	35	Nurmijarvi	60,5° K, 24,6° D	57,7° K, 113,0° D
9	Akita	39,7° K, 140,1° D	63,8° K, 128,4° D	36	Uppsala	59,8° K, 17,6° D	58,2° K, 106,3° D
10	Irkutsk	52,5° K, 104,0° D	63,8° K, 128,4° D	37	South Uist	57,3° K, 352,6° D	60,1° K, 80,6° D
11	Tomsk	56,5° K, 84,9° D	63,8° K, 128,4° D	38	Athens	38,0° K, 23,6° D	36,1° K, 103,2° D
12	Novosibirsk	54,6° K, 83,2° D	63,8° K, 128,4° D	39	Rome	41,9° K, 12,5° D	41,8° K, 93,6° D
13	Alma Ata	43,2° K, 77,0° D	63,8° K, 128,4° D	40	Sofia	42,7° K, 23,4° D	40,7° K, 104,5° D
14	Tashkent	41,3° K, 69,6° D	63,8° K, 128,4° D	41	Ottawa	45,4° K, 284,1° D	55,1° K, 4,5° B
15	Ashkhabad	37,9° K, 58,3° D	63,8° K, 128,4° D	42	Argentina	47,3° K, 306,0° D	56,4° K, 22,6° D
16	Thilisi	41,7° K, 44,8° D	63,8° K, 128,4° D	43	Kiev	50,7° K, 30,3° D	47,4° K, 113,4° D
17	Novokazalinsk	45,7° K, 62,1° D	63,8° K, 128,4° D	44	Bekescsaba	46,7° K, 21,2° D	45,0° K, 103,6° D
18	Karaganda	49,8° K, 73,0° D	63,8° K, 128,4° D	45	Pruhonic	50,0° K, 14,5° D	49,3° K, 98,5° D
19	Sverdlovsk	56,7° K, 61,1° D	63,8° K, 128,4° D	46	Graz	47,1° K, 15,5° D	46,3° K, 98,3° D
20	Gorky	56,1° K, 44,2° D	63,8° K, 128,4° D	47	Dourbes	50,1° K, 4,6° D	51,1° K, 88,9° D
21	Slough	51,5° K, 359,4° D	63,8° K, 128,4° D	48	Freiburg	48,1° K, 7,6° D	48,7° K, 91,0° D
22	Lannion	48,4° K, 356,7° D	63,8° K, 128,4° D	49	Schwarzenburg	46,6° K, 6,7° D	47,4° K, 89,5° D
23	Juliusruh/Rugen	54,6° K, 13,4° D	63,8° K, 128,4° D	50	Poitiers	46,5° K, 0,3° D	48,4° K, 83,2° D
24	Kaliningrad	54,7° K, 20,6° D	63,8° K, 128,4° D	51	Churchill	58,8° K, 265,8° D	67,6° K, 30,7° B
25	De Bilt	52,1° K, 5,2° D	63,8° K, 128,4° D	52	Havana	23,0° K, 278,0° D	32,6° K, 10,7° B
26	Lindau	51,6° K, 10,1° D	63,8° K, 128,4° D	53	Cape Kennedy	28,4° K, 279,4° D	38,1° K, 9,3° B
27	Miedzyszyn	52,2° K, 21,2° D	63,8° K, 128,4° D	54	Kiruna	67,8° K, 20,4° D	64,9° K, 116,1° D

Bu çalışmada, 1972 için 2. boylam bölgesindeki iyonsonda istasyonlarından foF2 verisi alınmadığından dolayı sadece 1. boylam bölgesinde bulunan ve Tablo 6.2’de verilen iyonsonda istasyonları kullanılmıştır.

**Tablo 6.2.** 1972 için 1. boylam bölgesindeki foF2 verilerinin alındığı iyonosonda istasyonları.

İstasyon Adı	Coğrafik Enlem	Coğrafik Boylam	Değişmeyen Manyetik Enlem
Sofia	42,7° K	23,4° D	40,7° K
Bekascaba	46,7° K	21,2° D	45° K
Kiev	50,7° K	30,3° D	47,6° K
Miedziesyzn	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

Bu çalışmada kullanılan elektron yoğunluğu verileri, Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından elde edilmiştir. Ariel 3 uydusunun en büyük yörünge yüksekliği 600 km, en düşük yörünge yüksekliği ise 481 km dir. Uydunun yörünge düzlemi ile Yer’in ekvator düzlemi arasındaki açı (uydunun eğriliği) 81° dir. Ayrıca Ariel 4 uydusunun en büyük yörünge yüksekliği 611 km, en düşük yörünge yüksekliği ise 471 km dir. Uydunun yörünge düzlemi ile Yer’in ekvator düzlemi arasındaki açı (uydunun eğriliği) 83° dir. Uydu bir turunu 95 dakikada tamamlamaktadır [14, 21, 41]. Şekil 6.1’de, uyduların Yer’e göre yörüngeleri gösterilmiştir.



**Şekil 6.2.** Uyduların Yer’e göre yörüngeleri.

Ariel 3 ve Ariel 4 uydularının Yer etrafındaki bir dolanımaları boyunca yaklaşık 24° coğrafik batı boylamı taramaktadırlar. Her iki uydu da, bir gün boyunca Yer çevresini 15 kez dolanmaktadır. Ayrıca ekvatorun aynı noktasında tekrarlanan geçiş süresi yaklaşık 22 gündür ve uydular her 84 günde bir aynı yerel zamanda bulunmaktadır. Ayrıca bu uydulardan alınan elektron yoğunluğu verileri incelenirken, orta enlem bölgesi olarak adlandırılan Yer'in 30°-70° değişmeyen manyetik enlemler arasındaki bölgeden elde edilen veriler kullanılarak orta enlem elektron yoğunluğu çukuru tespit edilmeye çalışılmıştır [14, 21, 41].

Uydu ve foF2 verilerinden çukurun oluşumu ve yapısındaki değişimlere, yerel zamanın, mevsimlerin ve jeomanyetik aktivitenin etkilerini görmek için;

1. Farklı yerel zamanlar için elde edilen elektron yoğunluğu ve foF2 verileri aynı  $K_p$  değerleri için incelenmiştir.
2. Elektron yoğunluğu verileri ve foF2 verileri 21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül ve 21 Aralık dönemleri için incelenmiştir. Bu dönemler, her günün (21 Mart, 21 Haziran, 23 Eylül ve 21 Aralık) 42 gün öncesi ve 42 gün sonrasını kapsayan 84 günlük bir periyot kullanılarak belirlenmiştir.
3. Elektron yoğunluğu ve foF2 verileri, sakin dönem ( $K_p \leq 2^+$ ) ve etkin dönem ( $K_p > 2^+$ ) için ayrı ayrı incelenmiştir.

Her saat için belirlenen foF2 verileri, Tablo 6.2'de verilen iyonsonda istasyonlarından her saat için alınan 84 ( $\pm 42$ ) günlük verinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Farklı mevsim ve farklı yerel zamanlar da foF2'nun değişimini daha detaylı incelemek için foF2'nun aritmetik ortalaması kullanılarak ve denklem (6.1) ile verilen ortalama delta foF2 hesaplanarak bu değerlerin değişmeyen manyetik enleme göre grafikleri çizdirilmiştir.

$$\text{delta foF2} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{foF2}_{\text{ortalama}} - \text{foF2}_i)}{n} \quad (6.1)$$

## 7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Elektron yoğunluğu çukurunun foF2 verileri üzerindeki izini incelemek için, Bölüm 6'da verdiğimiz metotlar kullanılarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerleri ve ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri ile literatürden Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından elde edilen elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri arasındaki ilişki incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

### 7.1. $K_p \leq 2^+$ İçin Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2'deki İzi

#### 7.1.1. 21 Mart Dönemi

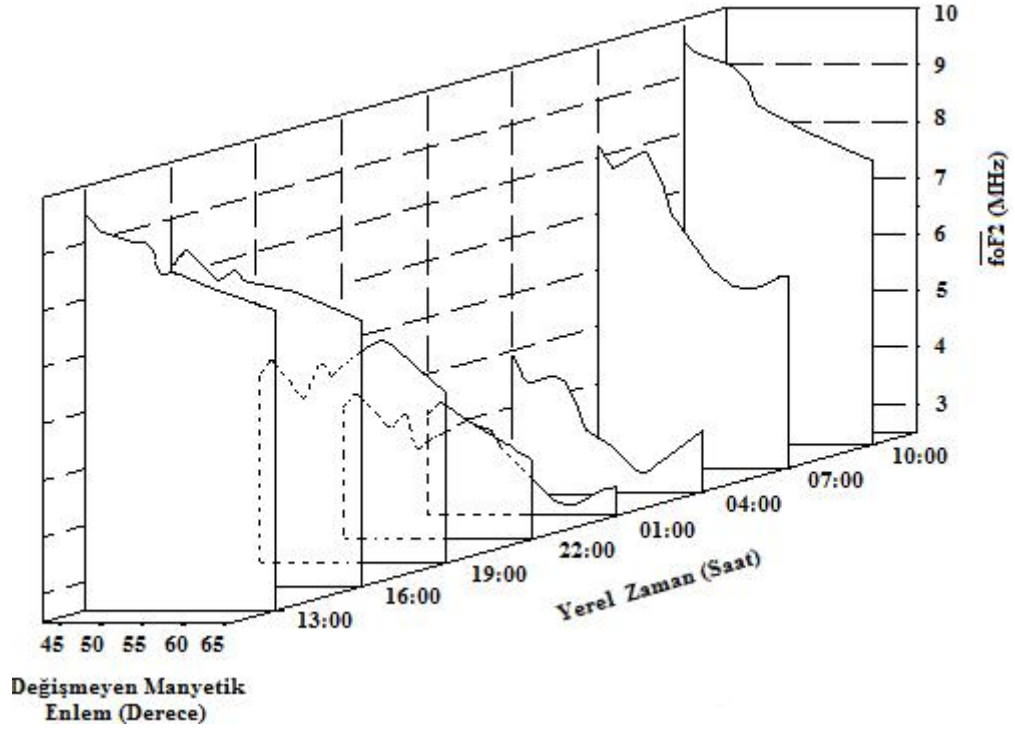
Tablo 7.1'de, 1972 yılının 21 Mart yani ilkbahar ekinoksu civarındaki hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir (Saat sıralaması literatürdeki sıralamaya göre verilmiştir).

**Tablo 7.1.** 21 Mart 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	9,6	8,2	4,9	4,3	4,8	5,7	8,1	9,5
Bekascaba	43,5° K	9,4	7,8	4,4	4,5	5,1	6,1	8,5	9,2
Kiev	47,6° K	9,2	8,1	4,6	4,1	4,5	5,4	7,9	9,0
Miedzesyzn	49,7° K	8,9	7,5	4,0	4,0	4,7	6,1	8,1	9,0
Kaliningrad	50,7° K	8,5	7,0	3,6	3,7	4,1	5,8	7,9	8,6
Upsala	57,1° K	8,0	5,7	3,0	2,8	4,6	6,5	7,7	8,2
Lysksele	65° K	7,5	5,9	3,6	3,0	3,9	5,5	7,2	7,8

Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ 'ya göre değişimleri Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Burada, gece saatleri için ortalama foF2 profilleri yaklaşık olarak  $57^\circ \Lambda$  değerine 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 bu iki durum arasında tespit edilen temel fark, gece saatlerinde meydana gelen çukura benzer yapıların derinliklerinin saat 07:00'de gözlemlenen çukurun derinliğinden büyük olmasıdır. Genellikle gece saatlerinde meydana gelen bu yapılar elektron yoğunluğu çukurunun foF2'deki izini karakterize etmektedir. Gündüz saatleri için ise ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik enlemin artması ile sürekli ve yavaş bir şekilde azalmaktadır.





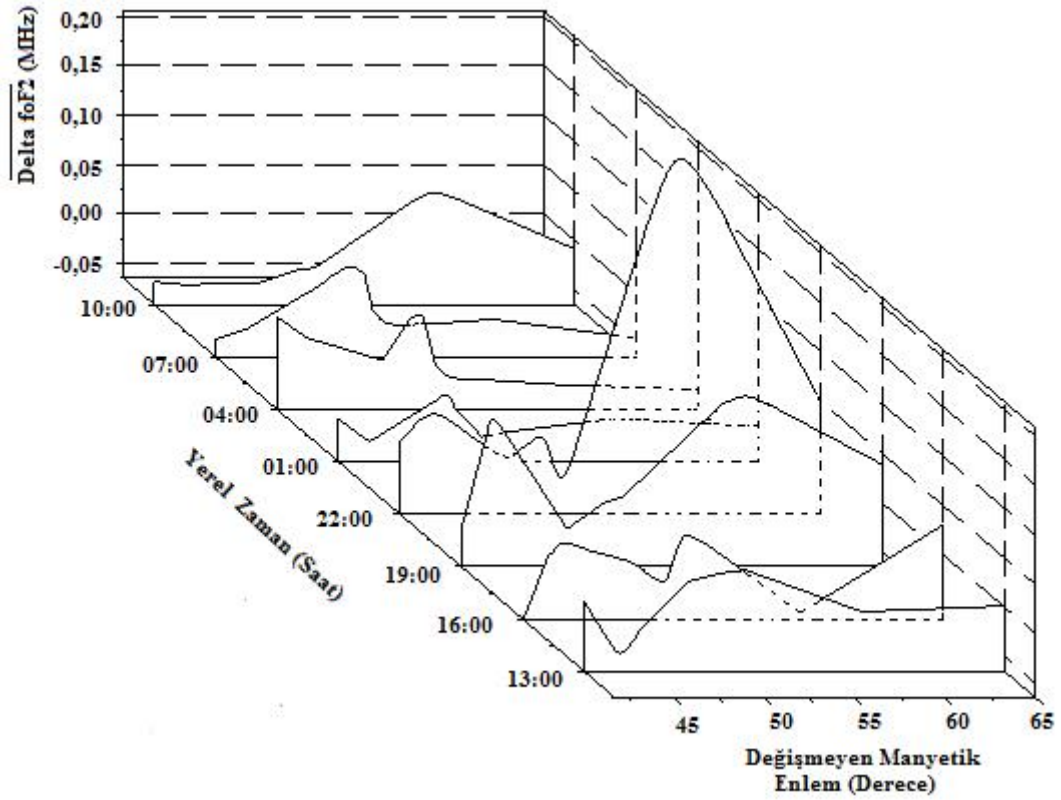
**Şekil 7.1.** 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Tablo 7.2’de, 1972 yılının 21 Mart civarında hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.2.** 21 Mart 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	-0,042	-0,047	0,028	-0,022	0,008	-0,025	-0,121	0,006
Bekascaba	43,5° K	-0,045	-0,037	0,007	-0,045	0,044	0,090	0,014	-0,046
Kiev	47,6° K	-0,043	0,008	-0,015	0,002	-0,011	-0,026	-0,006	0,027
Miedzesyzn	49,7° K	-0,030	0,043	0,042	-0,040	0,019	0,000	-0,028	0,036
Kaliningrad	50,7° K	-0,028	-0,036	-0,032	-0,036	-0,043	0,006	0,028	0,038
Upsala	57,1° K	0,053	-0,027	-0,040	-0,021	0,220	0,116	-0,058	-0,004
Lysksele	65° K	-0,009	-0,046	-0,045	-0,029	0,050	0,039	0,031	0,002

Bu değerlere göre farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin  $\Delta$  ile değişimleri Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Elde edilen ortalama delta foF2 değerlerini incelediğimizde, ortalama foF2 değerleri için çukura benzer yapıların bulunduğu saatlerde (04:00, 01:00, 07:00), 0’a çok yakın seyrettiği, günün diğer saatlerinde ise bu değerlerde özellikle 50°-60°  $\Delta$  arasında büyük sapmalar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.2. 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

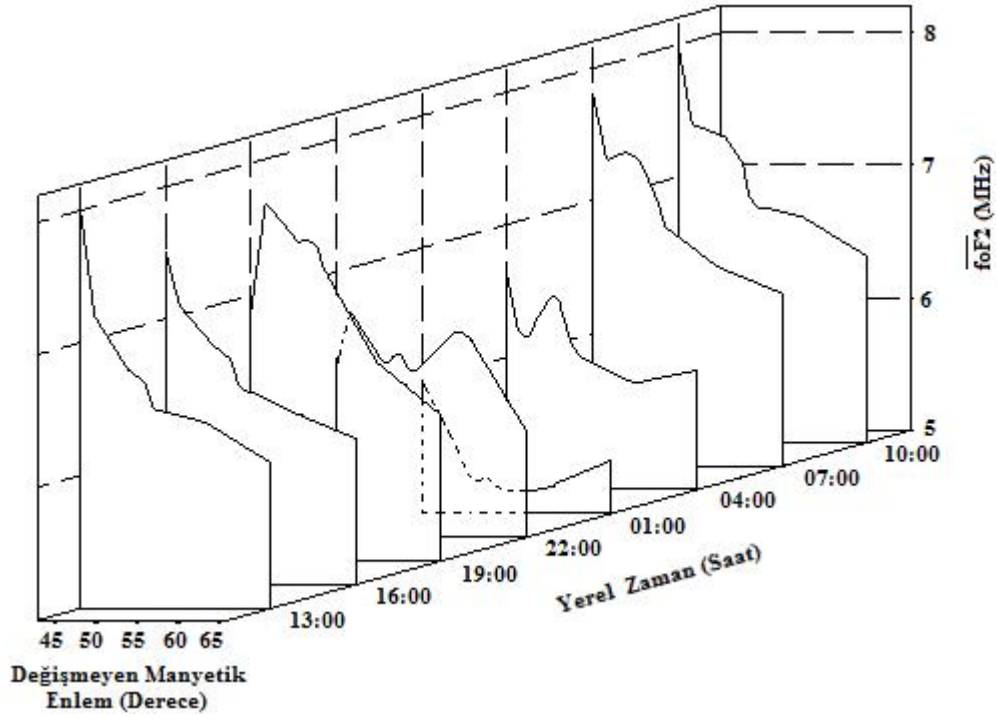
### 7.1.2. 21 Haziran Dönemi

Tablo 7.3’de, 1972 yılının 21 Haziran civarında hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir.

Tablo 7.3. 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	8,0	7,8	6,6	6,0	6,3	6,9	7,5	8,0
Bekascaba	43,5° K	7,4	7,3	6,1	5,8	6,7	7,7	7,1	7,2
Kiev	47,6° K	7,3	7,3	6,5	5,3	6,3	7,4	6,8	6,8
Miedzesyzn	49,7° K	7,1	7,0	6,1	5,3	6,4	7,4	6,7	6,7
Kaliningrad	50,7° K	6,8	6,8	6,0	5,2	6,2	7,2	6,5	6,5
Upsala	57,1° K	6,7	6,5	5,8	5,2	6,6	6,5	6,3	6,4
Lysksele	65° K	6,4	6,3	5,9	5,4	5,8	6,1	6,1	6,1

Bu değerlere göre farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 7.3.** 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

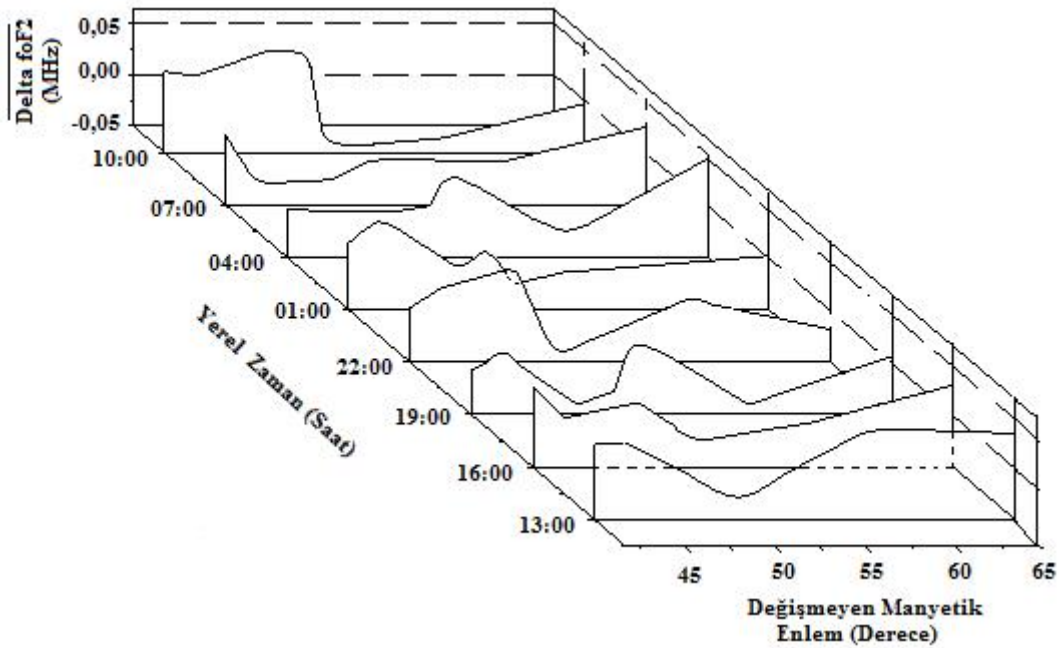
Şekilde, foF2 için çukura benzeyen yapı belirgin olarak saat 01:00 ve saat 04:00'de görülmüştür. Saat 01:00'de  $41,8^\circ$  K  $\Lambda$  konumunda bulunan Sofia istasyonunda, ortalama foF2 değeri 6,0 MHz ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri manyetik enlemin artması ile azalarak  $57,1^\circ$  K  $\Lambda$  konumunda bulunan Upsala istasyonunda 5,2 MHz lik minimum değerinde iken,  $65^\circ$  K  $\Lambda$  konumunda bulunan Lysksele istasyonunda 5,4 MHz'e yükselmiştir. Saat 04:00 için ortalama foF2 değerinin ilk değeri  $41,8^\circ$  K  $\Lambda$  konumundaki Sofia istasyonunda 6,6 MHz olarak ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri  $\Lambda$  değerinin artması ile  $57,1^\circ$  K  $\Lambda$ 'daki Upsala istasyonunda 5,8 MHz değerine kadar azalırken  $65^\circ$  K  $\Lambda$ 'daki Lysksele istasyonunda tekrar yükselişe geçerek 5,9 MHz değerine ulaşmıştır. Günün diğer saatleri için istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin,  $\Lambda$ 'nın artması ile azaldığı görülmektedir.

Tablo 7.4'de, 1972 yılının 21 Haziran civarında hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.4.** 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

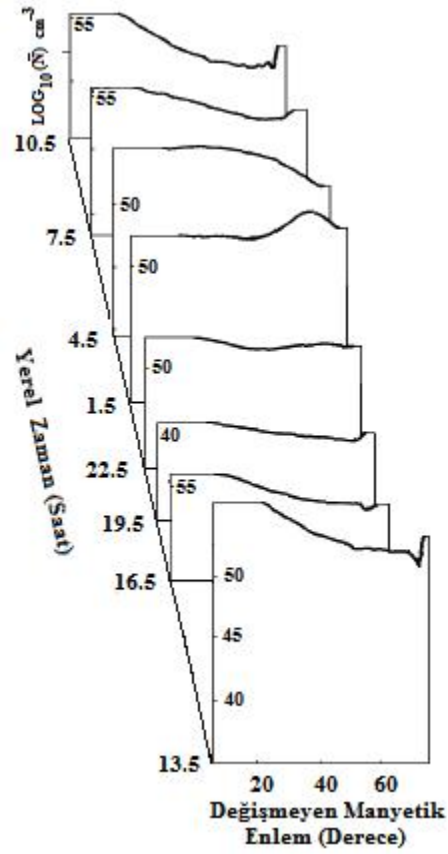
İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	0,028	0,017	-0,003	0,015	0,003	-0,007	0,028	0,023
Bekascaba	43,5° K	0,024	-0,030	-0,005	0,040	0,022	0,009	-0,002	0,025
Kiev	47,6° K	0,049	-0,026	-0,006	-0,007	0,042	-0,040	0,013	-0,011
Miedzesyzn	49,7° K	0,048	-0,008	0,000	0,004	-0,042	-0,027	-0,011	-0,040
Kaliningrad	50,7° K	-0,046	-0,006	0,035	-0,018	-0,037	0,028	-0,025	-0,020
Upsala	57,1° K	-0,036	-0,008	-0,031	-0,009	0,011	-0,040	-0,007	0,039
Lysksele	65° K	-0,003	0,026	0,045	0,002	-0,018	0,007	0,030	0,034

Bu değerlere göre farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin  $\Lambda$ 'ya göre değişimleri Şekil 7.4'de gösterilmiştir. Elde edilen delta foF2 değerlerini incelediğimizde, saat 04:00 ve özellikle saat 01:00 için delta foF2 değerlerinde meydana gelen sapmaların daha az olduğu görülmektedir. Günün diğer saatlerinde ise delta foF2 değerlerinde daha fazla sapmaların meydana geldiği görülmektedir.



**Şekil 7.4.** 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Şekil 7.5, Ariel 3 uydusunun  $K_p \leq 2^+$  için 21 Haziran döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışını göstermektedir [21].



Şekil 7.5. 21 Haziran döneminde Ariel 3 uydusunun kuzey yarımkürede  $K_p \leq 2^+$  için ölçtüğü farklı yerel zamanlardaki ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışı [21].

Şekil 7.5’den, uydunun ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının yerel zamanların çoğunda değişmeyen manyetik enlem derecesinin artması ile özellikle gece saatlerinde çok büyük değişimler göstermediği gündüz saatlerinde sürekli bir şekilde azaldığı ve  $70^\circ$  K  $\Lambda$  civarında tekrar artışa geçtiği görülmektedir.

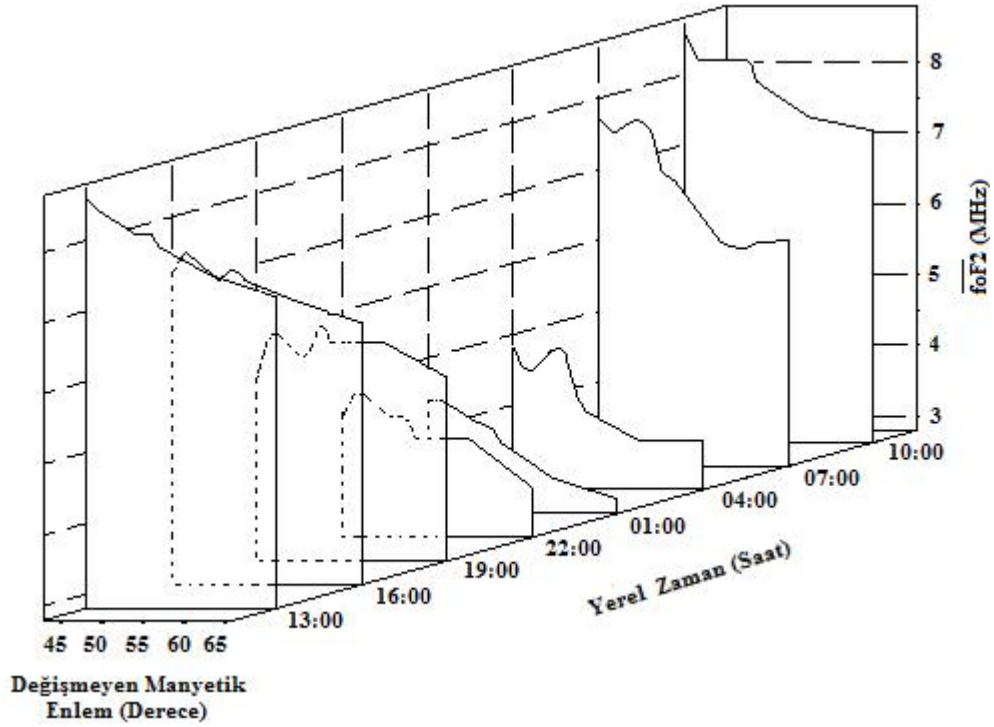
### 7.1.3. 23 Eylül Dönemi

Tablo 7.5’de, 1972 yılının 23 Eylül civarında hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir.

Tablo 7.5. 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	8,6	7,7	4,8	4,4	4,5	5,4	7,2	8,6
Bekascaba	43,5° K	8,2	7,5	4,4	4,4	4,9	6,1	7,5	8,4
Kiev	47,6° K	8,2	7,8	4,9	4,1	4,5	5,6	7,1	8,1
Miedzesyzn	49,7° K	8,2	6,9	4,1	4,0	4,5	6,2	7,4	8,1
Kaliningrad	50,7° K	7,9	6,9	3,9	3,8	4,2	5,9	7,1	7,9
Upsala	57,1° K	7,4	5,9	3,5	3,3	4,2	5,9	6,8	7,5
Lysksele	65° K	7,2	6,0	3,5	3,0	3,5	5,4	6,5	7,2

Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 7.6.** 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

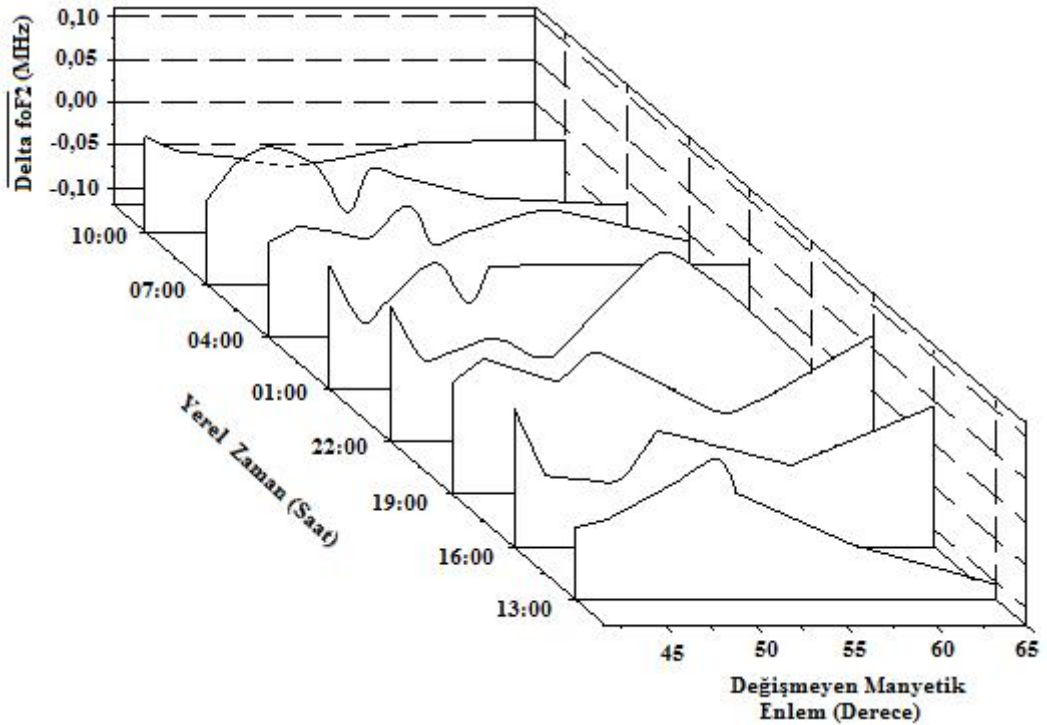
Şekil 7.6'da, dikkat çeken veriler saat 07:00'da görülmektedir. Bu saatte, 41,8° K  $\Lambda$ 'daki Sofia istasyonunda ortalama foF2'nin ilk değeri 7,7 MHz olarak ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri  $\Lambda$ 'nın artması ile 57,1° K  $\Lambda$ 'da bulunan Upsala istasyonunda 5,9 MHz değerine kadar azalırken 65° K  $\Lambda$ 'da bulunan Lysksele istasyonunda 6,0 MHz değeriyle tekrar yükselişe geçmiştir. Saat 04:00'da yüksek enlem değerlerinde bir durağanlık vardır. Yani, 41,8° K  $\Lambda$ 'daki Sofia istasyonunda ortalama foF2 değeri 4,8 MHz ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri manyetik enlemin artması ile azalarak 57,1° K  $\Lambda$ 'da bulunan Upsala istasyonunda 3,5 MHz değerine kadar azalarak bu değer 65° K  $\Lambda$ 'da bulunan Lysksele istasyonunda 3,5 MHz değerinde sabit kalmıştır. Günün diğer saatlerinde ise  $\Lambda$ 'nın artması ile istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin azaldığı görülmektedir.

Tablo 7.6'da, 1972 yılının 23 Eylül civarında hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.6.** 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	-0,009	-0,022	-0,010	0,023	0,037	0,011	0,041	-0,036
Bekascaba	43,5° K	-0,026	0,025	0,009	-0,048	-0,028	0,038	-0,037	-0,027
Kiev	47,6° K	-0,036	0,026	-0,006	0,036	0,004	0,011	-0,047	0,019
Miedzesyzn	49,7° K	-0,048	-0,039	0,048	-0,025	-0,022	0,049	0,015	0,068
Kaliningrad	50,7° K	-0,042	0,015	-0,012	0,023	-0,022	0,036	0,011	0,004
Upsala	57,1° K	-0,016	-0,019	0,031	0,026	0,117	-0,031	-0,025	-0,056
Lysksele	65° K	-0,013	-0,028	-0,009	0,026	-0,031	0,065	0,044	-0,102

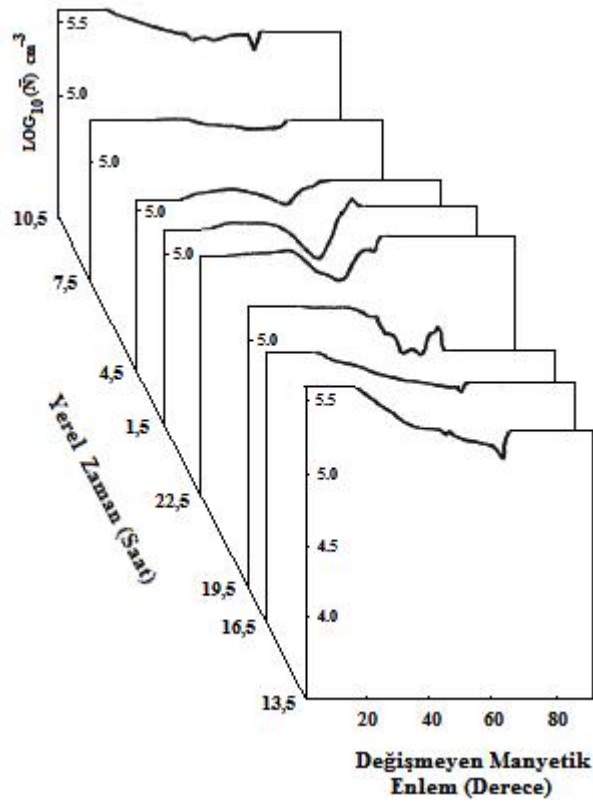
Bu değerlere göre farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Elde edilen delta foF2 değerlerini incelediğimizde, saat 07:00 ve saat 04:00 için delta foF2 değerlerinde meydana gelen sapmaların daha az olduğu görülürken, günün diğer saatleri için delta foF2 değerlerindeki sapmaların daha fazla olduğu görülmektedir.



**Şekil 7.7.** 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.



Şekil 7.8, Ariel 3 uydusunun  $K_p \leq 2^+$  için 23 Eylül döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışını göstermektedir [33]. Buradan elektron yoğunluklarının saat 01:30 ve saat 22:30 da yaklaşık  $60^\circ \Lambda$  değerine kadar azaldığı ve enlem değerinin artması ile elektron yoğunluğu değerinde bir artma meydana geldiği görülmektedir. Bu duruma benzer bir yapı saat 19:30 ve saat 04:30 yerel zamanlar için de meydana gelmektedir. Fakat saat 01:30 ve saat 22:30 saatlerinden farklı olarak, elektron yoğunluklarındaki azalmanın daha az olduğu görülmektedir. Günün diğer saatleri için  $\Lambda$  değerinin artması ile sürekli bir azalmanın meydana geldiği görülmektedir.



**Şekil 7.8.** 23 Eylül döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda Ariel 3 uydusunun  $K_p \leq 2^+$  için ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışı [21].

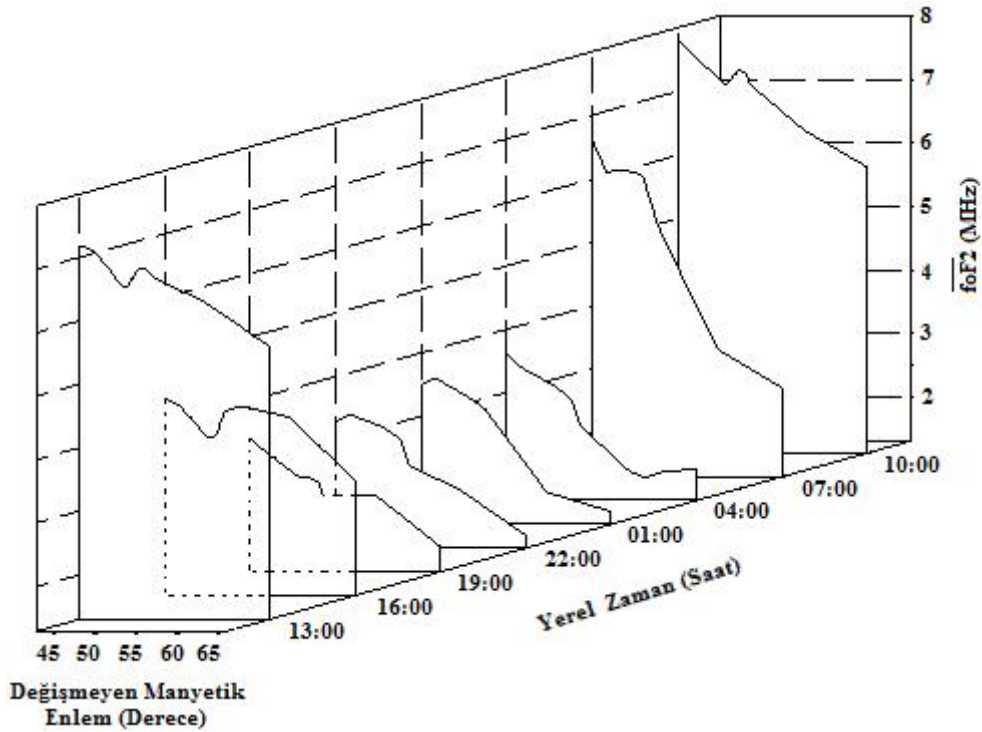
#### 7.1.4. 21 Aralık Dönemi

Tablo 7.7’de, 1972 yılının 21 Aralık civarında hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



**Tablo 7.7.** 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	7,8	6,6	3,6	3,5	3,3	3,4	3,4	7,2
Bekascaba	43,5° K	7,6	6,1	3,4	3,6	3,4	3,2	3,2	7,1
Kiev	47,6° K	7,1	6,2	3,1	3,3	3,2	2,8	2,8	6,5
Miedzeszyn	49,7° K	7,4	5,3	2,9	3,1	3,0	2,8	2,8	7,0
Kaliningrad	50,7° K	7,1	5,0	2,5	2,9	2,6	2,5	2,5	6,7
Upsala	57,1° K	6,4	3,3	1,7	1,8	2,2	2,5	2,5	6,3
Lysksele	65° K	5,8	2,7	1,8	1,5	1,5	1,7	1,7	5,6



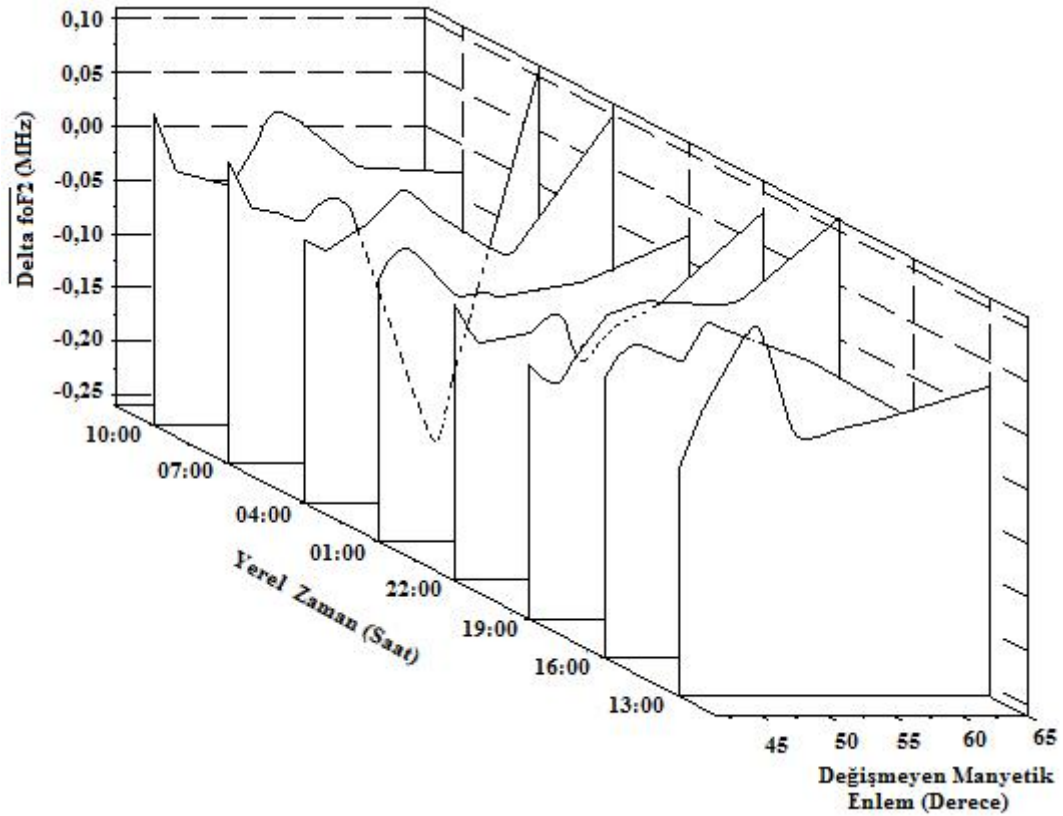
**Şekil 7.9.** 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Şekil 7.9’da, dikkat çeken değerler saat 04:00’da görülmektedir. Bu saatte 41,8° K  $\Lambda$ ’da bulunan Sofia istasyonundaki ortalama foF2 değeri 3,6 MHz olarak ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri manyetik enlemin artması ile azalarak 57,1° K  $\Lambda$ ’da bulunan Upsala istasyonunda ölçülen değer 1,7 MHz’e kadar düşmüş ve 65° K  $\Lambda$ ’da bulunan Lysksele istasyonunda 1,8 MHz değeriyle yükselişe geçmiştir. Günün diğer saatlerinde ise istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ ’nın artması ile azaldığı görülmektedir.

Tablo 7.8’de, 1972 yılının 21 Aralık civarında hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ ’ya göre değişimleri Şekil 7.10’da gösterilmiştir.

**Tablo 7.8.** 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	0,030	0,021	-0,016	-0,015	-0,004	-0,024	0,000	-0,046
Bekascaba	43,5° K	-0,024	-0,022	-0,026	0,023	-0,040	-0,046	0,035	0,006
Kiev	47,6° K	-0,038	-0,032	0,009	-0,034	-0,030	0,022	0,014	0,096
Miedzesyzn	49,7° K	0,006	-0,002	0,038	-0,028	-0,002	0,032	0,057	0,006
Kaliningrad	50,7° K	0,042	-0,015	0,016	-0,033	-0,047	0,035	0,045	-0,021
Upsala	57,1° K	-0,020	-0,246	-0,034	-0,019	-0,004	0,031	0,016	-0,002
Lysksele	65° K	-0,026	0,104	0,100	0,024	0,082	0,112	-0,040	0,028

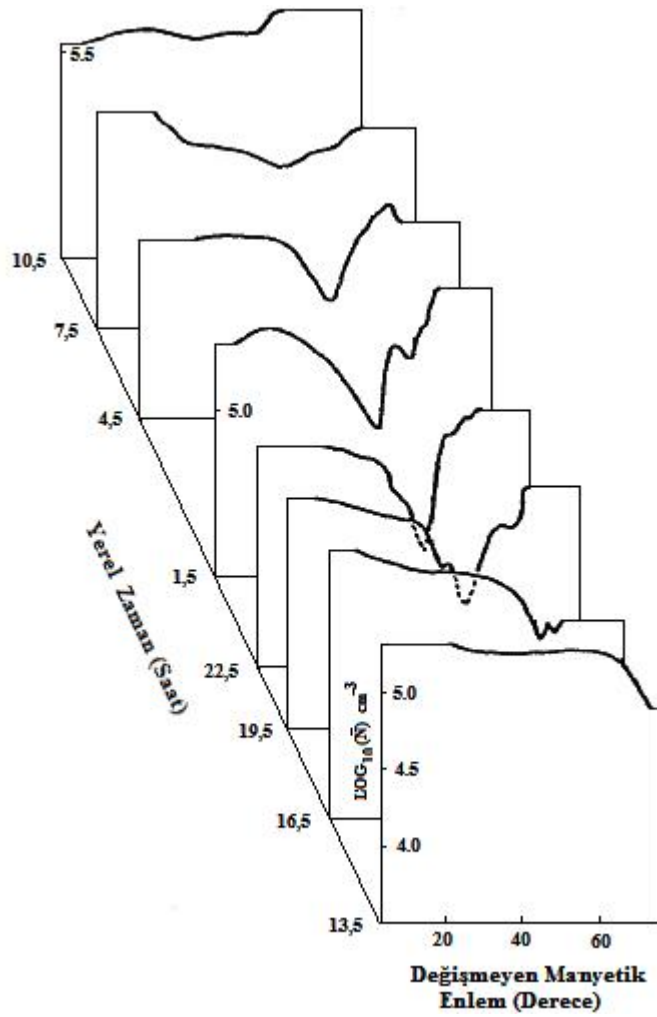


**Şekil 7.10.** 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Şekil 7.10 incelendiğinde genel olarak bütün saatlerde sapmalar görülmesine rağmen, ortalama delta foF2 değerlerindeki büyük sapmaların 10:00, 07:00, 16:00 ve 13:00 saatlerinde meydana geldiği görülmektedir. Bu duruma benzer bir yapı 04:00 ve 19:00 saatleri için de gözlemlenmektedir. Ancak 04:00 ve 19:00 saatleri için delta foF2

değerlerinde meydana gelen sapmaların, 10:00, 07:00, 16:00 ve 13:00 saatlerinde meydana gelen sapmalardan daha küçük olduğu görülmektedir. Günün diğer saatleri için delta foF2 değerlerinin  $\Lambda$ 'nın artması ile 0'a daha yakın seyrettiği görülmektedir.

Şekil 7.11, Ariel 3 uydusunun  $K_p \leq 2^+$  için 21 Aralık döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışını göstermektedir [21]. Şekilden, 04:30, 01:30, 22:30 ve 19:30 saatleri için ortalama elektron yoğunluklarının yaklaşık  $60^\circ$  K  $\Lambda$  değerine kadar azaldığı ve enlem değerinin artması ile elektron yoğunluğu değerinde bir artma meydana geldiği görülmektedir. Bu duruma benzer bir yapı saat 07:30 için de meydana gelmektedir. Fakat bu saatte elektron yoğunluğunda meydana gelen azalma 04:30, 01:30, 22:30 ve 19:30 saatlerindeki azalmadan daha küçüktür. Günün diğer saatlerinde  $\Lambda$ 'nın artması ile ortalama elektron yoğunluklarının sürekli bir azalma ortaya koyduğu görülmektedir.



**Şekil 7.11.** 21 Aralık döneminde kuzey yarımküre için farklı yerel zamanlarda Ariel 3 uydusunun  $K_p \leq 2^+$  için ölçtüğü ortalama elektron yoğunluklarının enlemsel davranışını [21].

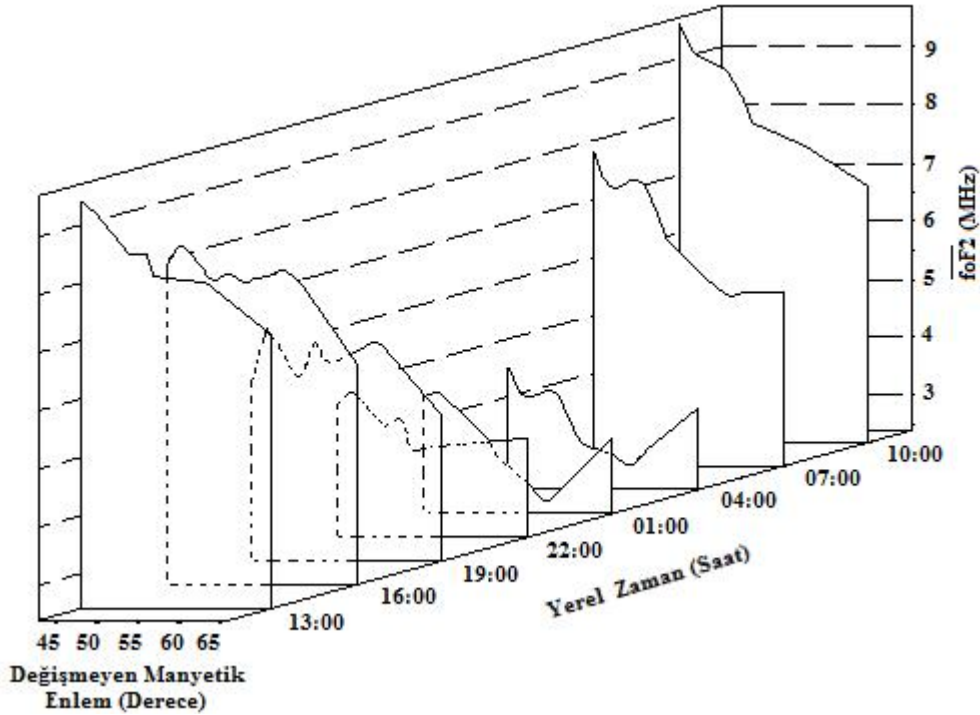
## 7.2. $K_p > 2^+$ İçin Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2'deki İzi

### 7.2.1. 21 Mart Dönemi

Tablo 7.9'da, 1972 yılının 21 Mart civarındaki hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin  $\Delta$  ile değişimleri Şekil 7.12'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.9.** 21 Mart 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	9,6	7,8	4,5	4,4	4,7	5,5	7,9	9,4
Bekascaba	43,5° K	9,1	7,1	4,0	4,5	4,9	6,4	8,3	9,2
Kiev	47,6° K	8,8	7,4	4,1	4,0	4,3	5,5	7,6	8,5
Miedzesyzn	49,7° K	8,3	6,7	3,5	3,7	4,5	6,3	7,8	8,5
Kaliningrad	50,7° K	7,9	6,3	3,2	3,4	3,9	5,7	7,6	8,1
Upsala	57,1° K	7,5	5,4	2,9	2,6	4,0	6,2	7,8	8,0
Lysksele	65° K	6,8	5,4	3,8	3,7	4,1	4,9	6,2	7,1



**Şekil 7.12.** 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Şekilde, foF2 için çukura benzer yapıların en dikkat çeken değerleri yerel zaman saat 01:00 ve saat 04:00'da görülmektedir. Saat 01:00'da 41,8° K Λ'da bulunan Sofia istasyonunda, ortalama foF2 değeri 4,4 MHz ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri Λ'nın artması ile azalarak 57,1° K Λ'da bulunan Upsala istasyonunda 2,6 MHz'lik minimum değerine ulaşmış, bu değer 65° K Λ'da bulunan Lysksele istasyonunda 3,7 MHz ölçülerek yükselişe geçmiştir. Saat 04:00 için ise, ortalama foF2 değerinin ilk değeri 41,8° K Λ'daki Sofia istasyonunda 4,5 MHz olarak ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri Λ'nın artması ile 57,1° K Λ'da bulunan Upsala istasyonunda 2,9 MHz değerine kadar azalırken 65° K Λ'da bulunan Lysksele istasyonunda 3,8 MHz değerine yükselmiştir. Ayrıca, ortalama foF2 değerinde gözlemlenen bu durum, bu saatler dışında kalan gece saatlerinde de tespit edilmiştir. Günün diğer saatleri için istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin Λ'nın artması ile azaldığı görülmektedir.

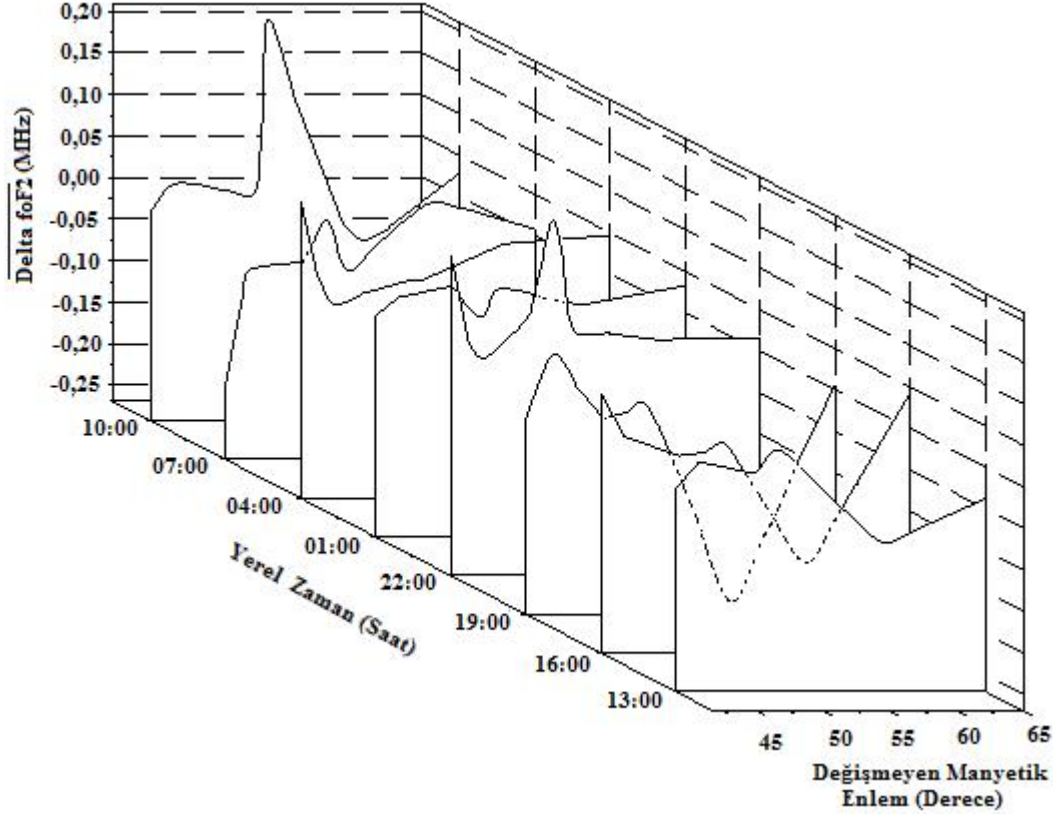
21 Mart döneminde aynı saatler için  $K_p \leq 2^+$  durumundaki tespit edilen foF2 için çukura benzer yapıların derinlikleri,  $K_p > 2^+$  durumundaki tespit edilen derinliklere oranla daha küçüktür. Bu nedenle,  $K_p > 2^+$  olduğu durumdaki çukura benzer yapılar,  $K_p \leq 2^+$  olduğu durumdaki yapılardan daha net olarak tespit edilmektedir.

Tablo 7.10'da, 1972 yılının 21 Mart civarındaki hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.10.** 21 Mart 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	-0,019	-0,180	0,089	-0,003	0,116	-0,034	0,042	-0,025
Bekascaba	43,5° K	0,022	-0,038	-0,034	0,019	-0,019	0,044	-0,009	0,007
Kiev	47,6° K	0,007	-0,032	-0,018	0,033	0,038	-0,034	-0,032	-0,007
Miedzesyzn	49,7° K	-0,019	0,033	-0,008	-0,020	0,181	-0,025	-0,028	0,020
Kaliningrad	50,7° K	0,200	-0,046	-0,008	0,034	0,028	-0,003	-0,004	0,007
Upsala	57,1° K	-0,068	0,045	0,037	0,010	0,015	-0,253	-0,169	-0,094
Lysksele	65° K	0,029	0,008	0,047	0,033	0,016	0,006	0,044	-0,037

Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin Λ ile değişimleri Şekil 7.13'de gösterilmiştir.



**Şekil 7.13.** 21 Mart 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Elde edilen ortalama delta foF2 değerlerini incelediğimizde, saat 04:00 ve özellikle saat 01:00 için ortalama delta foF2 değerlerinde meydana gelen sapmaların daha az olduğu ve günün diğer saatlerinde ise delta foF2 değerlerindeki sapmaların daha fazla olduğu görülmektedir.

21 Mart döneminde, ortalama delta foF2 değerlerinde meydana gelen sapmalar, sakin döneme göre etkin dönemde daha fazla meydana gelmiştir.

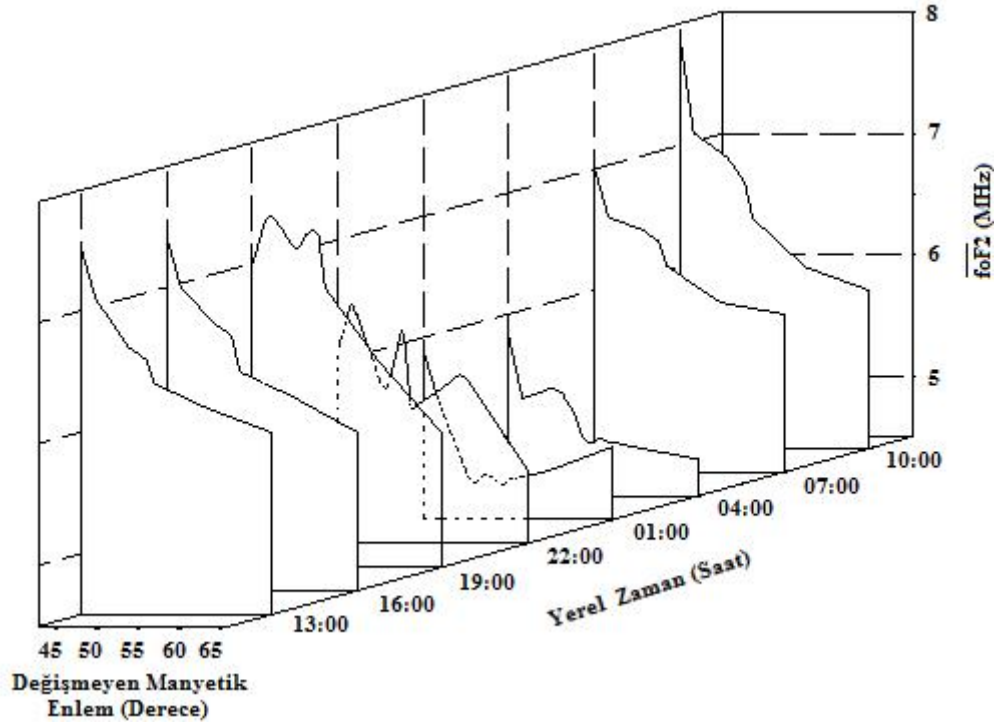
### 7.2.2. 21 Haziran Dönemi

Tablo 7.11’de, 1972 yılının 21 Haziran döneminde hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.14’de gösterilmiştir.

**Tablo 7.11.** 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	7,9	7,0	5,8	5,9	6,1	7,0	7,4	7,5
Bekascaba	43,5° K	7,1	6,6	5,3	5,5	6,5	7,4	7,0	7,1
Kiev	47,6° K	6,9	6,5	5,4	4,8	5,7	7,2	6,7	6,7
Miedzesyzn	49,7° K	6,7	6,4	5,2	4,9	6,3	7,3	6,6	6,6
Kaliningrad	50,7° K	6,4	6,2	5,0	4,8	5,6	6,8	6,3	6,4
Upsala	57,1° K	6,0	5,9	4,9	4,9	5,9	6,2	6,1	6,2
Lysksele	65° K	5,8	5,8	4,8	5,1	5,1	5,6	5,8	6,0

Şekilde, en dikkat çeken değer, saat 01:00'da görülmektedir. Bu saatte 41,8° K  $\Lambda$ 'da bulunan Sofia istasyonunda, ortalama foF2 değeri 5,9 MHz ölçülmüştür. Ortalama foF2 değeri manyetik enlemin artması ile azalarak 57,1° K  $\Lambda$ 'da bulunan Upsala istasyonunda 4,9 MHz'lik değere ulaştığı görülmektedir. Bu değer 65° K  $\Lambda$ 'daki Lysksele istasyonunda 5,1 MHz'e yükselmiştir. Günün diğer saatleri için istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ 'nın artması ile azaldığı görülmektedir.



**Şekil 7.14.** 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

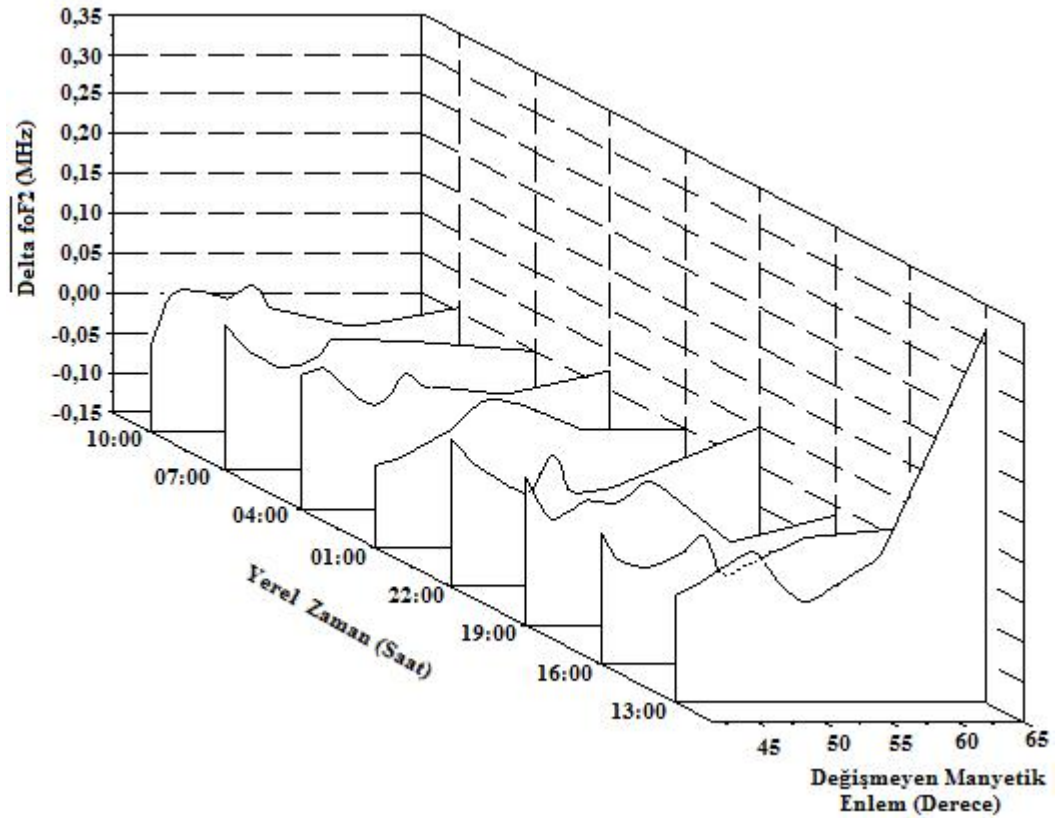


21 Haziran dönemi için sakin ve etkin durumlarda, saat 01:00'de tespit edilen foF2 için çukura benzer yapıların derinlikleri aynıdır. Ayrıca, sakin durum için 01:00 ve 04:00 saatlerinin her ikisinde de foF2 için çukura benzer yapılar gözlemlenirken, etkin durumda yalnızca saat 01:00 için bu yapı tespit edilmiştir.

Tablo 7.12'de, 1972 yılının 21 Mart civarındaki hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için  $\Delta$  ile değişimleri Şekil 7.15'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.12.** 21 Haziran 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	-0,044	0,032	0,018	-0,046	0,036	0,036	0,013	-0,015
Bekascaba	43,5° K	0,038	0,000	0,029	-0,038	0,004	-0,021	-0,035	0,000
Kiev	47,6° K	0,017	-0,037	-0,033	0,000	-0,040	0,016	-0,017	0,045
Miedzesyzn	49,7° K	0,039	0,016	0,029	0,040	0,032	0,012	0,024	-0,005
Kaliningrad	50,7° K	0,006	0,016	0,006	0,044	-0,048	0,040	-0,042	-0,035
Upsala	57,1° K	-0,018	0,011	-0,006	0,000	-0,004	-0,046	0,009	0,033
Lysksele	65° K	0,006	0,000	0,024	0,000	0,050	-0,012	0,021	0,319



**Şekil 7.15.** 21 Haziran 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.



Şekil 7.15’de, saat 13:00 için gözlemlenen sapmanın dışında tüm yerel zamanlarda hesaplanan delta foF2 değerlerinde meydana gelen sapmaların manyetik enlemlerin tümünde 0 civarında seyrettiği görülmektedir. Bu dönem ile  $K_p \leq 2^+$  durumundaki 21 Haziran döneminin tüm yerel zamanları için delta foF2 değerleri benzer yapılar ortaya koymaktadır.

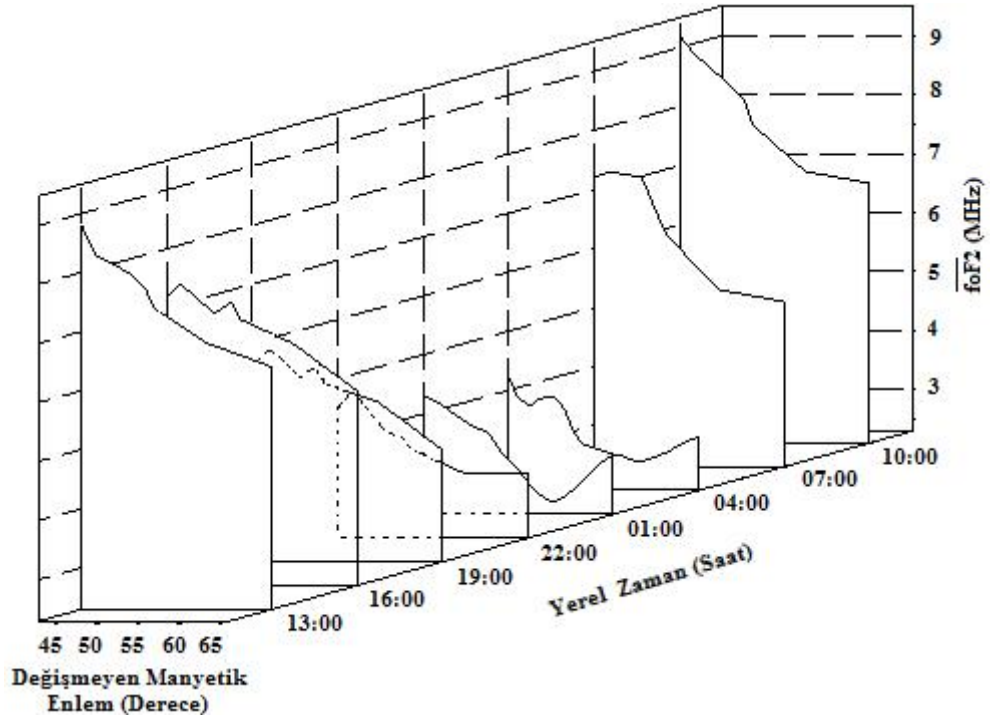
### 7.2.3. 23 Eylül Dönemi

Tablo 7.13’de 23 Eylül dönemi için iyonsonda istasyonlarından alınan foF2 verilerinden hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.13.** 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	9,2	7,2	4,2	4,3	4,5	5,5	7,2	8,8
Bekascaba	43,5° K	8,9	7,3	3,7	4,2	4,8	6,0	7,4	8,3
Kiev	47,6° K	8,4	7,2	4,0	3,8	4,1	5,4	6,9	8,0
Miedzeszyn	49,7° K	8,1	6,5	3,3	3,7	4,0	5,7	7,1	7,7
Kaliningrad	50,7° K	7,7	6,2	3,1	3,4	3,8	5,3	6,8	7,4
Upsala	57,1° K	6,9	5,3	2,8	2,6	3,4	5,0	6,4	6,8
Lysksele	65° K	6,7	5,1	3,2	3,3	3,4	4,2	5,6	6,4

Bu veriler dikkate alınarak ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ ’ya karşı değişimi Şekil 7.16’da gösterilmiştir. Şekilden, yine gece saatlerindeki çukura benzer yapılar dikkat çekmektedir. Saat 01:00 için hesaplanan ortalama foF2’nun 41,8° K  $\Lambda$ ’da bulunan Sofia istasyonu için 4,3 MHz olduğu görülmektedir. Ortalama foF2 değerinin, 57,1° K  $\Lambda$ ’daki Upsala istasyonunda 2,6 MHz değerine düştüğü ve bu değer in manyetik enlemin artması ile 65° K  $\Lambda$ ’da bulunan Lysksele istasyonunda ise 3,3 MHz değerine yükseldiği görülmektedir. Ayrıca saat 04:00 için, ortalama foF2 41,8° K  $\Lambda$ ’da bulunan Sofia istasyonunda 4,2 MHz ölçülürken, 57,1° K  $\Lambda$ ’daki Upsala istasyonunda 2,8 MHz değerine azalmıştır. Manyetik enlemin artması ile 65° K  $\Lambda$ ’da bulunan Lysksele istasyonunda ise 3,2 MHz değerine yükselmiştir. Günün diğer yerel saatlerinde, ortalama foF2 değeri  $\Lambda$ ’nın artması ile sürekli olarak azalmaktadır.



**Şekil 7.16.** 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

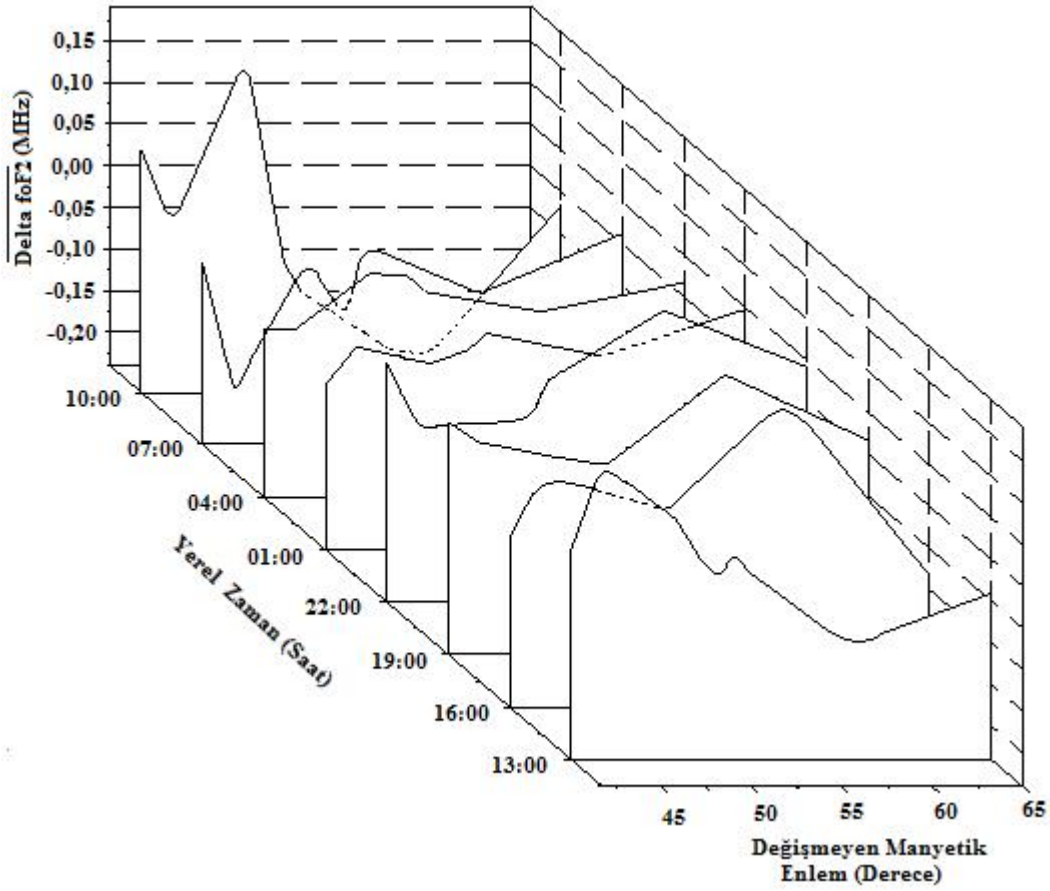
23 Eylül dönemindeki gece saatlerinin çoğunda etkin durum için çukura benzer yapılar gözlemlenirken, aynı saatlerde sakin durum için tespit edilememiştir. Ayrıca, etkin durum için tespit edilen çukura benzer yapının maksimum derinliği, sakin durum için tespit edilen çukura benzer yapının maksimum derinliğinden çok daha büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 7.14’de 23 Eylül dönemi için iyonsonda istasyonlarından alınan foF2 verilerinden hesaplanan ortalama delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.14.** 23 Eylül 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	0,050	-0,023	-0,040	-0,043	0,047	0,038	0,038	0,012
Bekascaba	43,5° K	-0,042	-0,174	-0,039	0,003	-0,029	0,014	0,014	0,115
Kiev	47,6° K	0,162	-0,019	0,028	-0,017	-0,026	-0,003	-0,003	0,048
Miedzeszyn	49,7° K	-0,086	-0,090	0,026	0,000	-0,019	-0,010	-0,010	-0,026
Kaliningrad	50,7° K	-0,121	0,000	0,006	0,019	0,026	-0,010	-0,010	0,000
Upsala	57,1° K	-0,211	-0,059	-0,018	-0,008	0,110	0,096	0,096	-0,104
Lysksele	65° K	-0,016	0,013	0,017	0,048	0,042	0,017	0,017	-0,041

Bu veriler dikkate alınarak ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi Şekil 7.17’de gösterilmiştir.



Şekil 7.17. 23 Eylül 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

Şekilde, 01:00 ve 04:00 saatlerinde özellikle saat 01:00 için ortalama delta foF2 değerlerinin 0’a yakın seyrettiği yani büyük sapmaların meydana gelmediği görülmektedir. Günün diğer yerel saatlerinde ise, delta foF2 değerleri için büyük sapmalar meydana gelmiştir.

#### 7.2.4. 21 Aralık Dönemi

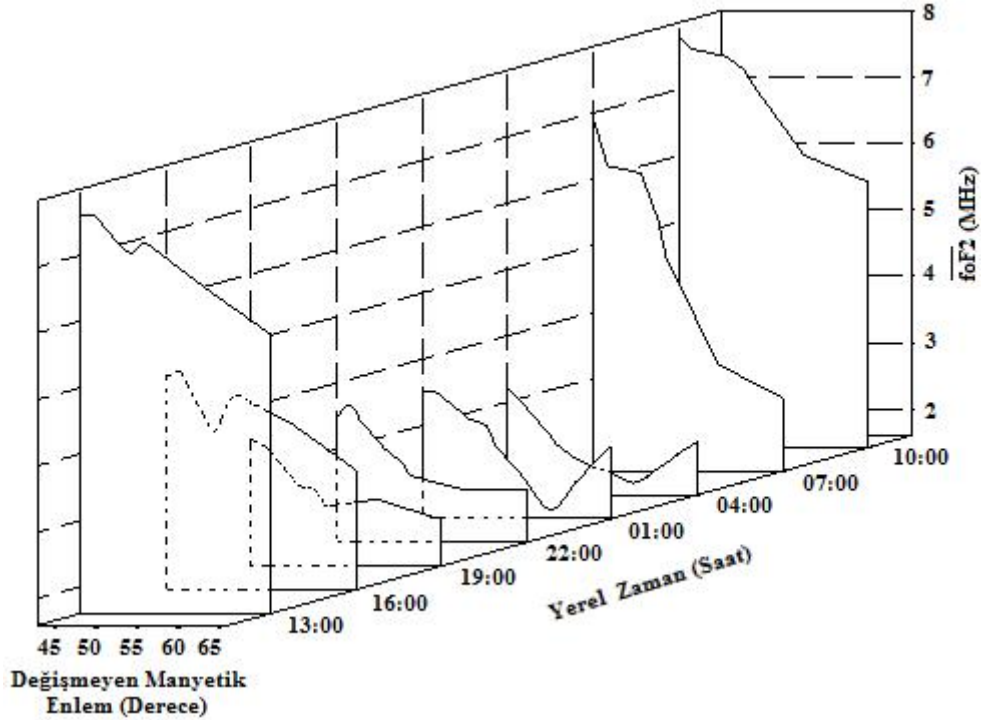
Tablo 7.15’de, 1972 yılının 21 Aralık civarında hesaplanan ortalama foF2 değerleri verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.18’de gösterilmiştir.

Şekilde, yerel zaman saat 01:00 ve saat 04:00’da foF2 için çukura benzer yapıların olduğu görülmektedir. Saat 01:00 için  $41,8^\circ$  K  $\Lambda$ ’da bulunan Sofia istasyonunda ortalama foF2 değeri 3,5 MHz olarak ölçülürken,  $\Lambda$ ’nın artması ile azalarak  $57,1^\circ$  K  $\Lambda$ ’daki Upsala

istasyonunda 1,8 MHz'lik minimum değerine düşmüştür. Daha sonra bu değer, 65° K  $\Lambda$ 'da bulunan Lysksele istasyonunda 2,7 MHz değere yükselmiştir. Saat 04:00 için ise ortalama foF2 değerinin ilk değeri 41,8° K deki Sofia istasyonunda 3,2 MHz iken,  $\Lambda$ 'nın artması ile 57,1° K  $\Lambda$ 'da bulunan Upsala istasyonunda 1,8 MHz değerine kadar azalmış ve 65° K  $\Lambda$ 'daki Lysksele istasyonunda 2,4 MHz değerine yükselmiştir. Saat 01:00 için tespit edilen foF2 için çukura benzer yapının derinliği, saat 04:00 için tespit edilenden daha büyüktür. Tablo 7.15'deki diğer yerel zamanlar için istasyonlardan ölçülen ortalama foF2 değerlerinin  $\Lambda$ 'nın artması ile azaldığı görülmektedir.

**Tablo 7.15.** 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	7,8	6,9	3,2	3,5	3,5	3,5	4,8	7,6
Bekascaba	43,5° K	7,6	6,2	3,0	3,5	3,6	3,4	4,9	7,6
Kiev	47,6° K	7,5	6,1	2,4	3,1	3,0	2,8	3,9	7,0
Miedzeszyn	49,7° K	7,3	5,4	2,3	3,0	2,8	2,8	4,5	7,2
Kaliningrad	50,7° K	7,1	4,8	2,1	2,7	2,6	2,5	4,5	7,1
Upsala	57,1° K	6,0	3,2	1,8	1,8	2,4	2,6	4,1	6,5
Lysksele	65° K	5,6	2,7	2,4	2,7	2,4	2,3	3,4	5,8



**Şekil 7.18.** 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

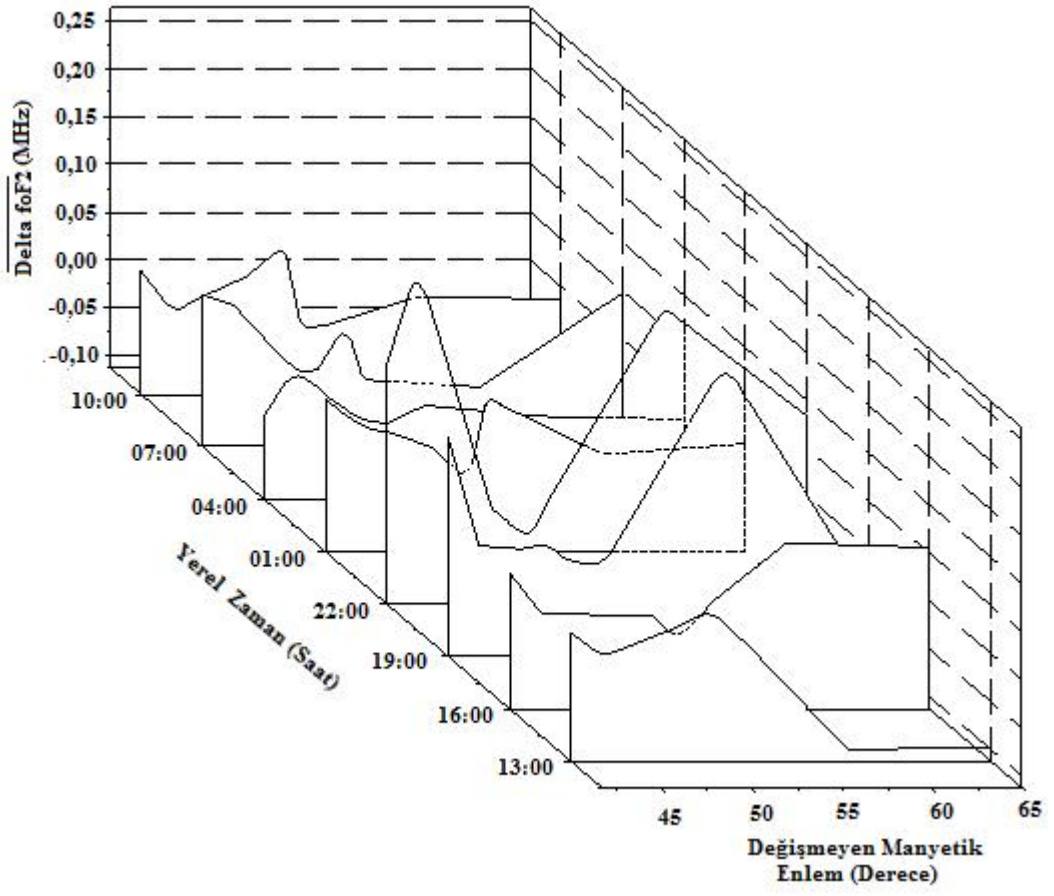
21 Aralık dönemi için  $K_p \leq 2^+$  olduğu sakin durumda, saat 01:00'de foF2 için çukura benzer bir yapı gözlemlenemezken, etkin durumda bu yapı gözlemlenmiştir. Bu dönem için farklı iki durumu karşılaştırıldığında,  $K_p > 2^+$  olduğu etkin durumdaki gece saatlerindeki foF2 için çukura benzer yapılar, sakin durumdakinden daha net olarak tespit edilmektedir.

Tablo 7.16'da, 1972 yılının 21 Aralık civarında hesaplanan delta foF2 değerleri verilmiştir.

**Tablo 7.16.** 21 Aralık 1972 dönemi için ortalama delta foF2 değerleri.

İstasyon Adı	Değişmeyen Manyetik Enlem	Yerel Zaman (Saat)							
		10:00	07:00	04:00	01:00	22:00	19:00	16:00	13:00
Sofia	41,8° K	0,016	0,046	-0,026	0,046	0,138	0,115	0,029	0,022
Bekascaba	43,5° K	-0,025	0,035	0,025	0,024	0,240	0,003	-0,012	-0,003
Kiev	47,6° K	0,010	-0,048	-0,043	-0,003	-0,013	-0,003	-0,015	0,027
Miedzyszyn	49,7° K	0,043	0,015	-0,023	-0,038	-0,045	-0,026	-0,015	0,053
Kaliningrad	50,7° K	-0,048	-0,042	-0,015	0,048	-0,005	-0,006	-0,035	0,026
Upsala	57,1° K	-0,010	-0,050	-0,026	-0,011	0,197	0,194	0,061	-0,100
Lysksele	65° K	-0,013	0,048	-0,029	0,000	0,084	-0,047	0,056	-0,097

Bu değerler dikkate alınarak farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri Şekil 7.19'da gösterilmiştir. Şekilde, 01:00 ve 04:00 saatlerinde ortalama delta foF2 değerlerinin 0'a yakın seyrettiği yani büyük sapmaların meydana gelmediği görülmektedir. Günün diğer saatlerinde ise delta foF2 değerleri için, değişmeyen manyetik enlemlerin tamamında büyük sapmalar meydana gelmiştir.



**Şekil 7.19.** 21 Aralık 1972 döneminde farklı yerel zamanlar için ortalama delta foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi.

## 8. SONUÇ

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 iyonsonda istasyonundan alınan saatlik foF2 verilerinin  $\Lambda$  ile değişimleri istatistiksel yöntemler kullanılarak farklı  $K_p$  değerleri için mevsimsel ve yerel zamana göre incelenmiştir.

Bu analizler sonucunda,  $K_p \leq 2^+$  olduğu sakin ve  $K_p > 2^+$  olduğu etkin durumlar için istasyonlardan alınan foF2 verileri gece saatleri için  $41,8^{\circ}$  K  $\Lambda$ 'da bulunan Sofia istasyonunda maksimum değerlerini alırken,  $57,1^{\circ}$  K  $\Lambda$ 'daki Upsala istasyonunda minimum değerine sahiptir. Ortalama foF2'nun  $\Lambda$ 'ya karşı gösterdiği bu değişim, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun izi olarak tanımlanabilir. Ortalama foF2 değerleri gündüz saatleri için  $\Lambda$ 'nın artması ile sürekli bir azalma göstermiştir. Fakat  $K_p > 2^+$  durumunda foF2'nin çukura benzer bu yapısı gece saatlerinin büyük bölümünde tespit edilirken,  $K_p \leq 2^+$  durumunda yalnızca belirli yerel zamanlar 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 artırıcı bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

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 [14, 41, 44]. Örneğin, Mayıs 1967 ile Nisan 1968 arasında yerel zamanın fonksiyonu olarak orta enlemlerdeki elektron çukurunun sayısının gündüz saatlerine kıyasla gece saatlerinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir [14].

$K_p \leq 2^+$  ve  $K_p > 2^+$  durumları için istasyonlardan alınan foF2 verilerinden hesaplanan ortalama foF2 ve ortalama delta foF2 değerlerinin mevsimlere göre yapılan analizlerinden,  $K_p \leq 2^+$  durumu için elektron yoğunluğu çukurunun izi, tüm mevsimlerin gece saatlerinde tespit edilmesine rağmen, bu izin bu dönemlerdeki gece saatlerinde en fazla gözlemlendiği mevsim Mart, en az gözlemlendiği mevsim ise Aralık dönemidir. Mart dönemi, tespit edilen izlerin en fazla olduğu dönemdir. Ayrıca tüm mevsimler için ortalama delta foF2 değerleri gece saatlerinin büyük bölümünde 0'a yakın seyrederken

gündüz saatlerinde büyük sapmalar ortaya koymaktadır. Bu durum, tüm mevsimlerde 84 günlük dönemin her bir günü için gece saatlerinde foF2'nun benzer bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Ayrıca delta foF2 değerlerinin gece saatlerinde 0 civarında değişmesi, elektron yoğunluğu çukuru için özellikle bu saatlerde tespit edilmesi ile ilişkilendirilebilir.

$K_p > 2^+$  durumunda foF2 için çukura benzeyen bu yapılar tüm mevsimlerin gece saatlerinde tespit edilmiştir. Gece saatlerinde bu izini en fazla gözlemlendiği mevsimler Mart ve Aralık dönemleri, en az gözlemlendiği mevsim ise Haziran dönemidir. Tespit edilen çukurların derinliklerinin en büyük olduğu mevsimler Aralık ve Mart dönemleridir. Bu sonuçlar,  $K_p \leq 2^+$  durumu için Ariel 3 uydusundan alınan elektron yoğunlukları verilerinin, farklı mevsimlere göre incelenmesinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında Haziran dönemi dışında Eylül ve Aralık dönemleri ile benzerlikler göstermemektedir.  $K_p > 2^+$  durumunda ise ortalama foF2 verilerinin farklı mevsimlere göre analizlerinden elde edilen sonuçlar ile önemli benzerlikler ortaya koymaktadır [14].  $K_p$  değeri arttıkça veya daha büyük  $K_p$  değerinde elektron yoğunluğu çukurunun oluşum oranı daha fazla olmaktadır. Yani çukurların oluşumu manyetik aktiviteye benzer bir şekilde değişim göstermektedir. Bu çukurların foF2 üzerindeki izi incelendiğinde, daha büyük  $K_p$  değerinde foF2 için çukura benzer yapıların arttığı görülmektedir.

$K_p > 2^+$  olduğu bu dönem için tüm mevsimlerde ortalama delta foF2 değerleri gece saatlerinin büyük bölümünde 0'a yakın seyrederken, gündüz saatlerinde  $K_p \leq 2^+$  durumun gündüz saatlerine göre daha büyük sapmalar ortaya koymaktadır.  $K_p > 2^+$  olduğu dönem için gündüz saatlerinde ortalama delta foF2 değerlerindeki büyük sapmalar, jeomanyetik aktivitenin foF2 değerleri üzerindeki artırıcı ve azaltıcı etkisinin bir sonucu olabilir.

Ariel 4 uydusunun ortalama 550 km de ölçtüğü elektron yoğunluklarının, farklı  $K_p$  ve farklı yerel zamanlarda değişmeyen manyetik enleme göre incelenmesinden elde edilen sonuçlar ile Yer'in manyetosferinin  $K_p$ 'ye ve yerel zamana karşı gösterdiği değişimler arasında önemli benzerlikler bulunmaktadır. Manyetik orta enlem olarak tanımladığımız bölge manyetik alan çizgilerinin zayıfladığı bölge olduğu için, incelenen elektron yoğunlukları değeri bu bölgede azalma göstermektedir. Uydunun ölçtüğü elektron yoğunluğunun manyetik orta enlem bölgesini geçtikten sonra tekrar artma sebebi ise manyetik alan çizgi yoğunluklarının kutba yakın bölgelerde artmasından



kaynaklanmaktadır. Manyetosferin bu yapısı, uydu verilerinden ortalama 550 km de açık bir şekilde incelenmiştir.

Aynı zamanda, orta enlem elektron yoğunluğunun yapısının jeomanyetik aktivite ile ortaya koyduğu değişim, jeomanyetik aktivite ile manyetosferin yapısında meydana gelen değişimler ile açıklanabilmektedir.  $K_p$  'nin değişimi, manyetosferin plazmasfer bölgesinin ve manyetik alan çizgilerinin yapısını doğrudan değiştirmektedir.  $K_p$  arttıkça plazmasfer tabakası daralır ayrıca manyetik alan çizgileri birbirine yaklaşır. Bunun sonucunda, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun gözlemlendiği değişmeyen manyetik enlem bölgesinin sınırları ve elektron yoğunluk değerleri önemli derecede değişir [41].

Manyetik orta enlem bölgesinde ölçülen iyonsonda verileri, uydu verileri ile benzer sonuçlar ortaya koymaktadır.  $K_p$  'nin ve yerel zamanın, uydu ile ölçülen elektron yoğunluğu üzerinde meydana getirdiği etkiye benzer etkiler, foF2 verileri üzerinde net olarak gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, yaklaşık 550 km de incelenen manyetosferin yapısını iyonosferin F2 bölgesinde de gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Bütün bu sonuçlar, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun foF2 üzerindeki izini göstermiş olur.

## KAYNAKLAR

- [1] S. Karatay, “*Deprem ile İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması*” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2010.
- [2] <http://www.bilgihanesi.com/atmosfer-nedir-atmosferin-katmanlari-ve-ozellikleri-nelerdir-p235/>
- [3] R. C. Whitten ve J. G. Poppoff, *Fundamentals of Aeronomy*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1971, s.15-19, 70.
- [4] S. Sağır, “*IRI-2001 Modeli İle Elde Edilen F2 Bölgesinin Maksimum Elektron Yoğunluğunun İncelenmesi*” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
- [5] H. Rishbeth ve O. K. Garriott, *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York 1969, s.2, 250-251.
- [6] F. T. Djuth. C. A. Gonzale and M. H. Ierkic, *Temporal evaluation of the HF-enhanced plasma line in the Arecibo F region*, **J. Geophys. Res.**, 91:A11 (1986) 12089-12107.
- [7] R. Thompson, *Introduction to HF radio propagation*, IPS Radio & Space Services, Sydney-Australia, (1997).
- [8] <http://www.ualberta.ca/~dumberry/geoph325/325D4-2008.ppt>
- [9] W. Calvert, ve T. E. Van Zandt, *Fixed-frequency observation of plasma resonances in the topside ionosphere*, **J. Geophys. Res.**, 71 (1966) 1799-1813.
- [10] H. C. Carlson, *Ionospheric heating by magnetic conjugate point photoelectrons*, **J. Geophys. Res.**, 71 (1966) 195-199.
- [11] D. B. Muldrew, *F-layer ionisation troughs deduced from Alouette data*, **J. Geophys. Res.**, 70 (1965) 2635-2650.
- [12] G. W. Sharp, *Mid-latitude trough in the night ionosphere*, **J. Geophys. Res.**, 71 (1966) 1345-1356.
- [13] M. C. Kelley, *The Earth’s Ionosphere (Plasma Physics and Electrodynamics)*, Academic Press, New York, London 1989, s.350-354.
- [14] Y. K. Tulunay ve J. Sayers, *Characteristics of mid-latitude trough as determined by the electron density experiments on Ariel-3*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 33 (1971) 1737-1761.
- [15] R. W. Schunk ve A. F. Nagy, *Ionospheres*, Cambridge University Press, New York, 2000, s394.
- [16] Y. K. Tulunay, “*The Topside Ionosphere as Observed by the Satellite Ariel 3*”, Doktora Tezi, Birmingham Üniversitesi, Uzay Araştırmaları Bölümü, İngiltere, 1972.
- [17] J. M. Grebowsky, N. C. Maynard, Y. K. Tulunay ve L. J. Lanzerotti, *Coincident observations of ionospheric troughs and the equatorial plasma-pause*, **Planet. Space Sci.**, 24 (1976) 1177-1185.

- [18] Y. K. Tulunay, *Some topside electron density measurements made by the Ariel-3 satellite during the geomagnetic storm of May 25-27 1967*, **Planet. Space Sci.**, 20 (1972) 1299-1307.
- [19] Y. K. Tulunay *Magnetically symmetrical detection of the mid-latitude electron density trough by the Ariel-3 satellite*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 34 (1972) 1547-1551.
- [20] J. M. Grebowsky, N. C. Maynard, Y. K. Tulunay, *Coincident plasma pause-troughs observations*, **EOS Trans. American Geophys. Un.**, 57:4 (1976) 299-299.
- [21] Y. K. Tulunay, *Global electron density distributions from the Ariel 3 satellite at mid-latitudes during quiet magnetic periods*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 35 (1973) 233-254.
- [22] J. M. Grebowsky, Y. K. Tulunay ve A. J. Chen, *Temporal variations in the dawn and dusk mid-latitude trough position and plasmapause*, **Planet. Space Sci.**, 22 (1974) 1089-1099.
- [23] Y. K. Tulunay, *Mid-latitude ionosphere as observed by satellites Ariel-3 and Ariel-4*, **B. Am. Meteorolog. Soc.**, 55:6 (1974) 650-650.
- [24] Y. K. Tulunay, J.M. Grebowsky, *Temporal variations in dawn and dusk mid-latitude trough positions*, **EOS Trans. American Geophys. Un.**, 56:3 (1975) 172-172.
- [25] Y. K. Tulunay ve J. M. Grebowsky, *Temporal variations in the dawn and dusk mid-latitude trough position-measured (Ariel-3, Ariel-4) and modelling*, **Ann. Geophys.**, 31 (1975) 29-38.
- [26] Y. K. Tulunay ve J. M. Grebowsky, *The noon and midnight mid-latitude trough as seen by Ariel 4*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 40 (1978) 845-855.
- [27] H. Rothkaehl, I. Stanislawska, R. Leitinger, Y. K. Tulunay, *Application of a trough model for telecommunication purposes*, **Physics and Chemistry of the Earth**, 25:4 (2000) 315-318.
- [28] Y. K. Tulunay, I. Stanislawska, H. Rothkaehl, *Revisiting the Ariel trough work for HF telecommunication purposes*, **Cosmic Research Journal**, 41:4 (2003) 1-13.
- [29] G. W. Prölss, *Physics of the Earth's Space Environment*, Springer-Verlag Press, Berlin-Heidelberg-New York, 2004, s.209-272, 408.
- [30] T. F. Tascione, "Introduction to The Space Environment", ORBIT Book Company, Malabar, Florida, 1988, s.52-68.
- [31] C. V. Goodall, H. Hopkins, Y. K. Tulunay ve R. D'Arcy, *Topside ionosphere electron density measurements on Ariel 4*, **Proc. R. Soc. Lond. A.**, 343 (1975) 189-206.
- [32] E. Turan, "Elektron Yoğunluğu ile Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişki" Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006.
- [33] [http://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/kp\\_ap.html](http://www.ngdc.noaa.gov/stp/geomag/kp_ap.html)
- [34] <http://www.sec.noaa.gov/info/Kindex.html>

- [35] [http://www-app3.gfz-potsdam.de/kp\\_index/apdescription.html](http://www-app3.gfz-potsdam.de/kp_index/apdescription.html)
- [36] Y. F. Sümer, “*Yapay Sinir Ağı Modeli İle İyonosferik Kritik Frekans Tahmini*” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [37] M. G. Kivelson ve C. T. Russell, *Introduction to Space Physics*, Cambridge University Press, U.S.A., 1995, s.455-457.
- [38] <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>
- [39] K. Davies, *Ionospheric radio propagation*, U. S. Government Printing Office Washington, 1965, s.159-160.
- [40] İ. Ünal, E. T. Şenalp, A. Yeşil, E. Tulunay ve Y. Tulunay, *Performance or IRI-based ionospheric critical frequency calculation with reference to forecasting*, **Radio Science**, 46 (2011) RS1004.
- [41] Y. K. Tulunay, “*Ariel 4 Uyduyuyla Elde Edilen Elektron Yoğunluğu Çukurunun 07 00 ve 21 00 Yerel Saatlerinde İncelenmesi*” Doçentlik Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen ve Edebiyat Fakültesi, Ankara, 1977.
- [42] [http://www.ukssc.ac.uk/wdcd/ionomaps\\_menu.html](http://www.ukssc.ac.uk/wdcd/ionomaps_menu.html)
- [43] <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr>
- [44] Y. Tulunay, H. Rothkaehl, G. Juchnikowski, Y. Laletas ve I. Stanislawska “*A comparison between the Ariel 4 ambient electron density and ionospheric critical frequency over COST 251 area*, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> COST 251 Workshop, Side-Antalya TÜRKİYE, 30-31 Mart (1998).

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Sema KESMEN

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Malatya 12.04.1982

**Adres:** İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 44280 MALATYA

**E-Posta:** [semakesmen@gmail.com](mailto:semakesmen@gmail.com)

**Lisans:** İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü

**Mesleki Deneyim:** 2008-2009 yılları arasında özel bir eğitim kurumunda Fizikçi olarak çalışmıştır.

### **Tezden Türetilen Yayınlar/Sunumlar:**

İbrahim Ünal, Yurdanur Tulunay, Erdiñç Timoçin & **Sema Kesmen** “Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2 Yapısındaki Olası Özel İzi”, VI. URSI (Union Radio Science International)-Türkiye Bilimsel Kongresi, 02-05 Eylül 2012, Doğuş Üniversitesi, İSTANBUL.