

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

**20. VE 21. GÜNEŞ DÖNGÜSÜNÜN AZALAN DÖNEMİ SÜRESİNCE
İYONOSFERİK ORTA ENLEM f_oF_2 DEĞİŞİMİNİN ZAMANA BAĞLILIĞININ
İNCELENMESİ VE ARIEL 4 UYDUSUNDAN ALINAN ELEKTRON
YOĞUNLUĞU SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI**

ERDİNÇ TİMOÇİN

**DOKTORA TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

OCAK 2016

Tezin Başlığı :20. ve 21. Güneş Döngüsünün Azalan Dönemi Süresince İyonosferik Orta Enlem foF2 Değişiminin Zamana Bağlılığının İncelenmesi ve Ariel 4 Uydusundan Alınan Elektron Yoğunluğu Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

Tezi Hazırlayan:Erdiñ TİMOÇİN

Sınav Tarihi :15/01/2016

Yukarıda adı geçen tez, jürimizce değerlendirilerek Fizik Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim ÜNAL
İnönü Üniversitesi

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

Prof. Dr. Osman ÖZCAN
Muş Alparslan Üniversitesi

Prof. Dr. Ali ŞAHİN
İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Ali YEŞİL
Fırat Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Fatih BULUT
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Alaattin ESEN
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “20. ve 21. Güneş Döngüsünün Azalan Dönemi Süresince İyonosferik Orta Enlem foF2 Değişiminin Zamana Bağlılığının İncelenmesi ve Ariel 4 Uydusundan Alınan Elektron Yoğunluğu Sonuçlarıyla Karşılaştırılması” başlıklı 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.

Erdinç TİMOÇİN

ÖZET

Doktora Tezi

20. VE 21. GÜNEŞ DÖNGÜSÜNÜN AZALAN DÖNEMİ SÜRESİNCE İYONOSFERİK ORTA ENLEM foF2 DEĞİŞİMİNİN ZAMANA BAĞLILIĞININ İNCELENMESİ VE ARIEL 4 UYDUSUNDAN ALINAN ELEKTRON YOĞUNLUĞU SONUÇLARIYLA KARŞILAŞTIRILMASI

Erdiñç TİMOÇİN

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

129 sayfa+ xix

2016

Danışmanlar:
Doç. Dr. İbrahim ÜNAL
Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY

Bu çalışmada, 20. ve 21. güneş döngülerinde güneş lekesi sayısının azaldığı 1972-1976 ve 1982-1986 dönemlerini kapsayan yıllar boyunca kuzey yarımkürenin 30°-70° değişmeyen manyetik enlemler (Λ) arasında bulunan 7 iyonsonda istasyonundan alınmış saatlik kritik frekans (foF2) verilerinin enlemlere ve mevsimlere bağlı değişimleri, farklı jeomanyetik aktivite durumları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırılarak, orta enlem elektron yoğunlu çukuru olarak adlandırılan yapının foF2 üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, 20. ve 21. güneş döngülerinin tüm mevsimleri için değişmeyen manyetik enlemin artışı ile foF2 ve δ foF2'nun üst ve alt ondabirlik değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Ayrıca, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerleri aynıdır ve alt ondabirlik değerleri, mod değerinden daha fazla uzaklaştığından dolayı δ foF2 sola çarpık bir dağılım sergilemektedirler. δ foF2'nun saatlik değişimleri, genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapmalar meydana getirmektedir. Üst üste binmiş dönem analizinden elde edilen sonuçlar ve δ foF2 değerlerinin dağılımları, manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen değişimlerin, foF2'nun günlük değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri, çukura benzer yapıların tüm mevsimler ve her iki jeomanyetik aktivite durumu için de yalnızca gece yerel zaman gruplarında meydana geldiğini göstermektedir. Ancak, jeomanyetik aktif durum ($K_p > 2^+$) için tespit edilen çukura benzer yapılar, jeomanyetik sakin durumdaki ($K_p \leq 2^+$) ukura benzer yapılardan daha baskın ve daha net bir yapıya sahiptir. Ayrıca tüm mevsimler için jeomanyetik aktif durum altında tespit edilen çukura benzer yapılar ve minimum noktaları daha düşük değişmeyen manyetik enlemlere doğru kayma eğilimindedirler. Mevsimler, çukurların yapısı ve oluşumu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. İki güneş döngüsünün de her iki jeomanyetik aktivite durumu için çukurların en fazla gözlemlendiği mevsim Aralık dönemi, en az gözlemlendiği mevsim ise Haziran dönemidir. 20. güneş döngüsünün Aralık dönemi boyunca çukurların gözlemlendiği gece yerel zaman grupları için ortalama foF2 verileri ile ortalama elektron yoğunluğu verileri arasında yapılan istatistiksel analizlerden, farklı yüksekliklerde ölçülen iki verinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri arasında önemli bir ilişki tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar, manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen değişimlerin ve orta enlemlerin yaklaşık 550 km yüksekliklerinde manyetosferik plazma sınırı olarak adlandırılan yapının, iyonosferin daha düşük yüksekliklerdeki elektron yoğunluğunun değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu ile daha düşük yüksekliklerde ölçülen foF2 verilerinin, farklı yerel zaman, farklı mevsim ve farklı jeomanyetik aktivite durumu için değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerinin önemli benzerliklere sahip olduğunu göstermektedir.

ANAHTAR KELİMELER: İyonosfer, manyetosfer, jeomanyetik aktivite, orta enlem elektron yoğunluğu çukuru, kritik frekans.

ABSTRACT

PhD Thesis

THE INVESTIGATION OF THE TIME DEPENDENCE ON THE IONOSPHERIC MID-LATITUDE foF2 VARIABILITY AND COMPARISON WITH THE RELEVANT RESULTS OF THE ARIEL 4 SATELLITE AMBIENT ELECTRON DENSITY DURING THE DECLINING PHASES OF THE SOLAR CYCLE 20 AND SOLAR CYCLE 21

Erdiñ TİMOÇİN

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

129 pages+ xix

2016

Supervisors:

Assoc. Prof. Dr. İbrahim ÜNAL
Prof. Dr. Yurdanur TULUNAY

In this study, hourly critical frequency (foF2) data that are taken from seven ionosondes stations are situated at between 30°-70° invariant magnetic latitude of the north hemisphere are investigated changes depending on the seasons and latitudes for different geomagnetic activity conditions during years which contain 1972-1976 and 1982-1986 periods that decreased the sunspot number at 20th and 21th solar cycle. The obtained results are compared with electron density data measured by Ariel 4 satellite at about 550 km altitude and determined the effect of the structure that is called as mid-latitude electron density trough on foF2

According to the results from the analysis, a decrease occur at the lower and upper decile values of foF2 and δ foF2 with increasing invariant magnetic latitude for all seasons of 20th and 21th solar cycle. In addition, the mode values of δ foF2 are same for all stations and δ foF2 values exhibit a distribution that skewed to the left because of the lower decile values of δ foF2 diverge from the mode values. The hourly changes of δ foF2 exhibit positive deviations during daytime and negative deviations during night hours. The distribution of δ foF2 values and the results that are obtained from superposed epoch analysis show that changes in the level of magnetic activity have important effect on the daily changes of foF2 values.

Variations according to invariant magnetic latitudes of the average foF2 values show that structures similar to trough occur only during night local time groups for both geomagnetic activity conditions and all seasons. However, the troughs that are determined under geomagnetic active condition ($K_p > 2^+$) are more prominent and apparent than that under geomagnetic quiet condition ($K_p \leq 2^+$). In addition, the troughs and their minimum positions tend to occur at lower invariant magnetic latitudes in all four seasons under geomagnetic active condition. The seasonal changes have important effects on the structure of trough and its formation. It is determined that June period is the season that is least observed of the middle latitude electron density trough, whereas December period is the season that is the most observed of the middle latitude electron density trough for both geomagnetic activity conditions of 20th and 21th solar cycle. The statistical analyses that are performed between averaged foF2 data and averaged electron density data for night hours that are observed troughs during December period of 20th solar cycle show that there is an important correlation between two condition that are measured at different altitudes.

The results of this study show that changes in the magnetic activity level and structure that is called magnetospheric plasma boundary at about 550 km altitude of mid-latitude have important effect on electron density changes in lower altitudes of the ionosphere. Also, it is determined that variations according to invariant magnetic latitude for different local times, different seasons and different geomagnetic activity conditions of the electron density data measured at about 550 km and foF2 data at lower latitudes have quite similar structure to each other.

KEYWORDS: Ionosphere, magnetosphere, geomagnetic activity, mid-latitude electron density trough, critical frequency.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın ortaya ıkması sűrecinde deneyimlerini ve bilgilerini benden esirgemeyen ver her konuda bana destek olan danıőmanım Doç. Dr. Sayın İbrahim ŪNAL'a teőekkűr ederim.

Ayrıca, bu çalıőmanın konusunu öneren, Ariel 4 uydusunun űzgűn verilerini saėlayan, çalıőmanın her aőamasında deėerli bilgi, fikir ve deneyimlerini, yol gűstericiliėini, sonsuz űzveri ve hoőgűrűlerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve bana her alanda yeni bir bakıőı açısı kazandıran Prof. Dr. Sayın Yurdanur TULUNAY'a; zaman zaman tartıőmalara katılan Prof. Dr. Sayın Ersin TULUNAY'a sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Sabırları ve destekleriyle bana gű veren ve her zaman yanımda olan sevgili eőim Eda ŐZBEK TİMOÇİN ve oėlum Umut TİMOÇİN'e çok teőekkűr ederim.

Ayrıca hayatımın her aőamasında bana destek olan ve bugűnlere gelmemde bűyűk emekleri olan aileme sonsuz teőekkűrlerimi sunarım.

Erdinç TİMOÇİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ VE GEZEGENLERARASI UZAY	4
2.1. Güneş	4
2.2. Güneş'in Enerji Kaynağı	5
2.3. Aktif Güneş	6
2.3.1. Güneş Patlamaları	7
2.3.2. Güneş Lekeleri	8
2.4. Güneş Döngüsü	9
2.5. Gezegenlerarası Uzay	9
2.5.1. Güneş Rüzgârları	10
2.5.2. Gezegenlerarası Manyetik Alan	11
3. YER'İN MANYETİK ALANI VE MANYETOSFER	13
3.1. Yer'e Yakın Manyetik Alan	13
3.2. Yer'den Uzak Manyetik Alan	16
3.3. Manyetosferde Hapsolmuş Yüklü Parçacıklar ve Hareketleri	17
3.3.1. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alanda Helis Hareketi	18
3.3.2. Yüklü Parçacıkların, Yer'in İki Manyetik Kutbu Arasında Yaptığı Salınım Hareketleri	20
3.3.3. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki Sürüklenme Hareketi	22
3.4. Plazmasfer	23
3.5. Jeomanyetik İndisler	26
3.5.1. K İndisi	26
3.5.2. a ve A İndisleri	26

3.5.3.	K_p İndisi (Gezegensel K İndisi)	27
3.5.4.	a_p ve A_p İndisleri	27
3.5.5.	C_p ve $C9$ İndisleri	28
3.5.6.	AE, AL, AU ve AO İndisleri	28
3.5.7.	D_{st} (Disturbance Storm Time) İndisi	29
3.5.8.	PC İndisi	29
4.	ATMOSFER VE İYONOSFER	31
4.1.	Sıcaklık Profilleri	31
4.2.	Kimyasal Yapı	32
4.3.	İyonosfer	35
4.3.1.	İyonosferik Bölgeler	35
4.3.1.1.	D bölgesi	36
4.3.1.2.	E bölgesi	37
4.3.1.3.	F bölgesi	37
4.3.2.	Dalgaların Yansıma Mekanizması ve Kritik Frekans (f_oF_2)	38
4.3.3.	Orta Enlem İyonosferindeki Elektromanyetik Sürüklenme	42
5.	ORTA ENLEM ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURU	45
5.1.	Manyetik Aktivite ve Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki	47
5.2.	Manyetik Aktivite İle Çukur Konumu Arasındaki İlişki	48
5.3.	Mevsimler İle Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki	50
6.	İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ	52
6.1.	Zaman Serileri	52
6.2.	Serpilme Diyagramı	53
6.3.	Korelasyon Katsayısı	54
6.4.	Alt ve Üst Ondabirlik Değerler	54
6.5.	Üst Üste Binmiş Dönem Analizi	55
7.	MATERYAL VE YÖNTEM	56
8.	BULGULAR VE TARTIŞMA	61
8.1.	20. Güneş Döngüsü (1972-1976) İçin Analizler	61
8.1.1.	21 Mart Dönemi	61
8.1.2.	21 Haziran Dönemi	67
8.1.3.	23 Eylül Dönemi	74
8.1.4.	21 Aralık Dönemi	81

8.2.	21. Güneş Döngüsü (1982-1986) İçin Analizler	91
8.2.1.	21 Mart Dönemi	91
8.2.2.	21 Haziran Dönemi	97
8.2.3.	23 Eylül Dönemi	103
8.2.4.	21 Aralık Dönemi	109
9.	SONUÇ	115
10.	KAYNAKLAR	120
	ÖZGEÇMİŞ	128

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

δ	Yer'in dönüş eksenine göre dipol eksen eğikliği
λ_C^{KK}	Yer'in kuzey manyetik kutbunun coğrafik boylam değeri
Ω_E	Yer'in dönme açısal hızı
ϵ_0	Boşluğun dielektrik sabiti
ϕ_0	Dalğanın iyonosfere giriş açısı
φ	Manyetik enlem
φ_g	Coğrafik enlem
Λ	Değişmeyen manyetik enlem değeri
α	Yükselme açısı
χ	Güneş'in zenit 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
\mathbf{B}	Manyetik alan vektörü
\mathbf{B}_r	Merkezi alan çizgisine dik manyetik alan bileşeni
\mathbf{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
D	Manyetik alanın yatay bileşeninin coğrafik kuzey ile yaptığı açı
D_k	k. ondabirlik değer
D_{st}	Ekvatorial jeomanyetik indis
\mathbf{E}	Elektrik alan vektörü
$\mathbf{F}_{ }^{grad}$	Manyetik gradyen kuvvet
\mathbf{F}_B	Manyetik kuvvet
\mathbf{F}_r	Merkez alan çizgisine dik kuvvet
\mathbf{F}_z	Merkez alan çizgisine paralel kuvvet
f_oF2	F2 tabakasının iyonosferik kritik frekansı

g	Yerçekimi ivmesi
H	Ölçek yüksekliği
H	Yer'in manyetik alanının yatay bileşeni
I	Manyetik alanın yatayla yaptığı açı
K	Boltzmann sabiti
K	Manyetik etkinlik indisi
K_p	Gezegensel (global) K indisi
L	Kabuk parametresi
m_e	Elektronun kütlesi
M_E	Yer'in manyetik dipol momenti
n	Kırma indisi
N_e	Elektron yoğunluğu
N_i	İyon yoğunluğu
r	Korelasyon katsayısı
r_B	Larmor yarıçapı
r₀	Alan çizgisi uzaklığı
R	Güneş lekesi sayısı
R_E	Yer yarıçapı
t	Zaman
T_B	Parçacığın yörüngesel periyodu
U_n	Nötr rüzgârların sürüklenme hızı
U_p	Plazma sürüklenme hızı
U_{sw}	Güneş rüzgârlarının hızı
V	Hız
V_e	Elektronların sürüklenme hızı
V_⊥	Hızın dik bileşeni
V	Hızın paralel bileşeni
V_φ	Manyetik enleme bağlı hızın dik bileşeni
q	Parçacıkların yükü
ω	Dalga'nın açısız frekansı
ω_B	Dönme frekansı

ω_p	Plazmanın titreşim frekansı
ω_{pe}	Plazmadaki elektronun titreşim frekansı
ω_{pi}	Plazmadaki iyonun titreşim frekansı
AB	Astronomik birim
AE	Auroral elektrojet indisi
AU	H bileşeninin maksimum pozitif kararsızlık değeri
AL	H bileşeninin maksimum negatif kararsızlık değeri
AO	AU ve AL indislerinin ortalaması
GLAT	Coğrafik enlem
GLON	Coğrafik boylam
HF	Yüksek frekans
LLP	En düşük enlem konumu
LT	Yerel zaman
nT	Nanotesla
MP	En düşük elektron yoğunluğu değerinin elde edildiği konum
UT	Evrensel zaman
UV	Ultraviyole
VLf	Çok düşük frekans
YZG	Yerel zaman grupları

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Güneş'in yapısı	4
Şekil 2.2. Güneş'te meydana gelen füzyon tepkimesinin şematik gösterimi	5
Şekil 2.3. Güneş'in diferansiyel dönmesi	6
Şekil 2.4. Güneş'te meydana gelen patlama olayı	7
Şekil 2.5. (a) Güneş lekeleri (b) Yer ile bir güneş lekesinin karşılaştırılması	8
Şekil 2.6. 1900-2012 yılları arasındaki güneş lekeleri sayıları	9
Şekil 2.7. Güneş patlamaları ve oluşan güneş rüzgârları	10
Şekil 2.8. Rüzgârların Güneş çevresindeki hızları	11
Şekil 2.9. Güneş rüzgârları ve gezegenlerarası manyetik alanın spiral yapısı	12
Şekil 3.1. Yer'e yakın manyetik alan çizgileri ve yönelimi	13
Şekil 3.2. Yer'in coğrafik ve manyetik ekvatoru	14
Şekil 3.3. Yer'in manyetik alanının bileşenleri	14
Şekil 3.4. Değişmeyen manyetik enlem açıları	15
Şekil 3.5. Yer manyetosferinin şematik gösterimi	16
Şekil 3.6. Yer manyetosferinin radyasyon kuşakları	17
Şekil 3.7. Yüklü parçacıkların Yer'in manyetik alanındaki hareketi	18
Şekil 3.8. $V_{\parallel} = 0$ için düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi	19
Şekil 3.9. $V_{\parallel} \neq 0$ için, düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi	20
Şekil 3.10. Alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyan) sahip düzgün olmayan bir manyetik alanda parçacık hareketi	21
Şekil 3.11. Yüklü parçacıkların Yer'in dipol manyetik alanındaki salınım hareketi ...	21
Şekil 3.12. Yer'in çevresinde oluşan elektrik alanın yönelimi	22
Şekil 3.13. Yüklü parçacıkların farklı yönlerdeki sürüklenme hareketi	22
Şekil 3.14. İç manyetosferdeki plazmasfer bölgesi	23
Şekil 3.15. Plazmosferdeki O^+ ve H^+ yoğunluklarının manyetik kabağa göre değişimleri	23
Şekil 3.16. Plazmasfer sınırının günbatımı yönündeki genişlemesi	24
Şekil 3.17. Plazmasferde meydana gelen güneş rüzgârlarına ters yöndeki sürüklenme hareketi	25

Şekil 3.18. Jeomanyetik aktiviteye bağlı olarak plazmasfer sınırında meydana gelen değişim	25
Şekil 4.1. Yer atmosferindeki sıcaklığın yükseklikle değişimi	31
Şekil 4.2. 100 ile 500 km arasındaki parçacık yoğunluklarının yükseklikle değişimi....	33
Şekil 4.3. Ekzosfer tabakasındaki parçacık yoğunluğunun yükseklik ile değişimi	34
Şekil 4.4. İyonosferik tabakalar ve elektron yoğunlukları	36
Şekil 4.5. Yüksek frekanslı dalgalar üzerine iyonosferik bölgelerin etkileri	38
Şekil 4.6. Değişken ortamlarda kırılmanın yapısı ($\phi_2 > \phi_1$)	39
Şekil 4.7. Yer ve iyonosfer düzlemi için denklik teoremi	39
Şekil 4.8. Eğime bağlı olarak farklı yüksekliklerden yansıyan dalgalar	41
Şekil 4.9. Yaklaşık 300 km yükseklik için orta enlemlerdeki basıncın günlük değişimi.	43
Şekil 4.10. Nötr rüzgârların farklı yerel zamanlardaki yönelimleri	43
Şekil 4.11. Gündüz ve gece saatleri için F bölgesindeki sürüklenmenin yönleri	44
Şekil 5.1. Plazmasfer ve plazmasfer sınırın yapısı	45
Şekil 5.2. Çukur özelliklerinin verildiği bir çukur örneği	46
Şekil 5.3. Mayıs-Aralık 1967 süresince çukur sayıları ile K_p arasındaki ilişki	47
Şekil 5.4. 1967 yılı için Güney ve Kuzey yarımkürelerdeki farklı K_p gruplarında meydana gelen çukur sayıları	48
Şekil 5.5. Elektron yoğunluğu çukurunun K_p değerlerine bağlı değişimi	49
Şekil 5.6. Kuzey yarımkürede gözlemlenen çukur konumlarının K_p ile değişimi	49
Şekil 5.7. 2008-2009 yılları boyunca 30° - 80° Λ arasında Format 3 uydusunun yaklaşık 600 km yükseklikte farklı mevsimler ve farklı yerel zamanlar için ölçtüğü elektron yoğunluğunun değişimi	50
Şekil 6.1. 1966 - 2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin zaman serisi grafiği	52
Şekil 6.2. 1966 - 2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin trend eğrisi	53
Şekil 6.3. 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 verileri ve Güneş lekesi sayıları arasındaki serpilme diyagramı.	53
Şekil 7.1. 20. ve 21. Güneş döngüleri için Güneş lekesi sayısının yıllara göre değişimi.	56
Şekil 7.2. Saatlik foF2 verilerinin alındığı iyonosonda istasyonları	57
Şekil 7.3. Ariel 4 uydusunun Yer'e göre yörüngesi	58

Şekil 8.1.	1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	61
Şekil 8.2.	1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	62
Şekil 8.3.	1972 - 1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimleri	64
Şekil 8.4.	1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δ foF2 değerlerinin zamana göre değişimleri	64
Şekil 8.5.	1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	65
Şekil 8.6.	21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	66
Şekil 8.7.	1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	67
Şekil 8.8.	1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	68
Şekil 8.9.	1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimleri	70
Şekil 8.10.	1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δ foF2 değerlerinin zamana göre değişimleri	70
Şekil 8.11.	1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	71

Şekil 8.12. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	72
Şekil 8.13. 1972 yılının 21 Haziran dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enlemegöre değişimleri.....	73
Şekil 8.14. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	74
Şekil 8.15. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	75
Şekil 8.16. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimleri	77
Şekil 8.17. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δ foF2 değerlerinin zamana göre değişimleri	77
Şekil 8.18. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	78
Şekil 8.19. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	79
Şekil 8.20. 1972 yılının 23 Eylül dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	80
Şekil 8.21. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	81
Şekil 8.22. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna	82
Şekil 8.23. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimleri	84

Şekil 8.24. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri	84
Şekil 8.25. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	85
Şekil 8.26. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	86
Şekil 8.27. 1972 yılının 21 Aralık dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	87
Şekil 8.28. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca gece yerel zaman grupları için elektron yoğunluklarının ve foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme değişimleri	88
Şekil 8.29. 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama Elektron yoğunluğu verileri ile ortalama foF2 verilerinin logaritmik değerleri arasındaki serpilme diyagramları (a) 19:30 ile 20:00 yerel zaman grupları için (b) 22:30 ile 23:00 yerel zaman grupları için (c) 01:30 ile 02:00 yerel zaman grupları için (d) 04:30 ile 05:00 yerel zaman grupları için	89
Şekil 8.30. Farklı Λ değerleri için foF2 ve elektron yoğunluğu verileri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarının değişimi: (a) 01:30-02:00 YZG (b) 04:30-05:00 YZG	90
Şekil 8.31. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	91
Şekil 8.32. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	92
Şekil 8.33. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri	94

Şekil 8.34. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin zamana göre değişimleri	94
Şekil 8.35. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	95
Şekil 8.36. 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	96
Şekil 8.37. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	97
Şekil 8.38. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerinden hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	98
Şekil 8.39. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin günlük değişimleri	100
Şekil 8.40. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin zamana göre değişimleri	100
Şekil 8.41. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	101
Şekil 8.42. 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	102
Şekil 8.43. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	103
Şekil 8.44. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerinden hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna.....	104

Şekil 8.45. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin günlük değişimleri	106
Şekil 8.46. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin zamana göre değişimleri	106
Şekil 8.47. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	107
Şekil 8.48. 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	108
Şekil 8.49. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	109
Şekil 8.50. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik f_oF_2 değerinden hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna	110
Şekil 8.51. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin günlük değişimleri	112
Şekil 8.52. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δf_oF_2 değerlerinin zamana göre değişimleri	112
Şekil 8.53. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri	113
Şekil 8.54. 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama f_oF_2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum	114

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Güneş patlamalarının sınıflanması	8
Tablo 3.1. K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki	26
Tablo 3.2. K ve a indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki	27
Tablo 3.3. K değerlerinden elde edilen kesirli K_p değerleri	27
Tablo 3.4. K_p indisine karşılık gelen a_p değerleri	27
Tablo 3.5. Toplam a_p değerlerine karşılık gelen C_p değerleri	28
Tablo 3.6. C_p değerlerine karşılık gelen C9 değerleri	28
Tablo 3.7. Jeomanyetik indislere ait özellikler	30
Tablo 7.1. foF2 verilerinin alındığı istasyonların enlem ve boylam değerleri	57
Tablo 7.2. 8 yerel zaman grubunun kapsadığı yerel zamanlar	60
Tablo 8.1. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	63
Tablo 8.2. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	69
Tablo 8.3. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	76
Tablo 8.4. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	83
Tablo 8.5. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	93
Tablo 8.6. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	99
Tablo 8.7. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	105
Tablo 8.8. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar	111

1. GİRİŞ

Güneş ve Yer arasındaki bölge, gezegenlerarası uzay veya Yer'e yakın uzay olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgede yapılan araştırmaların önemli bir bölümü, Yer'in iyonosfer tabakası ile ilgilidir. İyonosfer, atmosferdeki atom ve moleküllerin Güneş ışınları ve kozmik ışınlar tarafından iyonlaştırılarak, iyonize gazların oluşması ile meydana gelen atmosferik bir tabakadır. İyonosfer tabakası, Yer'den yaklaşık 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olarak belli olmamakla birlikte, He^+ ve H^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonu gibi iyonlara baskın olmaya başladığı yaklaşık 1000 km yüksekliklere kadar genişler. Bu bölge, genellikle eşit sayıda serbest elektron, pozitif iyon ve nötr bileşenlerden oluşur. Bu özelliğinden dolayı, iyonosfer doğal bir plazma olarak kabul edilir. İyonosferin oluşumunda en büyük etki Güneş tarafından oluşturulmakla birlikte, her bölgenin kimyasal yapısı ve bileşenlerinin farklı olmasından dolayı, Güneş'ten gelen farklı dalga boyuna sahip ışınlar, farklı yapıda bölgelerin oluşmasını sağlamaktadır. Bu bölgeler, elektron yoğunluklarına göre D, E ve F bölgeleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. Gündüz saatlerinde iyonosferin F bölgesi, F1 ve F2 olmak üzere iki tabakaya ayrılır. 140-210 km arası F1 bölgesi, 210 km nin üzeri ise F2 bölgesi olarak tanımlanmaktadır. İyonosferin en yüksek elektron yoğunluğuna sahip bölgesi F2 bölgesidir. F2 bölgesi, yapısındaki serbest elektronların elektromanyetik dalgaları yansıtmasından dolayı, özellikle yüksek frekanslı (HF: 3-30 MHz) radyo haberleşmeleri için kullanılmaktadır. Bu bölgeden yansıyabilecek en büyük dalganın frekansı, kritik frekans olarak tanımlanır ve bu frekans değeri f_oF2 ile gösterilir. F2 bölgesindeki elektron yoğunluğu, Güneş aktivitesine, enleme, mevsime ve yerel zamana göre değişiklik göstermektedir. Özellikle Güneş'in aktif olduğu dönemlerde, güneş rüzgârlarıyla manyetosfere giren enerjinin artması sonucu meydana gelen jeomanyetik aktivitedeki değişim, iyonosferdeki elektron yoğunluğu, sıcaklık, elektrik alan ve nötr bileşenler gibi parametreleri değiştirerek, f_oF2 'nin günlük değerlerinde büyük ve ani değişimlere neden olmaktadır. f_oF2 değerlerinde meydana gelen bu değişim ise, HF haberleşmeleri üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir [1-7].

Genel olarak haberleşmeyi olumsuz yönde etkileyen bu süreçlere ek olarak, orta enlem bölgesinde, yerel zamana, mevsimlere, jeomanyetik aktivitedeki değişime bağlı elektron yoğunluğunda bir azalma veya çukur meydana gelmektedir. İlk olarak Ariel 3 ve Ariel 4 uydularının yaklaşık 550 km yükseklikte ölçtüğü elektron yoğunluğu verilerinin analizleri sonucunda, bu yapının nitel tanımlaması yapılmış, nicel ölçütleri geliştirilmiş ve orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmalardan, orta

enlem elektron yoğunluğu çukurunun her iki yarımkürede de gece saatleri boyunca, 40°-60° değişmeyen manyetik enlemler (Λ) arasındaki bölgede meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca elektron yoğunluğu çukurunun, manyetik ekvatorun Güneş'e göre konumundaki değişimlere bağlı olarak mevsimsel bir değişim ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Uydular ile yapılan iyon yoğunluğu ölçümü analizlerinden, elektron yoğunluğundaki azalmanın bu bölgedeki O^+ 'den H^+ 'e geçişin olduğu bölgeyle ilişkili olabileceği ortaya konmuştur. Bu çalışmaları izleyen araştırmalarda ise, kuramsal bir plazma sınırı (plasmopause) modeli ile iyonosferin yaklaşık 550 km yüksekliğinde gözlemlenen orta enlem elektron yoğunluğu çukuru arasında bir karşılaştırma yapılmış ve orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun, manyetosferik plazmasfer sınırının iyonosferik bir izdüşümü olduğu ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımdan sonra araştırmalar, yaklaşık 550 km yükseklikte gözlemlenen elektron yoğunluğu çukurunun, daha düşük iyonosferik yüksekliklerdeki izi üzerine yoğunlaşmıştır [8-25].

1990'lı yıllardan beri, yaklaşık 550 km yükseklikte tespit edilmiş olan orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun yapısı, HF haberleşmeleri için çok önemli olan yaklaşık 250 km yükseklikteki iyonosferik F2 zirvesini de kapsayan 300 km genişliğindeki bir bölgede araştırılmaktadır. Ayrıca, elektron yoğunluğunda meydana gelen bu büyük ve beklenmedik azalma, orta enlem bölgesinde haberleşme sistemleri için kullanılan maksimum HF radyo dalga aralığını önemli ölçüde azalttığından dolayı, elektron yoğunluğu çukurunun foF2 üzerindeki etkisini tahmin etmeye yönelik zaman, konum ve manyetik aktivite gibi fiziksel parametreleri kapsayan, yarı deneysel çukur modelleri geliştirilmeye çalışılmaktadır [26-40]. Ancak, şimdiye kadar yapılan çalışmaların, genellikle uydu verileri ile sınırlı olmasından ve foF2 verileri kullanılarak orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun daha düşük iyonosferik yüksekliklerdeki etkisini, farklı mevsim, farklı yerel zaman ve farklı jeomanyetik aktivite durumlarına göre inceleyen araştırmaların yetersiz olmasından dolayı, HF radyo iletişimi için geliştirilen modellerde, çukurun foF2 üzerindeki etkisi tam olarak tanımlanamamıştır. Bundan dolayı, bu modellerden elde edilen tahmini foF2 değerleri yeteri kadar güvenilir sonuçlar vermemektedir [41-48].

Uydu temelli iletişim sistemlerinin yaygın bir şekilde kullanılmaya başlamasına rağmen, HF haberleşmeleri, hem sivil hem askeri amaçlar için kullanılmaya devam etmektedir. HF bandı ile haberleşme, özellikle deprem ve benzeri doğa olaylarının iletişim sistemlerini tahrip ettiği zamanlarda çok önemli hale gelmektedir. Bundan dolayı, HF haberleşmeleri üzerinde olumsuz bir etki meydana getiren orta enlem elektron yoğunluğu

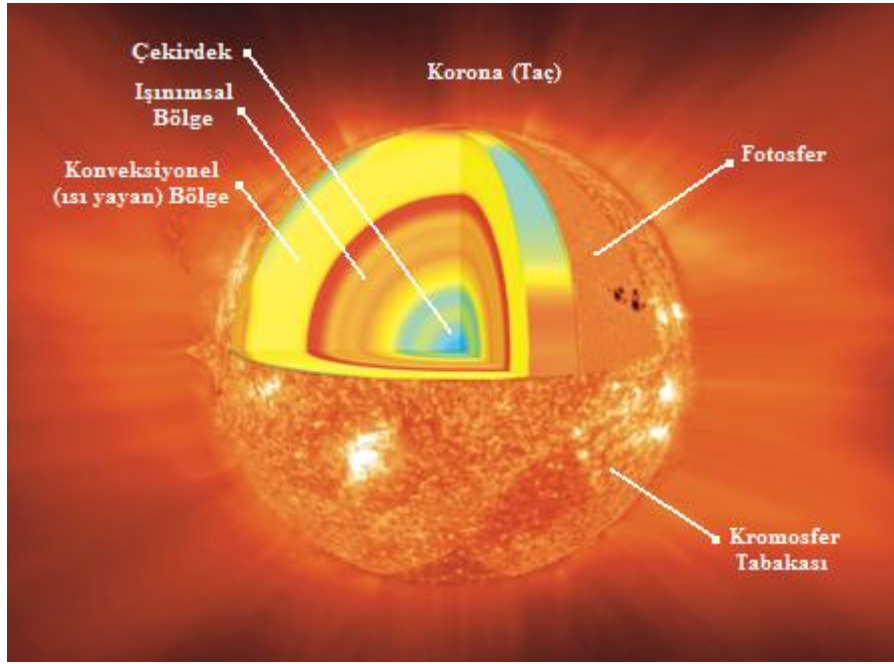
çukurunun yapısının daha iyi anlaşılabilmesi ve daha güvenilir sonuçlar veren deneysel modellerin geliştirilebilmesi için, uydu verilerinin analizlerinden elde edilmiş sonuçlar ile iyonsondalar tarafından ölçülmüş foF2 verilerinden elde edilmiş sonuçların birleştirilmesi çok önemlidir.

Bu çalışmanın amacı, 20. ve 21. güneş döngüleri süresince güneş lekesi sayısının azaldığı 1972-1976 ve 1982-1986 yılları için orta enlemler arasında farklı iyonsonda istasyonlarından alınan saatlik foF2 verilerini yerel zamana, mevsimlere, enlemlere ve jeomanyetik aktivite durumuna göre incelemek, elde edilen sonuçları Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırmaktır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların, orta enlem bölgesinin iyonosferik F2 zirve yüksekliklerindeki elektron yoğunluğunun değişiminde etkili olan fiziksel parametrelerin daha iyi anlaşılmasına ve daha güvenilir sonuçlar veren deneysel elektron yoğunluğu çukuru modelleri oluşturulmasına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2. GÜNEŞ VE GEZEGENLERARASI UZAY

2.1. Güneş

Güneş, galaksimizdeki yaklaşık 10^{11} yıldızdan yalnızca bir tanesidir. Bize olan yakınlığı ve Yer üzerindeki etkisinden dolayı, diğer yıldızlardan daha fazla ilgimizi çekmektedir. Bu yakınlık, Güneş'i detaylı bir şekilde incelememize izin vermekte, bunun sonucunda da Güneş'in optik ve termal yapısı ile Güneş'ten uzaya yayılan X-ışını sürekli bir şekilde izlenebilmektedir. Güneş, yaklaşık 696.000 km bir yarıçapa sahiptir (Yer yarıçapının 109 katı) ve hacmi yaklaşık 1 milyon Yer'i içine alacak kadar büyüktür. Temel olarak hidrojen ve helyumdan oluşmakla birlikte, karbon, nitrojen, neon, magnezyum, silikon, sülfür, argon, kalsiyum, demir ve nikel gibi pek çok diğer elementleri de yapısında bulundurmaktadır [49]. Güneş'in içyapısı ve sahip olduğu tabakalar Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



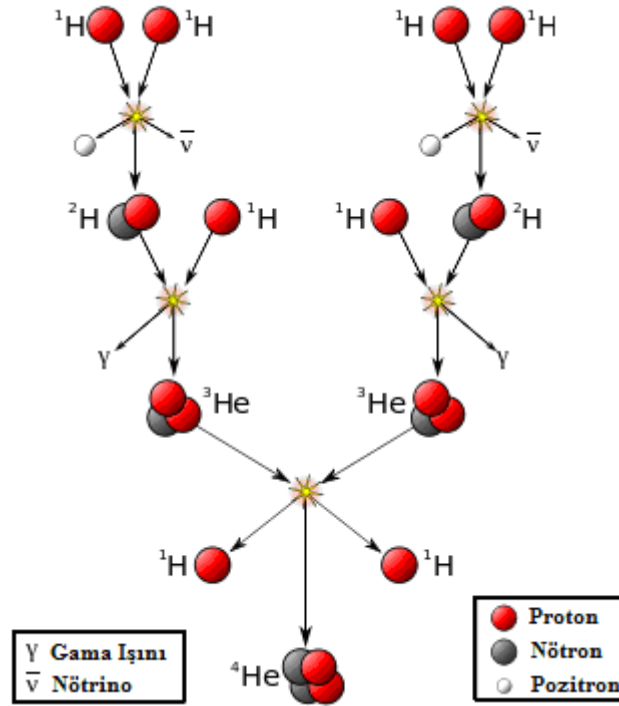
Şekil 2.1. Güneş'in yapısı [50]

Güneş, büyük miktarda enerji ve kütle yayar. 1 saniyede yaklaşık 4×10^{33} erg/s enerji meydana getirmektedir. Güneş yüzeyine yakın atmosferin sıcaklığı, yaklaşık 4000 °C ile 7000 °C aralığındadır ve bu sıcaklık, Güneş yüzeyinden yaklaşık 1 milyon kilometre uzaklıkta birkaç milyon °C'ye ulaşır. Merkezindeki sıcaklık ise yaklaşık 15 milyon °C dir. Tüm dalga boylarından meydana gelen ve Yer'in üst atmosferine ulaşan bir saniyedeki

toplam enerji miktarı, güneş sabiti olarak adlandırılmaktadır. Şu anda kabul edilen güneş sabiti değeri 1 astronomik birimde (1 AB, yaklaşık 150 milyon km) yaklaşık 1370 Watt/m² dir. Güneş sabitine % 52 oranında kızılötesi, % 41 oranında görünür ışık, % 6 oranında ultraviyole ışın katkı sağlamaktadır. Geriye kalan %1'lik kısmını ise X-ışını, γ ışını ve radyo dalgaları oluşturmaktadır. Güneş aynı zamanda güneş rüzgârları olarak bilinen parçacık akışı (proton ve elektron) meydana getirmektedir. Güneş rüzgârları, her saniye Güneş'ten yaklaşık 4,5 milyar kilogram kütleli uzaya taşımaktadır [6, 7, 49].

2.2. Güneş'in Enerji Kaynağı

Güneş'in enerji kaynağı, hidrojenin helyuma nükleer füzyonudur. Bu füzyon tepkimesinin aşamaları Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Füzyon olayı, Güneş'in çekirdeğini sarmıştır ve bu bölgede helyum üretmek için her saniye yaklaşık 600 milyon ton proton tüketilmektedir [49].



Şekil 2.2. Güneş'te meydana gelen füzyon tepkimesinin şematik gösterimi [51]

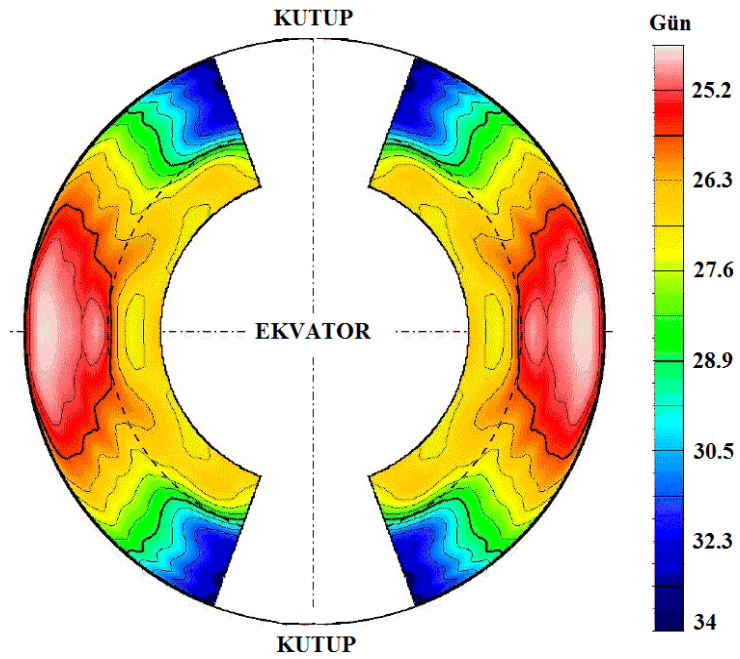
Güneş'in merkezinde üretilen bu büyük enerji, üç mekanizma ile yüzeye taşınmaktadır. Bunlar iletim, ışınım ve konveksiyondur. İletim, Güneş'in her yerinde küçük bir derecede meydana gelmesine rağmen herhangi bir yerde baskın değildir. Işınım, fotonlar yolu ile enerji taşınmasıdır ve yüksek yoğunluktaki çekirdek bölgesinde baskın

durumdadır. Konveksiyon süreci ise Güneş'in merkezini saran bölgede baskın olarak meydana gelmektedir. Bu bölge, Güneş hacminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır ve bu bölgenin üst kısmı, Güneş'in yüzeyi olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgedeki konveksiyon hareketinden dolayı, Güneş'in yüzeyi kaynar ve tanecikli bir tabaka olarak görülmektedir. Güneş, yaklaşık 4 milyar yıl boyunca enerji üretebilecek kadar gerekli yakıtı yapısında bulundurmaktadır [6, 7].

2.3. Aktif Güneş

Enerji, Güneş'in merkezinden sabit bir oranda yayıldığı için Güneş yüzeyinden yayılan radyasyonun zamanla ve konumla değişmediği beklenebilir. Ancak, Güneş'in belirli yerlerinde ve kısa periyotlar boyunca Güneş'in yoğunluğunda hızlı dalgalanmalar meydana gelebilmektedir. Bu dalgalanmaların temel sebebi, Güneş'in bölgelerinin farklı dönme hızına sahip olmasından kaynaklı olarak Güneş'in manyetik alanındaki bozulmalardır [6, 7, 49].

Güneş, iyonize olmuş bir gaz yapıya sahip olduğu için katı bir yapı gibi dönmemektedir. Gerçekte, Güneş'in ekvatoru kutup bölgelerinden daha hızlı dönmektedir (Ekvator bölgesi 24,9 gün, kutup bölgesi 31,5 gün). Yani enlem derecesi arttıkça dönüş hızı azalmaktadır [49]. Bu yapı, Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

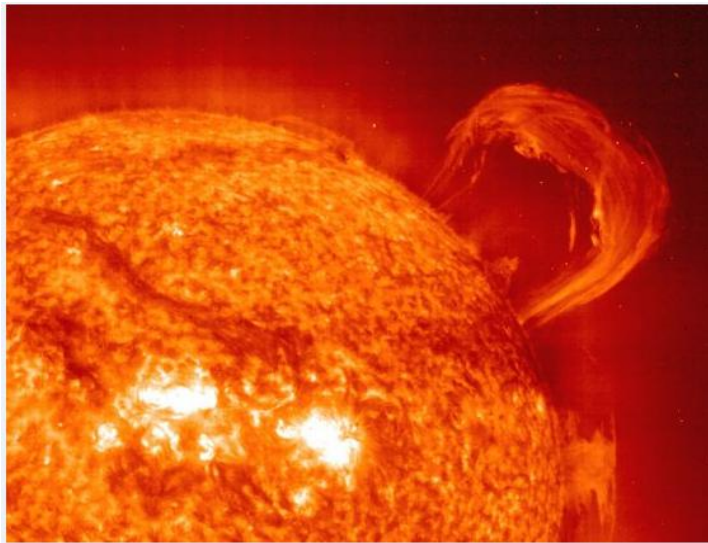


Şekil 2.3. Güneş'in diferansiyel dönmesi [52]

Bu farklı dönüş zamanlarından dolayı, Güneş'in manyetik alanları bükülmektedir. Daha sonra manyetik alanlar ilk durumuna geri dönerek gevşediğinde, bu depolanmış manyetik enerji kinetik enerji olarak serbest kalmaktadır. Böyle bölgeler, Güneş'in aktif bölgeleri olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.3'de gösterilen diferansiyel dönüş hareketin yanı sıra, dönüş hızı Güneş'in iç kısımlarında da farklılık göstermektedir. Bölgesel olarak yoğunlaşmış manyetik alanlara sahip bu bölgeler, güneş patlamaları ve güneş lekeleri olarak adlandırılmaktadır [3, 6].

2.3.1. Güneş Patlamaları

Bir güneş patlaması, Güneş'in atmosferinin tüm tabakalarında meydana gelen çok şiddetli bir patlamadır. Bu yapı çok yüksek hızlara ivmelenmiş elektron, proton ve daha ağır iyonları içeren bir plazmadır. Bu patlamalar, uzun dalga boyuna sahip radyo dalgalarından, çok daha kısa dalga boyuna sahip gamma ışınlarına kadar elektromanyetik spektrum boyunca tüm dalga boylarında elektromanyetik radyasyon üretmektedirler. En büyük patlamalar, Güneş'in yüzeyinde şiddetli manyetik alanların meydana geldiği, aktif bölgeler olarak tanımlanan, güneş lekeleri civarında meydana gelmektedir. Patlamalar enerjilerini, depolanmış manyetik enerjinin aniden serbest kalmasından sağlamaktadırlar. Güneş patlamalarının meydana gelme sıklığı, Güneş'in aktif olduğu dönemlerde günde birkaç kez iken, Güneş'in sakin olduğu dönemlerde haftada birden daha az olabilmektedir [7, 53]. Şekil 2.4'de, Güneş'te meydana gelen bir patlama gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Güneş'te meydana gelen patlama olayı [50]

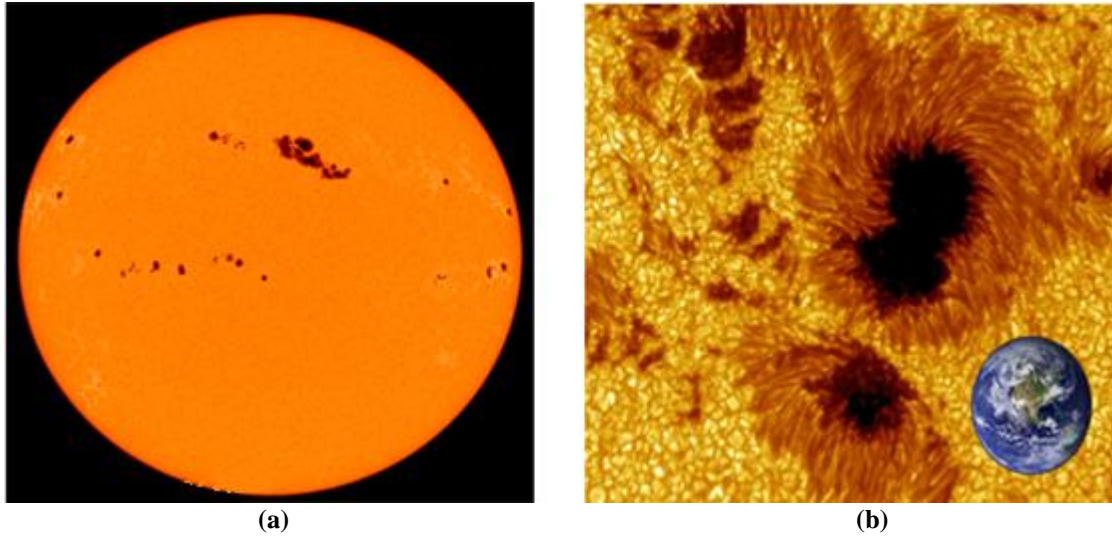
Uydular ile ölçülen güneş patlamaları, Yer yakınlarında X-ışınlarının akışına göre A, B, C, M ve X olarak sınıflandırılmıştır [49]. Bu sınıflama Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Güneş patlamalarının sınıflanması [49]

Sınıflama	X-Işını Akışı (W/m ²)
A	$< 10^{-7}$
B	$10^{-7}-10^{-6}$
C	$10^{-6}-10^{-5}$
M	$10^{-5}-10^{-4}$
X	$> 10^{-4}$

2.3.2. Güneş Lekeleri

Güneş lekeleri, güneş aktivitesi ile ilgili özellikleri ortaya koymak için kullanılan en yaygın indislerden bir tanesidir. Teleskop ile ilk kez 1610 yılında İngiliz gökbilimcileri tarafından gözlemlenmişlerdir. Güneş lekeleri, Güneş yüzeyinde çok güçlü güneş fırtınaları ile güçlü elektromanyetik faaliyetlerin varlığını gösteren siyah noktalara verilen addır. Güneş lekeleri, Güneş’in fotosfer tabakasında meydana gelen çok yüksek manyetik alanlara sahip bölgelerdir [6, 7, 49]. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi, lekelerin boyutları farklıdır. Bazılarının genişliği Yer’in genişliğinden daha büyük olabilir.



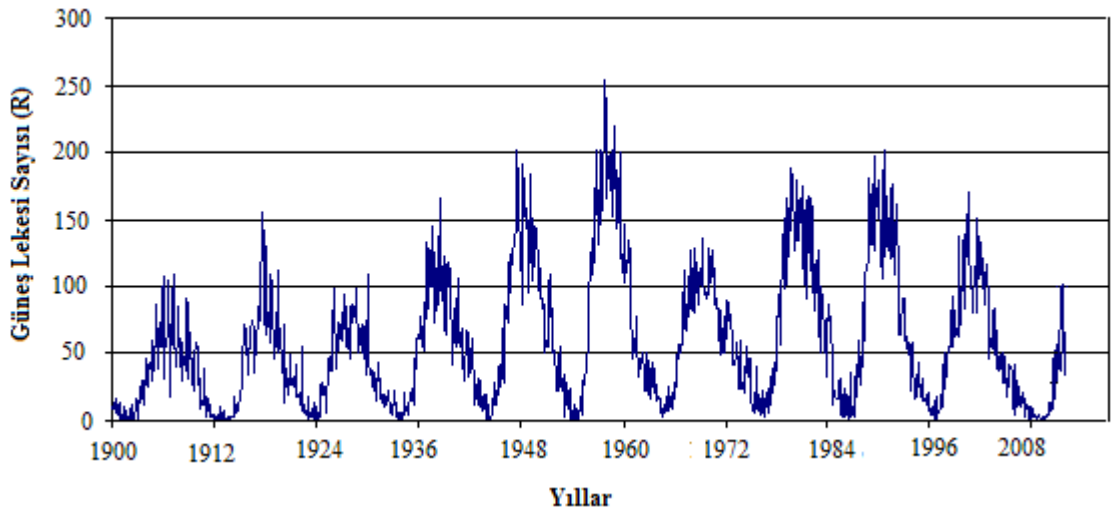
Şekil 2.5. (a) Güneş lekeleri (b) Yer ile bir güneş lekesinin karşılaştırılması [52]

Güneş lekelerinin koyu olmasının nedeni, lekelerin bulunduğu yüzeylerde sıcaklığın etrafına nazaran daha düşük olmasıdır. Sayısal olarak ifade etmek gerekirse, Güneş’in yüzey sıcaklığı ortalama olarak 5000 °C dir. Güneş lekelerinin sıcaklığı ise, ortalama olarak 4000 °C dir. Bu bölgelerin etraflarından daha soğuk olmalarının sebebinin,

bu bölgelerdeki yoğun manyetik alanın konveksiyon sürecini engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir [3, 6, 49].

2.4. Güneş Döngüsü

1852 yılında Heinrich Schwabe, güneş lekeleri sayılarının yaklaşık 10 yıllık bir periyot ile düzenli bir şekilde değiştiğini bulmuştur. Güneş lekesi sayılarının en fazla olduğu zaman güneş maksimumu, en küçük olduğu zaman ise güneş minimumu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra yapılan analizler ile, bu periyot uzunluğunun yaklaşık 11 yıl olduğu tespit edilmiştir. Her bir döngü, güneş minimumu ile başlayıp ardından gelen diğer güneş minimumu arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanmıştır. Bir minimum döngüden itibaren geçen 4-5 yıl içinde gözlemlenen lekelerin sayısı maksimum değere ulaşır. Bu durumda güneş etkinliği maksimum evreye ulaşmış olur. Art arda gelen iki minimum veya iki maksimum evre arasındaki ortalama süre 11 yıldır. Bu ortalama değer, iki asırlık gözlemler ile tespit edilmiştir. Ortalama olarak verilen bu süreye döngü veya çevrim denir. Yapılan araştırmalar bu döngünün, Güneş'in manyetik kutuplarının yer değiştirmesi için geçen süreyle ilişkili olduğunu göstermiştir. En yaygın güneş aktivite indisi, Zürih güneş lekesi sayısıdır (R). Bu sayı, gruplar halinde oluşan güneş lekesi sayı ölçümleri ile bireysel leke sayılarını birleştirmektedir [6, 7, 49]. Şekil 2.6'da, 1900-2012 yılları arası gözlemlenen güneş lekesi sayıları gösterilmiştir.



Şekil 2.6. 1900-2012 yılları arasındaki güneş lekesi sayıları [54]

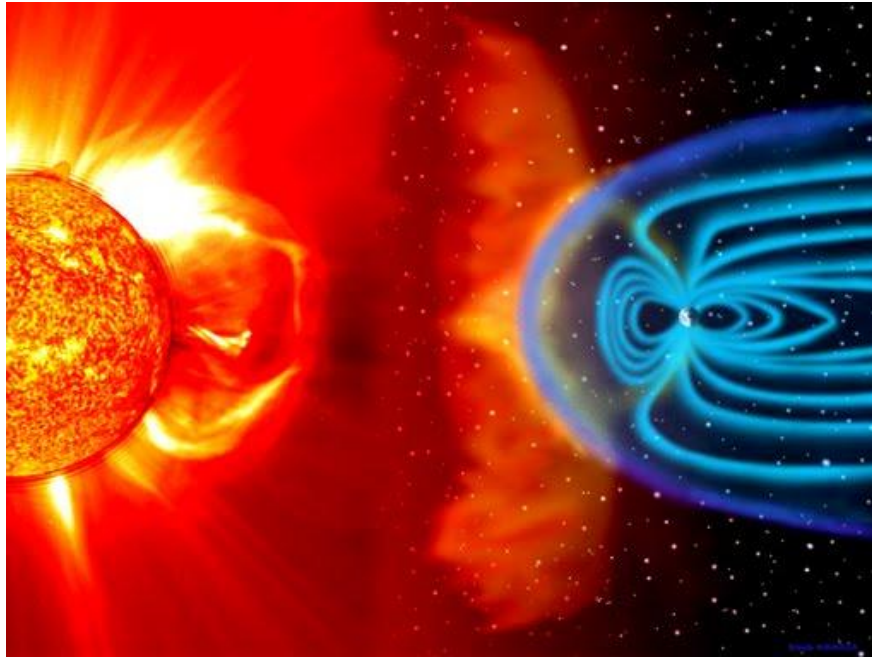
2.5. Gezegenlerarası Uzay

Güneş ve Yer arasındaki bölge, gezegenlerarası uzay veya Yer'e yakın uzay olarak tanımlanmaktadır. Bu bölge popüler inanışın aksine boş olmayıp, düşük bir yoğunluğa

sahip güneş rüzgârları ve gezegenlerarası manyetik alan tarafından doldurulmuştur. Bu ortamın plazma yoğunluğu 3-40 parçacık/cm³ bir değer aralığında değişirken, sıcaklığı 10⁴ K ile birkaç 10⁵ K arasında değişmektedir [6, 7, 49].

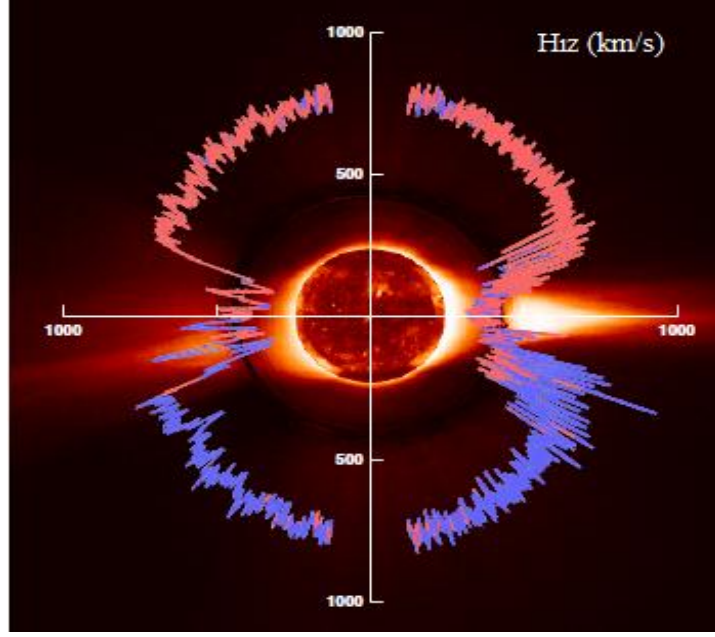
2.5.1. Güneş Rüzgârları

Gezegenlerarası uzay, genişleyen dış güneş atmosferi olarak tanımlanan plazma akışı tarafından doldurulmuştur. Bu plazma (güneş rüzgârı), ağırlıklı olarak Güneş'in yerçekiminden kurtulacak kadar enerjiye sahip proton ve elektronlardan oluşmaktadır (küçük oranda alfa parçacıkları ve daha ağır bazı çekirdekler de içermektedir) [6, 7, 49]. Şekil 2.7, gezegenlerarası ortamda ilerleyen güneş rüzgârlarını göstermektedir.



Şekil 2.7. Güneş patlamaları ve oluşan güneş rüzgârları [55]

Bu parçacıklar, yaklaşık 200 ile 800 km/s bir hız aralığında gezegenlerarası ortamda seyahat ederler. Güneş rüzgârlarının hızı, Güneş'in aktif olduğu dönemler boyunca, 1000 km/s'ye kadar ulaşabilmektedir. Bu rüzgârların Güneş çevresindeki hızları, Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Güneş'in sakin olduğu dönemlerde, Yer yörüngesi yakınlarındaki güneş rüzgârlarının hızları, yaklaşık 300-400 km/s dir. Güneş'in aktif olduğu dönemlerde ise bu rüzgârların hızı, 600-700 km/s ulaşmaktadır. Bu bölgedeki güneş rüzgârları, 6,9 cm⁻³ proton ve 7,1 cm⁻³ elektron yoğunluğuna sahiptir [7, 56].

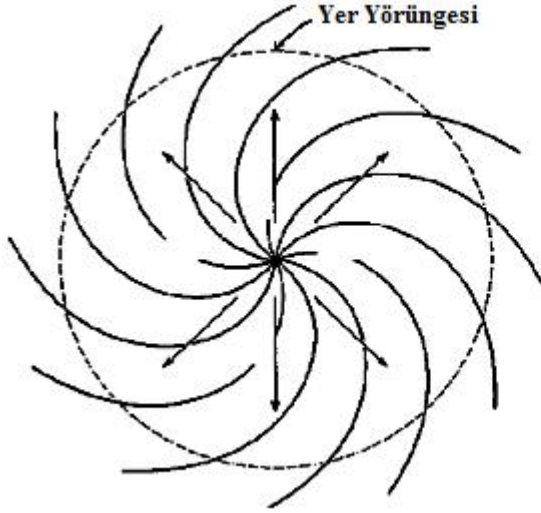


Şekil 2.8. Rüzgârların Güneş çevresindeki hızları [58]

Ayrıca bu rüzgârlar yapısında, yüklü parçacıklar ile birlikte manyetik alanlarda içermektedir. Yani, güneş rüzgârları dışarı doğru akarken uzaya yüklü parçacıklara ek olarak gezegenlerarası manyetik alan da taşımaktadır. Bu güneş plazması, Yer'in manyetik alanı ile etkileşerek, Yer çevresinin yakınındaki uzay sistemi üzerinde önemli etkiler meydana getirir. Bu etkileşmenin gözle görülebilir tek sonucu, kutup enlemlerinde meydana gelen aurora olarak adlandırılan parlamalardır. Ancak uygun araçlar kullanılarak birçok olay gözlenebilmektedir ve bu olaylar, güneş rüzgârları ve manyetik alan etkileşimi ile ilişkilendirilebilmektedir. Örneğin, Güneş kaynaklı parçacık radyasyonu, kutup auroralarını ve jeomanyetik aktivite olaylarını tam olarak açıklamaktadır. 1930 yılında, jeomanyetik düzensizlikleri açıklamak için Güneş'ten yayılan elektriksel olarak nötr parçacık akış fikrini, Chapman ve Ferrera geliştirmişlerdir. Güneş rüzgârları ile ilgili ilk detaylı bilgi, 1962 yılında Venüs'e gönderilen Mariner 2 uydusunun seyahati boyunca elde ettiği verilerden sağlanmıştır [7, 57, 59].

2.5.2. Gezegenlerarası Manyetik Alan

Gezegenlerarası manyetik alan, güneş rüzgârları tarafından gezegenlerarası uzaya taşınan, Güneş'in genişleyen manyetik alanıdır. Gezegenlerarası manyetik alan, güneş rüzgâr plazmalarının içinde bulunduğundan dolayı, güneş rüzgârları gibi sarmal bir yapıya sahip olarak gezegenlerarası ortamda seyahat ederler [6, 7, 56, 59]. Şekil 2.9'da, güneş rüzgârları ve gezegenlerarası manyetik alanın yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Güneş rüzgârları ve gezegenlerarası manyetik alanın spiral yapısı [52]

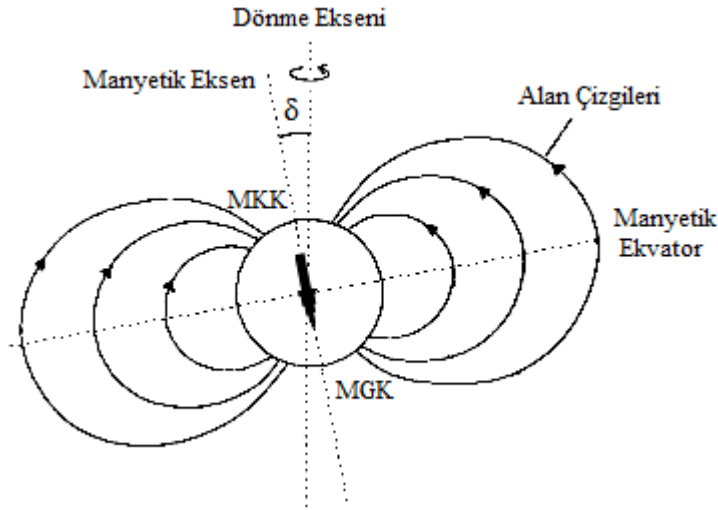
Gezegenlerarası manyetik alan, üç vektörel bileşene sahiptir. Bunlar, \mathbf{B}_x , \mathbf{B}_y ve \mathbf{B}_z dir. \mathbf{B}_x bileşeni, Güneş ve Yer'in bulunduğu ekliptik düzlem üzerinde ve Güneş'e doğru pozitif yönlü, \mathbf{B}_y bileşeni, gündoğumu (06:00) ve günbatımı (18:00) doğrultusunda ve gündoğumu yönünde pozitif, \mathbf{B}_z bileşeni ise kuzey-güney bileşeni olup kuzey yönünde pozitif ve ekliptik düzleme diktir. Güneş rüzgârları ile taşınan bu manyetik alan Yer'e ulaştığı zaman, Yer'in manyetik alanı ve iyonosferi üzerinde önemli etkiler ve düzensizlikler meydana getirmektedir [5-7, 59].

3. YER'İN MANYETİK ALANI VE MANYETOSFER

Yer, çubuk mıknatısın manyetik alanına benzer bir manyetik alana sahiptir. Bu manyetik alanın Yer'in merkezindeki sıvı metallerin dolaşımı ile ilişkili dinamo süreçleri tarafından meydana geldiği düşünülmektedir. Bu yapı, manyetosfer olarak adlandırılan bir bölge tarafından Yer'i kuşatmıştır. Manyetosfer, güneş rüzgârları tarafından taşınan yüksek enerjili yüklü parçacıkların Yer'e ulaşmasını engellemektedir. Manyetosferin şekli, Yer'in merkezinde meydana gelen dinamik süreçler, güneş rüzgârları ve gezegenlerarası manyetik alan tarafından belirlenmektedir [7, 49].

3.1. Yer'e Yakın Manyetik Alan

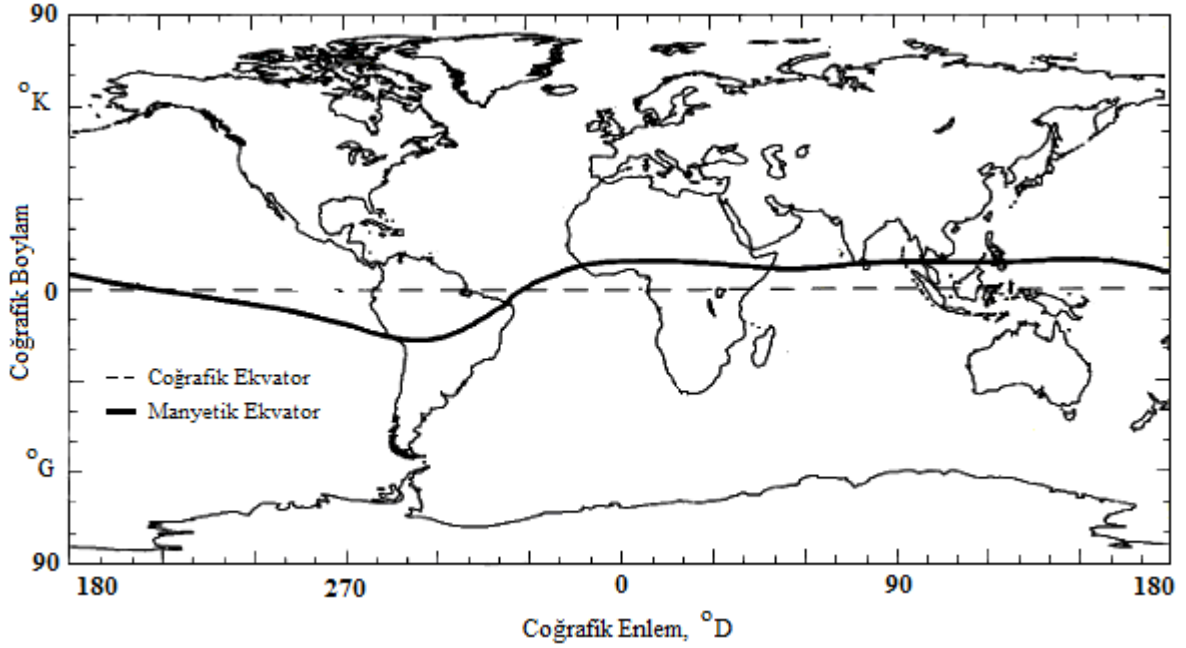
Manyetik alanla ilgili Yer'e yakın ifadesi, Yer'in merkezinden yaklaşık 6 yer yarıçapı bir mesafe içindeki herhangi bir yer olarak kullanılmaktadır. Yer'e yakın manyetik alanın genel şekli uzun zamandır bilinmektedir. William Gilbert, 1600 yılında yayınladığı 'De Magnete' kitabında, Yer'in kendisini dev bir mıknatıs olarak ele almış ve Yer'in alanını küçük bir küre ile modellemiştir [6, 7]. Yer'e yakın manyetik alan çizgilerinin basit bir yapısı, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yer'e yakın manyetik alan çizgileri ve yönelimi [7]

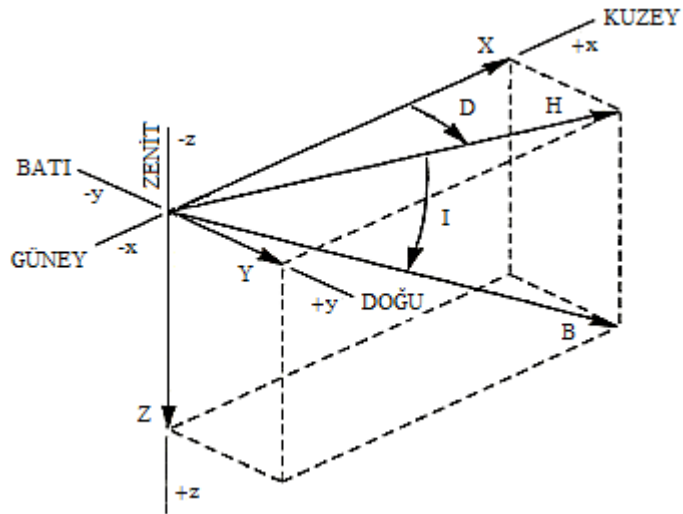
Burada δ , Yer'in dönüş eksenine göre manyetik eksen eğikliğidir ve yaklaşık değeri, $\delta \approx 11^\circ$ dir. Bu alan, düşük coğrafik enlem bölgeleri için yeryüzüne paralel, yüksek coğrafik enlem bölgeleri için yeryüzüne dik bir manyetik alan yönelimi olarak tanımlanabilir. Alanın yöneliminin Yer'e tam olarak yatay olduğu konum, manyetik ekvator olarak tanımlanmaktadır [6, 7, 59].

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi, manyetik ekvator coğrafik ekvatora oldukça yakındır. Ancak güney Atlantik yakınlarındaki manyetik ekvator, güney Atlantik anormalliği olarak adlandırılan $-17,5^{\circ}$ ’ye kadar bir sapma göstermektedir [7].



Şekil 3.2. Yer’in coğrafik ve manyetik ekvatoru [7]

Şekil 3.3, Yer’in manyetik alanının bileşenlerini göstermektedir. Şekilde H bileşeni, manyetik alanın yatay bileşenidir. Eğim açısı I (Dip açısı), manyetik alanın yatayla yaptığı açının ölçüsünü, sapma açısı D (Deklinasyon açısı) ise manyetik alanın yatay bileşeninin coğrafik kuzey ile yaptığı açının ölçüsünü göstermektedir. Bu açılar, Yer üzerinde bulunulan konuma göre değişiklik göstermektedir [6].



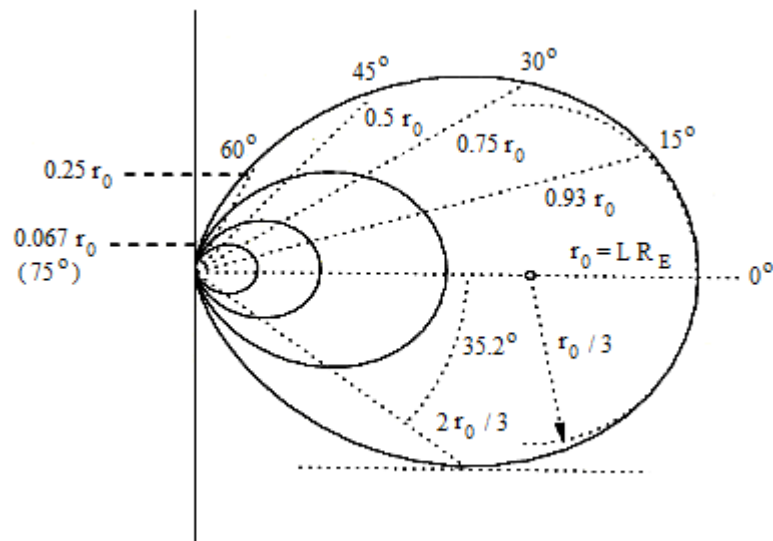
Şekil 3.3. Yer’in manyetik alanının bileşenleri [6]

Manyetik alanın yeryüzüne tam olarak dik olduğu iki konum ise manyetik kutuplar olarak tanımlanmaktadır. Manyetik kutupların coğrafik konumları, uzun dönemli değişimler göstermektedir. Örneğin, 1965 yılında manyetik kuzey kutup $76,5^\circ$ K, 259° B ve manyetik güney kutup $66,3^\circ$ G, 141° B iken, 2000 yılında uydular tarafından tespit edilen manyetik güney kutbun yaklaşık 3° kuzeybatı yönünde kaydığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda manyetik kuzey kutup, kuzeydoğu yönünde $81,3^\circ$ K, $249,2^\circ$ B konumuna yer değiştirmiştir [7, 59].

Yer'in manyetik alanını tanımlayan bu parametrelere ek olarak, manyetik alan çizgilerinin Yer'e göre konumlarını belirlemek için değişmeyen manyetik enlem (invariant magnetic latitude, Λ) değerleri geliştirilmiştir. Bu enlem değerleri, denklem 3.1'de verilen ifade yardımıyla hesaplanmaktadır [7].

$$\Lambda = \text{ArcCos} \sqrt{\frac{r}{LR_E}} \quad (3.1)$$

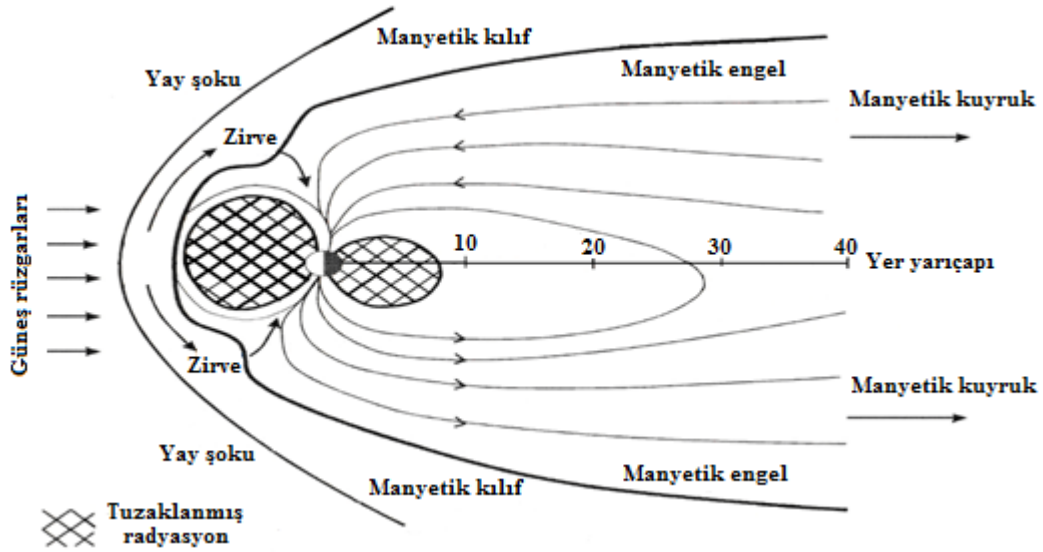
Denklemden L, manyetik kabuk parametresini, R_E , Yer'in yarıçapını, r ise yer yarıçapı biriminde ölçülmüş jeomanyetik ekvatorial düzlemde bir alan çizgisinin yermerkezli uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemden oluşturulan alan çizgilerinin grafiksel gösterimi, Şekil 3.4'de verilmiştir. Şekildeki 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° açıları, değişmeyen manyetik enlem değerlerini göstermektedir [7].



Şekil 3.4. Değişmeyen manyetik enlem açıları [7]

3.2. Yer'den Uzak Manyetik Alan

Yer ve onun manyetik alanı, Güneş'ten yayılan ve güneş rüzgârı olarak bilinen bir parçacık yağışı içine gömülmüştür. Ayrıca, Yer'in manyetik alanı gezegenlerarası ortamın manyetik alanı ile etkileşim içindedir. Bunların her ikisi, özellikle güneş rüzgârları, Şekil 3.5'de gösterilen jeomanyetik alanın değişiminin temel sebebidir ve manyetosfer olarak adlandırılan sınırlı bir hacme hapsolmuştur [6, 7, 59].



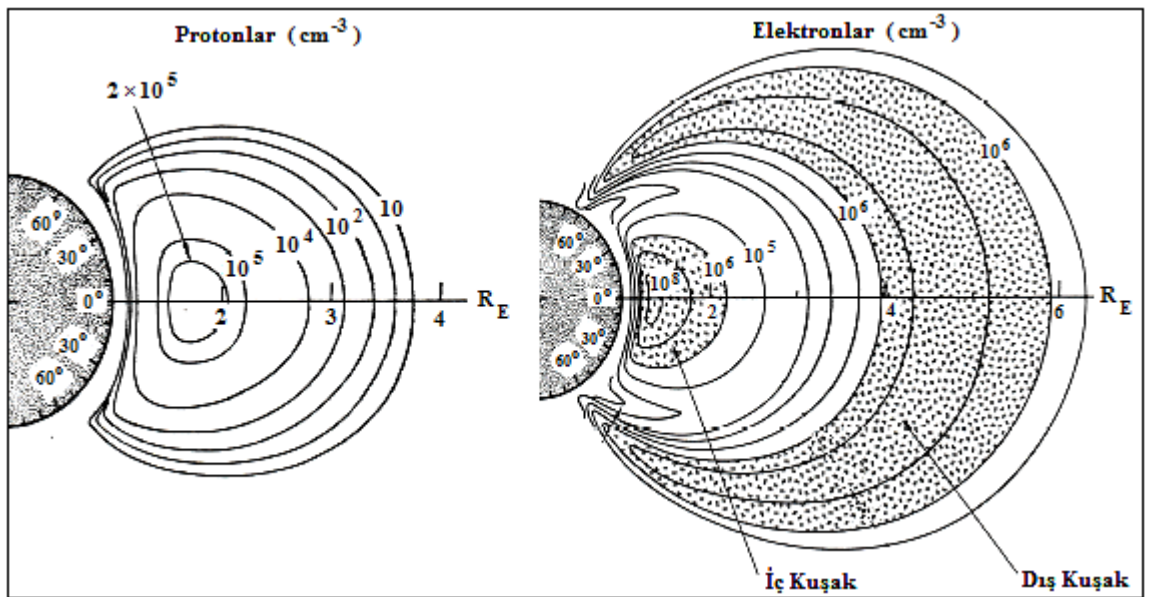
Şekil 3.5. Yer manyetosferinin şematik gösterimi [60]

Manyetosfer, Güneş'e bakan tarafta elipsoidal bir şekle sahiptir ve Güneş tarafındaki manyetik engel üzerindeki bir noktanın yermerkezli uzaklığı, yaklaşık 10 yer yarıçapıdır (≈ 64000 km). Bu uzaklık, gezegenlerarası ortamın özelliklerine, özellikle güneş rüzgârlarının dinamik basıncına bağlı olarak birkaç yer yarıçapı değişiklik gösterebilmektedir. Güneş rüzgârı yani Güneş'in merkezinden dışarı doğru hareket eden elektronların ve iyonların oluşturduğu bir plazma, 300–500 km/s bir hızda Yer'in manyetik alanı üzerinde etkili olur. Hareketli plazma, Yer'in Güneş'e bakan tarafındaki alanı sıkıştırır ve Yer'in Güneş'e bakmayan yönündeki yani güneş rüzgârı yönünün tersi yönündeki alanı ise, uzayın çok uzak mesafelerine kadar bir kuyruk biçiminde uzatır. Bir güneş rüzgârı, Yer'in manyetik alanına yaklaştığı zaman manyetik engelin 2-3 yer yarıçapı ötesinde bir şok dalgası meydana gelir. Bu şok dalgası, proton ve elektronların enerjilerini değiştirir ve plazmanın hızını düşürür. Böylece, güneş rüzgârlarının büyük çoğunluğu bu bölge civarında akar. Yay şokunun meydana geldiği bölgenin altındaki deniz kabuğuna

benzeyen bölge, manyetik kılıf (magnetosheath) olarak isimlendirilir. Manyetik kılıf, üst kısımda şok tarafından ve alt kısımda da jeomanyetik alan tarafından sınırlandırılır. Sıkışmış jeomanyetik alanın dışarı yönlü kuvvetinin, Güneş rüzgârlarının plazma kuvvetleri tarafından dengelendiği bu yüzey manyetik engel (magnetopause) olarak adlandırılır. Manyetosferin diğer önemli bir özelliği, manyetosferik zirve noktalarıdır. Bunlar, manyetosferin farklı bölgelerine uzayan manyetik alan çizgilerinin ayrıldığı yerlerdir. Manyetosferik zirveler dar bölgelerdir ve bu bölgeler, dış manyetosferden iç manyetosfere ve kutup iyonosferinin içlerine kadar uzanır. Manyetosferik zirveler hemen hemen manyetik kılıf plazmasının özelliklerine benzer bir plazma ile doludur. İki manyetosferik zirve noktası, gezegenlerarası plazmanın iç manyetosfere ve iyonosfere olan uzantılarıdır [6, 7, 49, 59, 61].

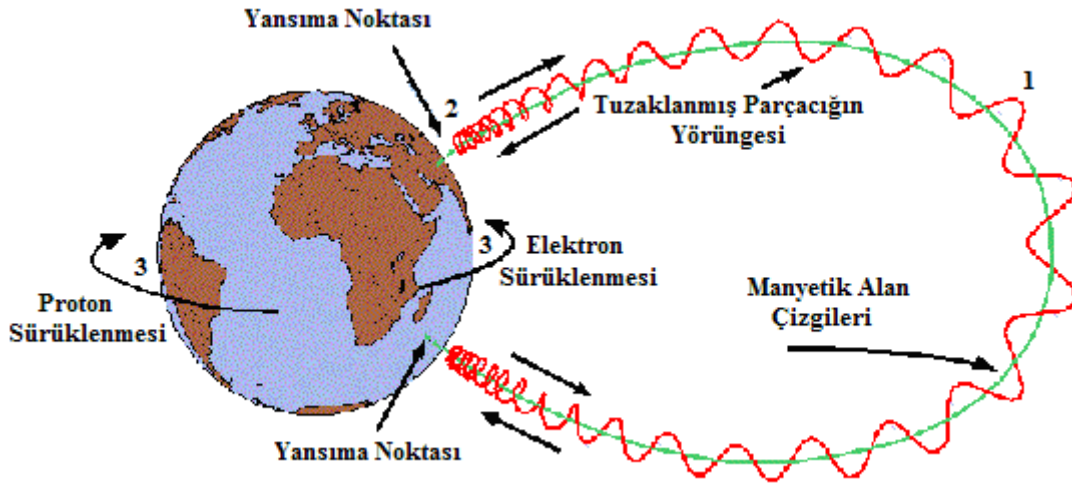
3.3. Manyetosferde Hapsolmuş Yüklü Parçacıklar ve Hareketleri

Güneş rüzgârının taşıdığı yüksek enerjili parçacıklar, Güneş'ten Yer'e doğru akarken Yer'in manyetosferi ile karşılaşır. Yüklü parçacıklar, bir manyetik alanın yakınında manyetik kuvvetlerden dolayı kolay bir şekilde hareket edemediklerinden manyetosfer çevresinde saparlar. Bazı güneş rüzgârı parçacıkları, Yer'in manyetik alan çizgileri boyunca hareket ederek Yer'in manyetik alanının içine sızarlar ve iç manyetosfer bölgesinde tuzaklanırlar. Tuzaklanan yüklü parçacıklar, enerjilerine göre farklı bölgelerde bulunmaktadır [6, 7, 59, 61]. Parçacıkların yüklerine göre hapsoldükleri bölgeler ve bu bölgelerin yoğunlukları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Yer manyetosferinin radyasyon kuşakları [59]

Bu bölgeler, yaklaşık $\pm 60^\circ$ değişmeyen manyetik enlemler arasında bulunmaktadır. Bu bölgelerdeki parçacıkların tamamı güneş rüzgârlarından kaynaklı değildir. Bu yüklü parçacıkların bir kısmı, Yer'den uzaya doğru yükselen hava partiküllerinin kozmik ışınlar tarafından iyonlaştırılması sayesinde bu bölgelerde tuzaklanmasından meydana gelmektedir. Bugün, enerjik parçacıkların manyetosferin iç bölgelerinde depolandıkları ve bu parçacıkların konularının, yüklerine ve enerjilerine bağlı olduğu bilinmektedir. Ayrıca, yapılan uydu ölçümleri, yüklü parçacıkların hapsedikleri bu bölgelerin Yer'in manyetik eksenine çevresinde Yer ile birlikte döndüklerini ortaya koymuştur. Bu bölgelere hapseden yüklü parçacıklar, Şekil 3.7'de gösterildiği gibi, Yer'in manyetik alanında üç tür hareket yapmaktadırlar [6, 7, 49, 59, 61].



Şekil 3.7. Yüklü parçacıkların Yer'in manyetik alanındaki hareketi [61]

Bunlar ;

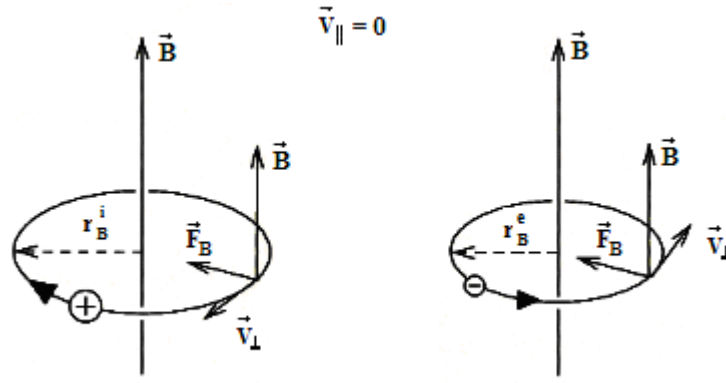
1. Elektronların ve protonların, manyetik alan çizgileri etrafındaki helis hareketi.
2. Yüklü parçacıkların, Yer'in iki manyetik kutbu arasında yaptığı salınım hareketleri.
3. Protonların batı yönünde, elektronların ise doğu yönünde Yer'in manyetik alanı içindeki sürüklenme hareketleridir [6, 7, 49, 59, 61].

3.3.1. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alanda Helis Hareketi

Manyetik alan, bir hıza sahip yüklü parçacık üzerinde hızının büyüklüğünü değiştirmeden, hız ve manyetik alana dik yönde bir kuvvet meydana getirir. Bu kuvvetin etkisi altındaki parçacığın hareket denklemini aşağıdaki şekilde yazabiliriz [7].

$$m \frac{d\mathbf{V}_\perp}{dt} = q(\mathbf{V}_\perp \times \mathbf{B}) \quad (3.1)$$

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. Manyetik kuvvetin yönü, parçacığın yüküne bağlı olduğu için, Şekil 3.8’de gösterildiği gibi, manyetik alana yatay hız bileşenleri olmayan ($\mathbf{V}_\parallel = 0$) pozitif yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönü, negatif yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönünün tam tersi yöndedir.

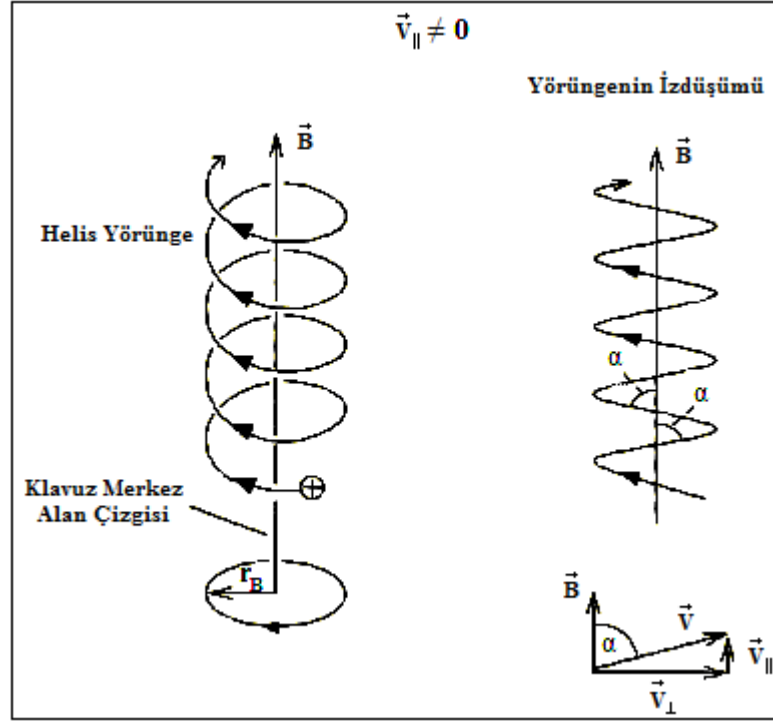


Şekil 3.8. $\mathbf{V}_\parallel = 0$ için düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi [7]

Parçacığın manyetik alana belirli bir açı ile girdiği durumda ise, parçacığın manyetik alana paralel ve dik hız bileşenleri bulunmaktadır. Hızın manyetik alana paralel ve dikey bileşenleri;

$$V_\parallel = V \cos \alpha, \quad V_\perp = V \sin \alpha \quad (3.2)$$

şeklindedir. α , parçacığın hız vektörü ile manyetik alan arasındaki açının ölçüsüdür. Parçacığın manyetik alana dik bileşeni, parçacığın manyetik alan etrafında belirli bir yörüngede dairesel hareket yapmasına neden olur iken, paralel bileşen, manyetik alandan etkilenmez ve parçacığın manyetik alan boyunca sabit hızlı hareket yapmasına neden olur. Parçacık Şekil 3.9’da gösterildiği gibi, bu iki hareketin bileşeni boyunca manyetik alan etrafında helis hareketi yapar. Burada α , aynı zamanda yükselme açısını da belirtmektedir. Sarmal hareketin merkezindeki alan çizgisi, merkez alan çizgisini belirtmektedir ve dönen parçacığın yörünge merkezini tanımlar [7, 59, 61].

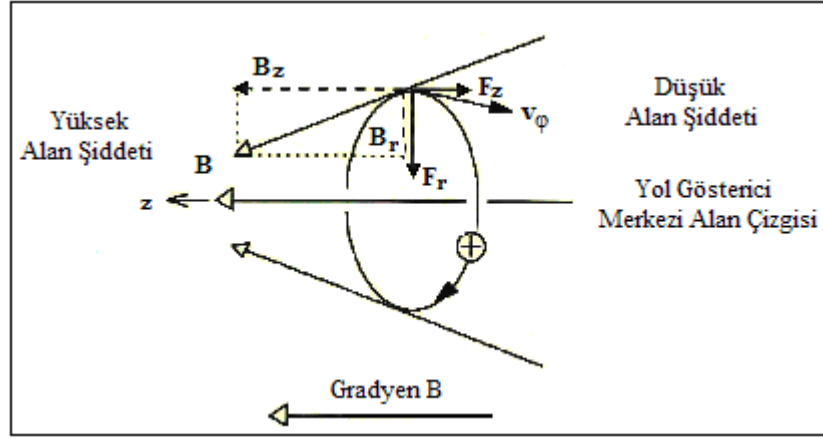


Şekil 3.9. $V_{\parallel} \neq 0$ için, düzgün bir manyetik alanda parçacık hareketi [7]

3.3.2. Yüklü Parçacıkların, Yer'in İki Manyetik Kutbu Arasında Yaptığı Salınım Hareketleri

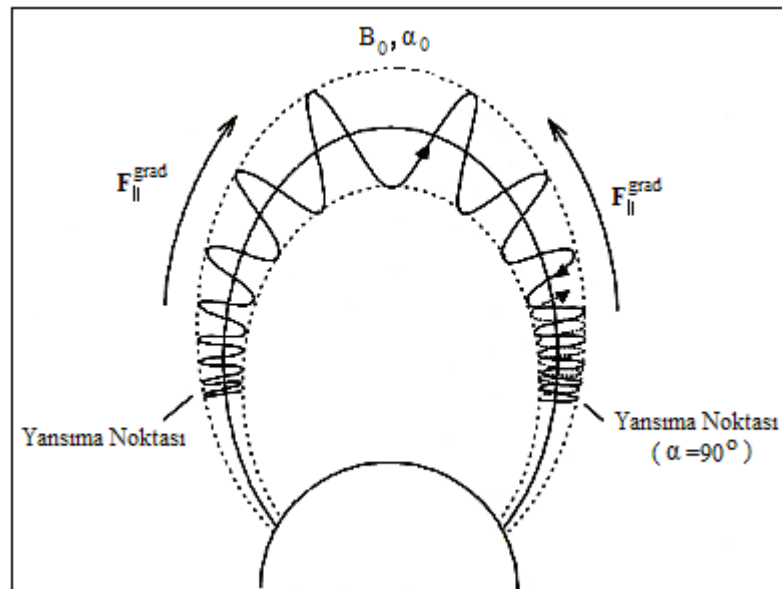
Burada, alan çizgileri boyunca şiddet değişimi (gradyen) gösteren düzgün olmayan (değişen) bir manyetik alan göz önüne alınmıştır. Böyle bir manyetik alan bir noktada birleşen, yakınsak (şiddeti artan) veya ıraksak (şiddeti azalan) manyetik alan çizgilerine sahip olabilir. Bundan dolayı, değişim alan çizgilerinin değişen yoğunluğunu yansıtmaktadır. Şekil 3.10, böyle bir manyetik alanda yüklü bir parçacığın hareketini göstermektedir. Manyetik alan, merkez alan çizgisine hem paralel hem de dik bileşenlere sahiptir. Bu, ayrı ayrı merkez alan çizgisine paralel ve dik yönlerde bir manyetik kuvvetin meydana gelmesine neden olur. Merkez alan çizgisine dik yöndeki kuvvet F_r , parçacığın dönme hareketinden sorumlu iken, merkez alan çizgisine paralel kuvvet F_z , ayrılan (ıraksak) alan çizgileri yönünde bir ivme oluşturur. Bu etki, dönen parçacığı yüksek manyetik alan şiddetine sahip bölgeden uzaklaşmaya zorlamaktadır. Bu kuvveti aşağıdaki şekilde yazabiliriz [7].

$$\mathbf{F}_{\parallel} = -\frac{mV^2}{B} \nabla_{\parallel} \mathbf{B} \quad (3.3)$$



Şekil 3.10. Alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyen) sahip düzgün olmayan bir manyetik alanda parçacık hareketi [7]

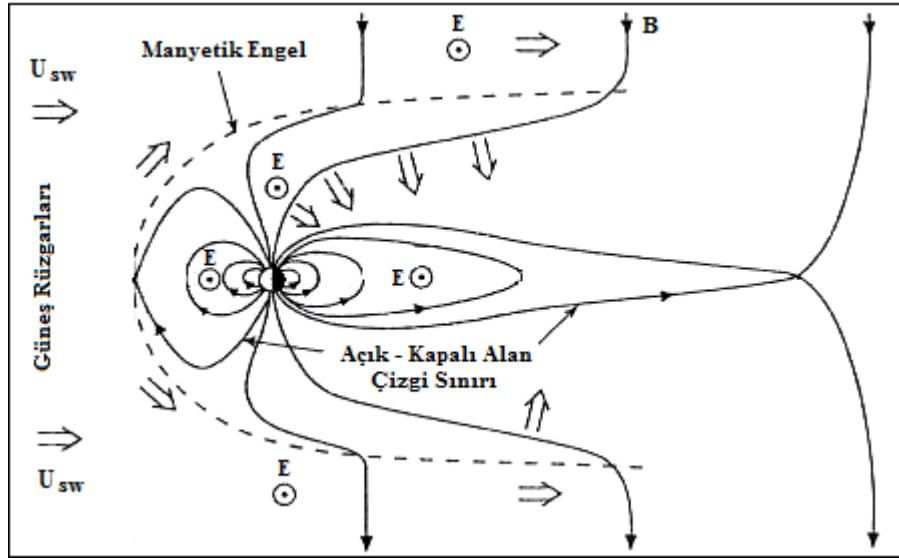
Alan şiddetinin artması ile (alan çizgilerinin yakınsaması) manyetik gradyen kuvveti, alan çizgilerine paralel tüm enerjisi tüketip merkez alan yönündeki hareketi durdurana kadar parçacığın yavaşlaması için etki eder. Bu noktada α açısı 90° 'ye ulaşmıştır ve parçacığın tüm kinetik enerjisi onun dönme hareketine dönüşmüştür. Yalnızca dönme enerjisine bağlı olan (paralel enerji bileşenine bağlı olmayan) gradyen kuvvet, sürekli olarak etki eder ve parçacığı manyetik ekvatora doğru hızlandırır. Böylece, parçacık geldiği yöne doğru yansımış olur. Bu olay, manyetik ayna etkisi olarak adlandırılmaktadır. Yörüngenin tersine döndüğü nokta, yansıma noktası olarak adlandırılır [7]. Yer'in dipol manyetik alanında meydana gelen bu durum Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Yüklü parçacıkların Yer'in dipol manyetik alanındaki salınım hareketi [7]

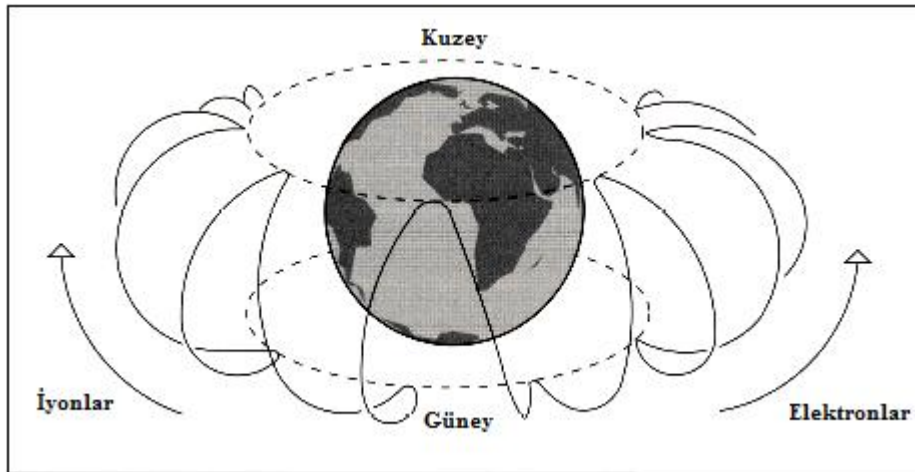
3.3.3. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki Sürüklenme Hareketi

Güneş rüzgârları yüksek derecede iletken bir plazmadır. Bundan dolayı manyeto hidrodinamik denklemleri ile tanımlanabilir. Güneş rüzgârları Yer'in manyetik alanı ile karşılaştığı zaman, Yer'in çevresinde $\mathbf{E} = \mathbf{U}_{sw} \times \mathbf{B}$ ifadesi ile verilen bir elektrik alan meydana getirir. Burada \mathbf{U}_{sw} , güneş rüzgârının hız vektörüdür [6, 59]. Şekil 3.12'de, bu rüzgârların Yer'in manyetik alanı ile etkileşimi sonucu oluşan elektrik alanı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Yer'in çevresinde oluşan elektrik alanının yönelimi [6]

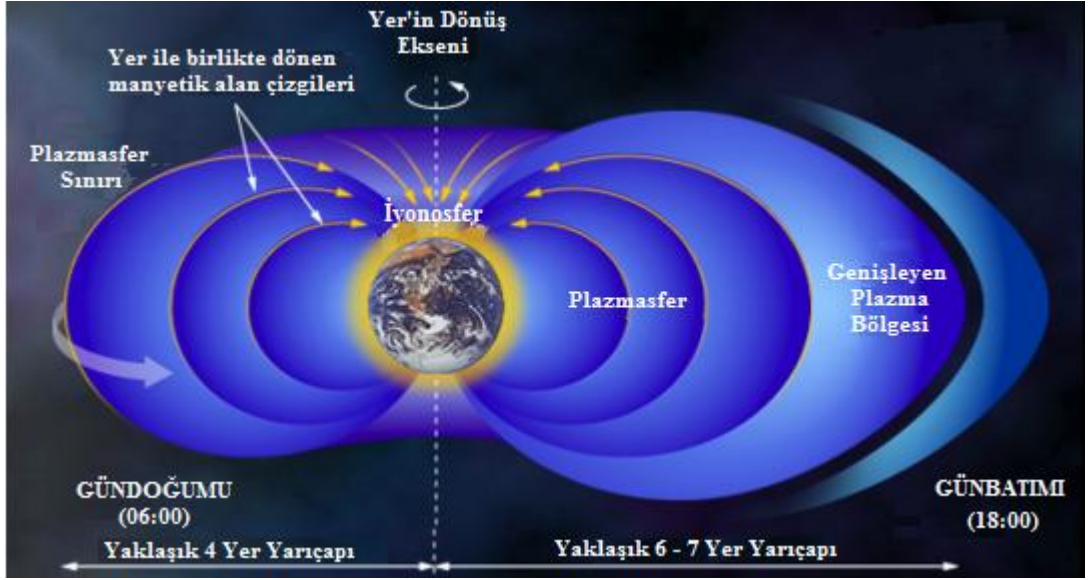
Oluşan bu elektrik alan, radyasyon kuşakları içinde bulunan yüklü parçacıklar üzerinde etkili olarak pozitif yüklü parçacıkların batıya, negatif yüklü parçacıkların da doğuya doğru sürüklenmesine neden olur. Şekil 3.13, elektrik alanın etkisinde yüklü parçacıkların sürüklenme yönlerini göstermektedir [7, 59, 61].



Şekil 3.13. Yüklü parçacıkların farklı yönlerdeki sürüklenme hareketi [7]

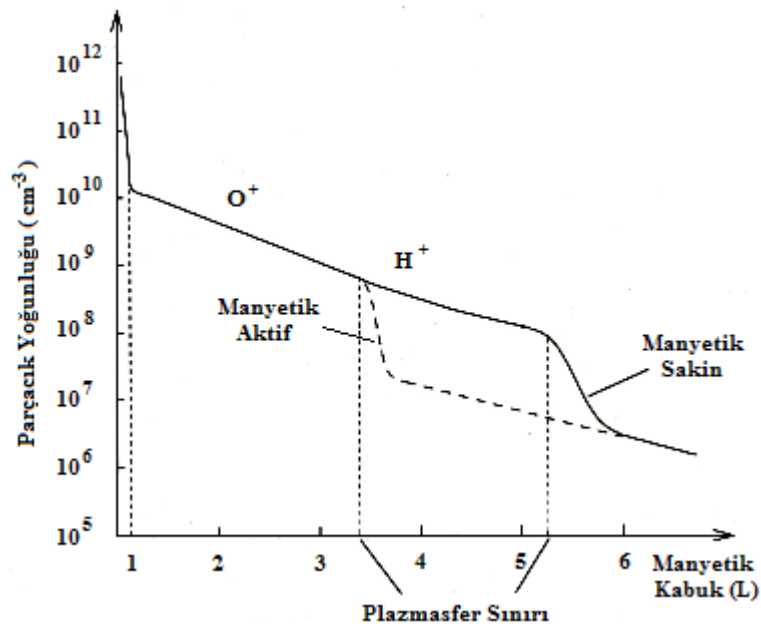
3.4. Plazmasfer

Plazmasfer, Yer ile birlikte dönen ve iyonosferin manyetosfer içine doğru genişlediği iç manyetosferdeki plazma bölgesidir. [6, 7, 49, 59]. Şekil 3.14, plazmasferin yapısını göstermektedir.



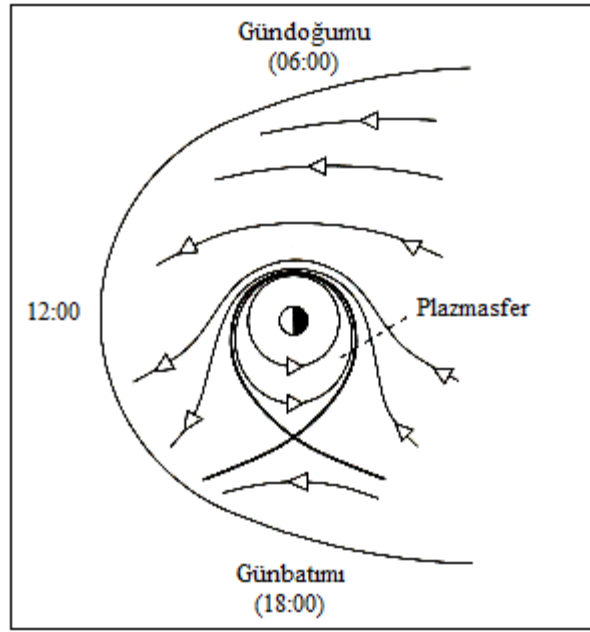
Şekil 3.14. İç manyetosferdeki plazmasfer bölgesi [60]

İç manyetosfer ile plazmasfer arasındaki bölge, plazmasfer sınırı (plasmopause) olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge, Şekil 3.15'de gösterildiği gibi O^+ 'den H^+ 'e geçiş bölgesi olarak da tanımlanmaktadır [7, 14, 61].



Şekil 3.15. Plazmasferdeki O^+ ve H^+ yoğunluklarının manyetik kabuğa göre değişimleri [7]

O⁺'den H⁺'e geçişin ve bu bölgedeki manyetik alan çizgilerinin sayısındaki azalmaya bağlı olarak, sınır bölgesindeki plazma yoğunluğunda önemli derece bir azalma meydana gelmektedir [14, 61]. Plazma sınırının konumu, bölüm 3.3.3'de tanımlanan elektrik alana ve güneş rüzgârlarının meydana getirdiği manyetik düzensizliğin derecesine bağlı olarak değişmektedir. Güneş rüzgârlarıyla Yer'in manyetik alanının etkileşimi sonucu meydana gelen elektrik alanından kaynaklı olarak plazmasfer sınırı, günbatımı yönünde daha geniş bir yapıya sahiptir [7, 15, 17, 18, 23, 62-64]. Plazmasfer sınırının bu yapısı Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



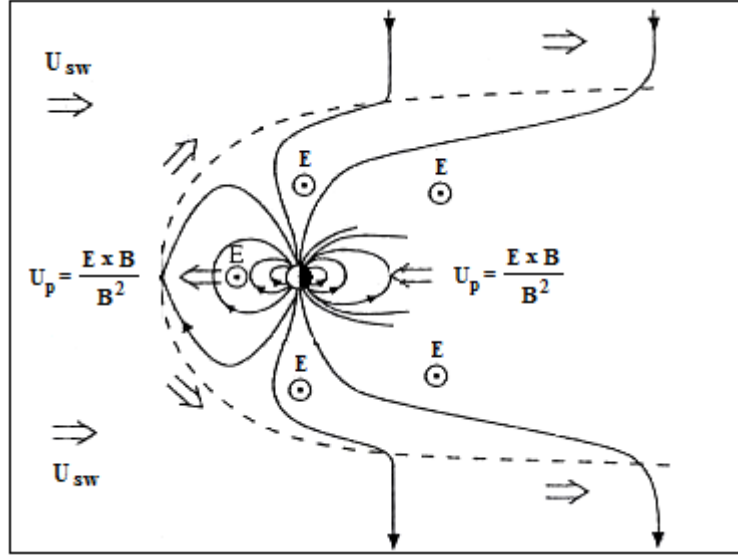
Şekil 3.16. Plazmasfer sınırının günbatımı yönündeki genişlemesi [7]

Bu genişlemeye bağlı olarak, günbatımından gündoğumuna doğru gidildikçe plazmasfer sınırı, daha düşük manyetik kabuk ve daha düşük manyetik enlem değerlerinde gözlemlenmektedir. Plazmasfer sınırını belirleyen diğer önemli fiziksel süreç ise güneş rüzgârları ile Yer'in manyetik alanının etkileşimi sonucu oluşan elektrik alanının plazmasfer bölgesinde meydana getirdiği sürüklenme hareketidir. Şekil 3.17'de gösterildiği

gibi bu elektrik alan, plazmasferdeki yüklü parçacıklar üzerinde $\frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2}$ ile ifade edilen bir

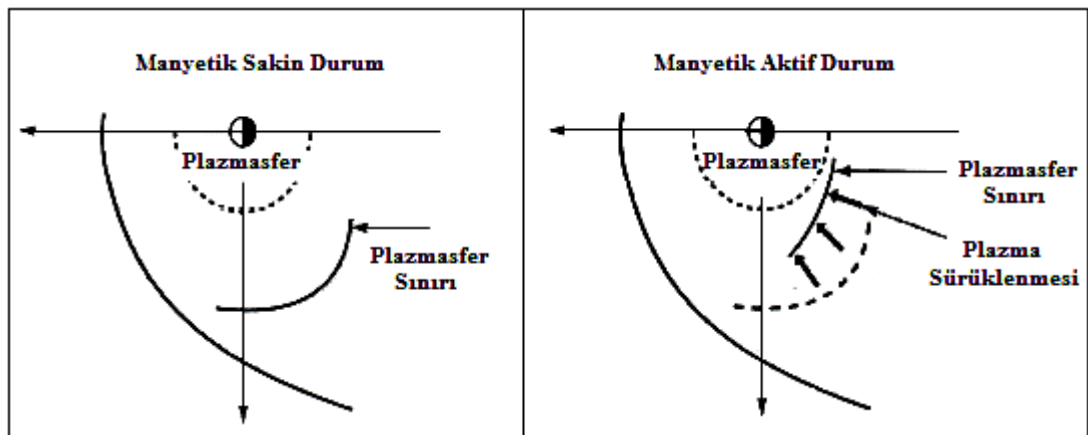
sürüklenme hızı (U_p) meydana getirir. Bu sürüklenmenin yönü, gece tarafında Yer'e doğru iken gündüz tarafında Yer'den uzaya doğrudur. Bu sürüklenme hızı, plazmasferin sınırını ve konumunu belirleyen en önemli fiziksel parametredir. Jeomanyetik aktivite artışı ile bu hız vektörünün büyüklüğü artar ve plazmasfer sınırının gece tarafında daralmasına, gündüz

tarafında genişlemesine neden olur. Bunun sonucunda jeomanyetik aktif koşullar altında gece saatleri için plazmasfer sınırı, iç manyetosfer bölgesinden daha fazla uzaklaşır ve plazmasfer sınırı daha düşük değişmeyen manyetik enlem değerlerine doğru kayar [6, 7, 14-17, 59, 61-64].



Şekil 3.17. Plazmasferde meydana gelen güneş rüzgârlarına ters yöndeki sürüklenme hareketi [6]

Plazmasfer sınırının iç manyetosfer bölgesinden uzaklaşmasının sonucu olarak, plazma yoğunluğunda daha büyük azalmalar gözlemlenir [63, 64]. Jeomanyetik aktiviteye bağlı olarak plazmasfer sınırında meydana gelen bu değişimler Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. Jeomanyetik aktiviteye bağlı olarak plazmasfer sınırında meydana gelen değişim [59]

3.5. Jeomanyetik İndisler

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 tanımlanmıştır [59, 65-68].

3.5.1. K İndisi

K indisi, Yer 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. 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 Tablo 3.1'de verilmiştir [65].

Tablo 3.1. K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki [65]

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

3.5.2. a ve A İndisleri

Manyetometre ile ölçülen Yer'in 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 [65].

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 Tablo 3.2'de verilmiştir. K, a ve A indisleri yerel jeomanyetik aktiviteyi ölçeklendirmek için geliştirilmiştir. Bu indisler, günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı olarak değişiklik gösterir [66-68].

Tablo 3.2. K ve a indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki [65]

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

3.5.3. K_p İndisi (Gezegensel K İndisi)

K_p indisi, Yer üzerindeki gözlemlerinden elde edilen K değerlerinden, kullanışlı basit bir gezegensel (global) indis elde etmek için türetilmiştir. K_p indisi, Yer üzerindeki 13 gözlemden 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 [14]. Bu değerler Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. K değerlerinden elde edilen kesirli K_p değerleri [65]

K_p	0^0	0^+	1^-	1^0	1^+	2^-	2^0	2^+	3^-	3^0	3^+	4^-	4^0	4^+
K_p	0	1/3	2/3	1	4/3	5/3	2	7/3	8/3	3	10/3	11/3	4	13/3
K_p	5^-	5^0	5^+	6^-	6^0	6^+	7^-	7^0	7^+	8^-	8^0	8^+	9^-	9^0
K_p	14/3	5	16/3	17/3	6	19/3	20/3	7	22/3	23/3	8	25/3	26/3	9

3.5.4. a_p ve A_p İndisleri

a_p , K_p indisi ile ilişkili bir indistir. K_p indisinin işleyişine uygun olarak türetilmiştir. K_p indisinin 0-9 arasındaki dağılımına karşı gelen a_p değerleri Tablo 3.4'de verilmiştir [66].

Tablo 3.4. K_p indisine karşılık gelen a_p değerleri [65]

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.

3.5.5. C_p ve C9 İndisleri

C_p indisi, 8 tane a_p indisinin toplamından türetilmiş manyetik aktivite seviyesinin değişimini gösteren günlük bir indistir. 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 [67].

Tablo 3.5. Toplam a_p değerlerine karşılık gelen C_p değerleri [65]

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 3.6. C_p değerlerine karşılık gelen C9 değerleri [65]

C_p	0,0-0,1	0,2-0,3	0,4-0,5	0,6-0,7	0,8-0,9
C9	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
C9	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.

3.5.6. 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 rüzgârlar olarak adlandırılır ve 10 dakikadan birkaç saate kadar sürebilir. AO indisi ise, AU ve AL indislerinin ortalaması alınarak bulunmaktadır [59, 66-68].

3.5.7. D_{st} (Disturbance Storm Time) İndisi

Güneş rüzgârları Yer'in manyetosferi üzerinde büyük düzensizlikler yarattığı zaman manyetik fırtınalar gelişmektedir. Bunun sonucunda da çember akımı (ring current) olarak belirtilen manyetik ekvator bölgesinde bir enerji artışı meydana gelmektedir. Bu bölgedeki, Yer'in manyetik alanının H bileşeni, çember akım şiddetine bağlı olarak değişir. D_{st} indisi bu düzensizliğin direkt ölçüsüdür. 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 [67, 68].

3.5.8. 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.

$$\Delta F = \Delta H \sin\beta + \Delta D \cos\beta, \quad (\beta = \varphi_g + \delta + UT + \theta) \quad (3.4)$$

ΔF kutup şapkaları boyunca akan auroral elektrojet akımının sakin durum ile aktif durum arasındaki farkının ölçüsüdür. Bu bağıntıdaki ΔH ve ΔD , H ve D bileşenlerinin sakin durumdan sapmalarını; φ_g , istasyonun coğrafik enlemini; δ , istasyonun ortalama sapmasını; UT, 360/24 ile çarpılarak dereceye dönüştürülmüş evrensel zamanı; θ ise, akım vektörünün yerel öğlen vaktinde yaptığı ortalama açıdır [59, 65-68].

Tablo 3.7'de, yukarıda tanımlanan jeomanyetik indislerin ölçüm yöntemleri, ölçüm zamanları, dezavantajları ve geçerlilik süreleri hakkında bilgi verilmiştir.

Tablo 3.7. Jeomanyetik indislere ait özellikler [65]

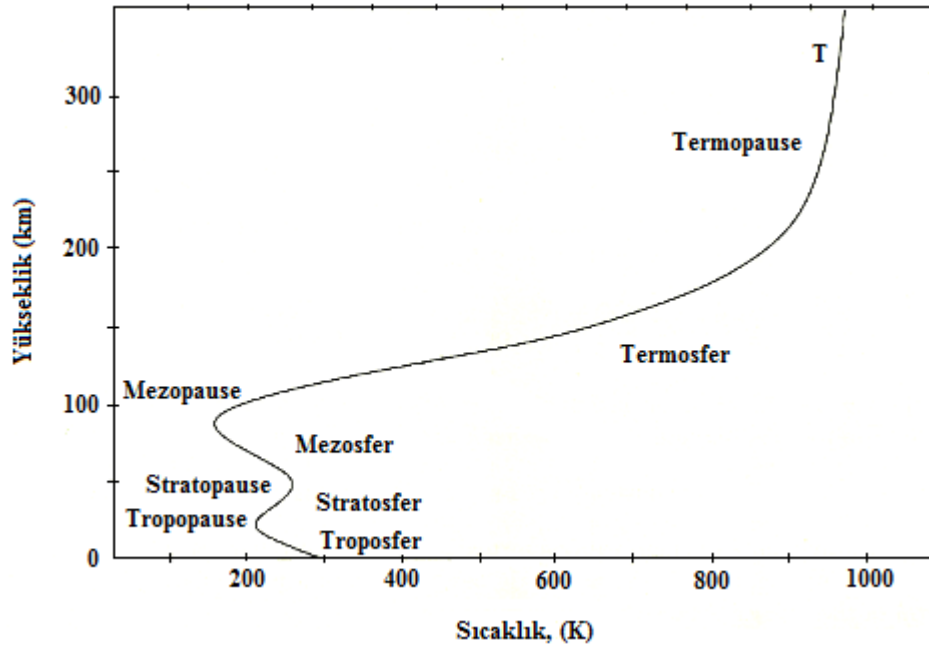
İndis	Türetilme Metodu	Zaman Aralığı	Dezavantajları	Geçerlilik
Düzenli ve düzensiz jeomanyetik değişimler arasındaki farklılıkları belirtir. K indisi, tek bir istasyonu temsil eder.	Tek bir istasyondaki verilerle K indisinin günlük değişimi çıkarılabilir.	3 saat	İndisin, değerlendirmesindeki Problem, günlük değişimlerin, düzeltilmesinde, özel doğruların belirleyici rol oynamasıdır.	İndis rasathaneye bağlıdır.
K_p Yer'e ait bir indis değeri vermek için tanıtılmıştır. 13 rasathaneden elde edilen K indislerinin ortalamasıyla elde edilir.	K_p katkıda bulunan rasathanelerde çıkarılan K indislerinin ortalamasıyla türetilir. Günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı değildir.	3 saat	-Asya boylamlarında istasyon yokluğu -Güney yarım kürede az istasyon oluşu -Kutup bölgesindeki istasyonların kapalı olması	1932'den bugüne kadar veriler mevcuttur.
A_p K_p 'den lineer bir indis elde etmek için tanımlanmıştır.	a_p indisinin bir gündeki 8 değerinin aritmetik ortalamasından türetilmiştir.	3 saat	-Asya boylamlarında 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 tanıtılmıştır ve onlara aynı zamanda auroral elektrojet indisleri de denir.	AO indisi: $AO=1/2(AU+AL)$ iken, AE indisi, AU ve AL indisleri arasındaki farktan türetilir.	1 ya da 2,5 dakika	Şu andaki kutup bölgesinde bulunan istasyon ağı, enlem ve boylamda ideal bir dağılım meydana getirememesi	1957-1978 yılları arasında, saatlik AE indisleri 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_{st} Ekvatorial elektrojet akımının bir ölçüsüdür.	D_{st} , düşük enlem ölçüm istasyonlarında jeomanyetik alanın H bileşeni kullanılarak türetilir. Her istasyon için sakin gün değişimi ihmal edilir	1 saat	D_{st} '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. ATMOSFER VE İYONOSFER

Atmosfer, Yer’i 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. 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 parçacıkları etkisi altına aldığı manyetosfer olmak üzere üç bölgeye ayrılır. Atmosfer, farklı sıcaklıklara sahip bölgelerden dolayı sürekli olarak hareket halindedir. Isınan hava yükselir ve yüksekliği azalan soğuk hava tarafından yeri doldurulur. Bu çevirim hem düşey hem de yatay düzlemde meydana gelmektedir [1- 4, 6].

4.1. Sıcaklık Profilleri

Atmosfer karmaşık bir yapıya sahip olduğundan dolayı bu yapıyı daha iyi anlamak için bazı fiziksel parametrelere göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırmalardan en yaygını olanı atmosferik sıcaklığın düşey yöndeki değişiminin incelenmesidir. Yer atmosferindeki sıcaklığın yükseklikle değişimi Şekil 4.1’de gösterilmektedir [6].



Şekil 4.1. Yer atmosferindeki sıcaklığın yükseklikle değişimi [6]

Canlı yaşamı, troposfer olarak bilinen Yer atmosferinin 10 km den daha düşük yüksekliklerinde bulunur. Bu tabaka yükseklik ile sıcaklığın oldukça sabit oranda azalması

ile tanımlanmaktadır (yaklaşık olarak 1 km de 6,5 °C). Atmosferdeki havanın değişen yoğunluğu, sıcaklığın yükseklik ile değişiminin temel sebebidir. 20. yy başlarından önce sıcaklığın, atmosferin gezegenlerarası uzay ile birleştiği yaklaşık 50 km yüksekliğe kadar sürekli bir şekilde azaldığına inanılmaktaydı. Ancak daha sonra yapılan balon ölçümleri orta enlemlerde yaklaşık 12 km yükseklikte başlayan bir izotermal bölge tespit etmiştir. Sıcaklığın izotermal olmaya başladığı bu seviye tropopause olarak adlandırılmaktadır ve bu bölgenin sıcaklığı yaklaşık -56,5 °C dir [6, 49].

Stratosfer tropopause üzerinde bulunmaktadır. Bu bölgede sıcaklık başlangıçta sabittir (ilk birkaç km için). Daha sonra sıcaklık yüksekliğin artması ile 242 nm dalga boyuna sahip elektromanyetik dalgaların ozon gazı tarafından soğurulmasından kaynaklı olarak tekrar artmaya başlar. Yaklaşık 45-50 km yükseklikte stratopause olarak adlandırılan bölgenin sıcaklığı, Yer yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerine yakın bir değere ulaşmaktadır. Stratosferin üstü mezosferdir ve bu bölgede herhangi bir ısı kaynağı bulunmaması sebebiyle sıcaklık yükseklikle orantılı olarak azalmaktadır. Sıcaklığın en düşük seviyeye ulaştığı 80 ile 90 km arasındaki bölge mezopause olarak adlandırılır. Mezopause tüm atmosferin en soğuk bölgesidir ve sıcaklığı yaklaşık -90 °C dir. Mezopausenin üst bölgesi termosfer olarak adlandırılır. Bu bölgedeki sıcaklık, ultraviyole ve X-ışınlarından kaynaklı olarak yaklaşık 250 km ye kadar artar ve bu yükseklikten sonra sabit bir değere ulaşır. Güneş'in az aktif olduğu dönemlerde, bu yükseklikteki sıcaklık yaklaşık 720 °C, Güneş'in aktif olduğu dönemlerde ise artarak yaklaşık 320 km de 2000 °C ye kadar ulaşır ve yükseklik ile yaklaşık olarak sabit kalır [6. 49, 69-71].

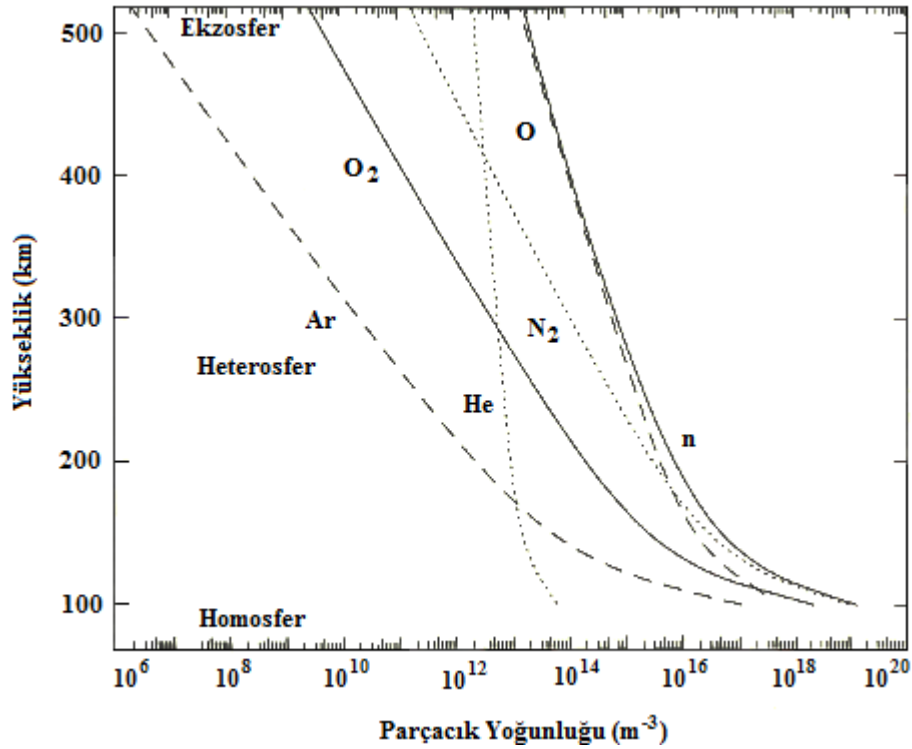
4.2. Kimyasal Yapı

Atmosferdeki atom ve moleküller, sıcaklığa ve kütlelerine bağlı olarak denklem 4.1'de verilen ölçek yüksekliklerine göre farklı yüksekliklerde ve farklı oranlarda bulunmaktadır [69].

$$H = \frac{kT}{mg} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de k Boltzmann sabiti, T sıcaklık, m parçacıkların kütleleri, g yerçekimi ivmesi ve H ölçek yüksekliğini göstermektedir. Atmosfer, sıcaklık değişimine ve farklı yoğunluğa göre homosfer, heterosfer ve ekzosfer olmak üzere üç farklı bölgeye

ayrılmaktadır [4]. Şekil 4.2, bu bölgeleri ve sahip oldukları parçacık yoğunluklarının yükseklikle değişimini göstermektedir.



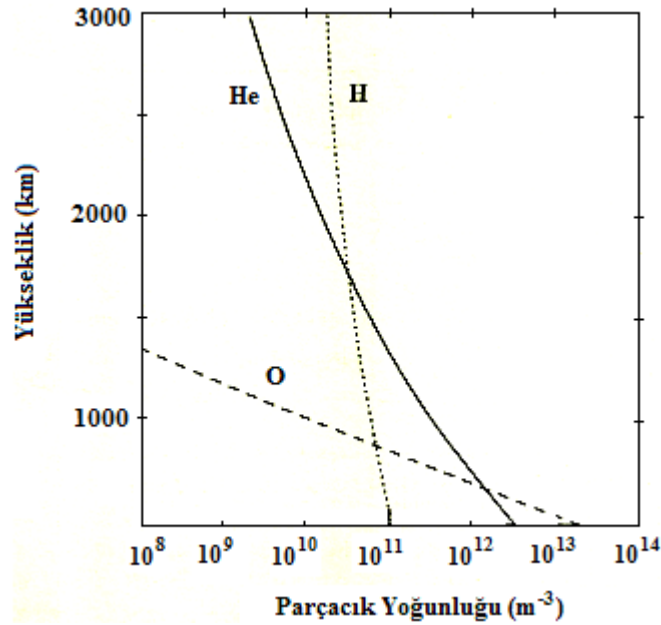
Şekil 4.2. 100 ile 500 km arasındaki parçacık yoğunluklarının yükseklikle değişimi [6]

Homosfer, atmosferin 100 km den daha düşük yükseklikleri olarak tanımlanmaktadır. Bu bölge troposferi, stratosferi ve mezosferi kapsamaktadır. Bu bölgede gazların bağıl yoğunlukları neredeyse sabit kalmaktadır. Homosfer yaklaşık %78 moleküler nitrojen, %21 moleküler oksijen ve %1 oranında argon, karbondioksit ve su buharından oluşmaktadır. Kimyasal bileşenlerin yükseklikle bu değişmezliği, bölgenin adının konulmasında belirleyici olmuştur. Stratopausenin altında küçük fakat önemli oranda ozon bulunmaktadır. Bu tabaka bazen ozonosfer olarak adlandırılmaktadır. Ozon, Güneş'ten gelen 2900 Å dan daha düşük dalga boyuna sahip ultraviyole ışınların yaklaşık %100 ünü soğurmaktadır. Ozon tabakası Yer üzerindeki canlıları bu radyasyonun etkilerinden korumakta ve stratopausenin ısınmasına neden olmaktadır [4, 49, 70, 71].

Atmosferin 100 km ile 500 km arasındaki bölgesi heterosfer olarak adlandırılmaktadır. Heterosferin temel bileşenleri moleküler nitrojen (N₂, 28), moleküler oksijen (O₂, 32), atomik oksijen (O, 16), argon (Ar, 39), helyum (He, 4) ve atomik hidrojen (H, 1) dir [6].

Bu bileşenleri ağırlıklarına göre büyükten küçüğe doğru Ar, O₂, N₂, O, He ve H şeklinde sıralayabiliriz. Denge durumunda ağır gazların (troposferde baskın olan Ar, O₂ ve N₂) yüksek seviyelerde bulunmamasını bu yüksekliklerde daha hafif olan atomik hidrojen gibi gazların bulunmasını bekleriz. Heterosferin merkezi olan termosfer, 1000 ile 2000 Å dalga boyundaki ultraviyole (UV) ışınlarını soğuran atomik oksijen tarafından ısınmaktadır. Isınmadaki küçük düzensizlikler yüklü parçacık yağışından (özellikle aurora bölgesi) ve bazı kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır [6].

Heterosferin üstündeki tabaka ekzosfer tabakasıdır. Bu bölgede, ölçek yükseklikleri büyük olan H, O, He gibi hafif gazlar daha büyük yoğunluğa sahiptir. Bu bölgenin parçacık yoğunluğunun yükseklik ile değişimi Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Ekzosfer tabakasındaki parçacık yoğunluğunun yükseklik ile değişimi [6]

Ekzosfer, ortalama serbest yolların büyük olmasından ve yüksek kinetik sıcaklıktan dolayı atmosferik parçacıkların sürekli olarak kaybolduğu (uzaya kaçtığı) bir bölgedir. Bu yüksekliklerdeki çok küçük parçacık yoğunluğu parçacıklar arasındaki mesafenin çok büyük olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin 800 km de atmosferik parçacıkların ortalama serbest yolları yaklaşık olarak 160 km dir. Yer atmosferindeki nötr bir parçacık uzaya kaçmaktan yerçekimi ve çarpışmalar tarafından kurtulmaktadır. Üst atmosferde büyük kinetik sıcaklıklar, parçacıkların büyük bir bölümünün kaçış hızından daha büyük hızlarda seyahat ettiği anlamına gelir. Bu parçacıklar diğer parçacıklar ile çarpışıp enerjisini diğer parçacıklara aktararak kaçış hızından daha düşük hızlarda hareket etmedikçe kolay bir

şekilde uzaya kaçabilirler. Üst atmosferdeki parçacıkların büyük ortalama serbest yolu, olası çarpışma ihtimalini çok düşürür ve bu parçacıkların çoğu uzaya kaçar. Kaçmak için yeterli hıza sahip olmayan parçacıklar ise Güneş'ten gelen UV ışınlarını soğurarak yeterli kinetik sıcaklığa ulaşabilirler ve bunun sonucunda uzaya kaçabilecek enerjiye ulaşmış olurlar. Hidrojen ve helyum gibi daha hafif parçacıklar aynı sıcaklıklarda daha ağır parçacıklardan (N_2 , O_2 , Ar) daha hızlı hareket ederler. Bundan dolayı daha düşük yüksekliklerden daha kolay bir şekilde kaçabilirler [4, 71].

4.3. İyonosfer

Atmosferdeki atom ve moleküllerin Güneş ışınları ve kozmik ışınlar tarafından iyonlaştırılarak, iyonize gazların oluşması ile elde edilen atmosferin bölgesine iyonosfer adı verilir. Bu bölge genellikle eşit sayıda serbest elektron, pozitif iyon ve nötr bileşenlerden oluşmuştur 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 sağlamaktadır [1].

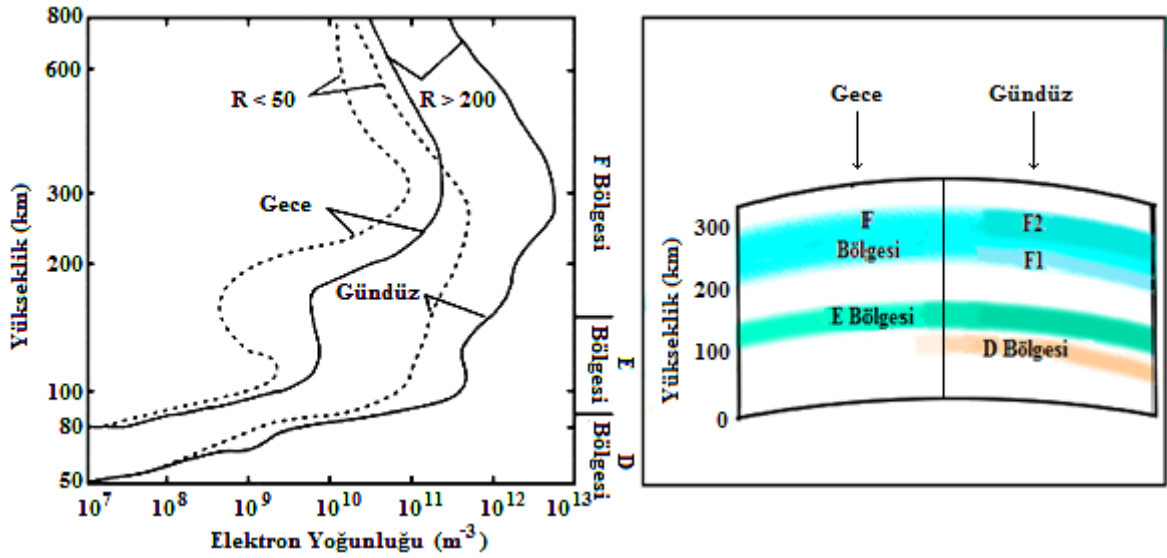
Atmosfer içinde iletken bir tabakanın varlığının anlaşılması yaklaşık bir asır öncesine dayanır. Atmosfer içinde manyetik alan değişimlerinden etkilenen bir iletken tabaka olduğu fikri 1839'da Gauss, 1860'da Kelvin tarafından ileri sürüldü. Marconi'nin 1901'de Cornwall'den yayımlamış olduğu radyo sinyalinin Newfoundland'da alması, Yer iyonosferinin deneysel olarak saptanmasını sağladı. 1902'de Kennelly ve Heaviside, 80 km yükseklikte, yansıtıcı bir iletken katmanın varlığını ileri sürmüşlerdir. 1903 yılında Taylor ve 1906 yılında Fleming, bu tabakaların güneş ışınlarıyla şekillendiğini söylediler. 1925'e doğru Appleton ve Hartree, atmosferde radyo dalgalarının yayılması kuralını ortaya attılar. 1931'de Chapman, güneş ışınımının etkisi altında iyon ve elektronların oluşumunu nicel olarak formüleştirdi. 1960'tan bu güne kadar iyonosfer ile ilgili bilgiler, yapay uydulara yerleştirilen ölçü aygıtları ve iyonsondolar tarafından geliştirilmeye devam etmektedir [1, 3, 4, 6].

4.3.1. İyonosferik Bölgeler

İyonosfer, Yer'den yaklaşık 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olarak belli olmamakla birlikte, He^+ ve H^+ gibi hafif iyonların O^+ iyonu gibi iyonlara baskın olmaya başladığı yükseklikte bittiği kabul edilir. İyonosfer, elektron yoğunluğuna göre D, E, F

olmak üzere üç bölgeye ayrılır. İyonosferdeki elektron yoğunluğu, Güneş aktivitesine, yüksekliğe, enleme, mevsime ve yerel zamana göre değişiklik göstermektedir [6, 59]. Bu bölgelerin yaklaşık yükseklikleri ve sahip oldukları elektron yoğunlukları Şekil 4.4'de gösterilmiştir.

- D Bölgesi : 50-90 km
- E Bölgesi : 90-140 km
- F Bölgesi : 140 km nin üzeri.



Şekil 4.4. İyonosferik tabakalar ve elektron yoğunlukları [71]

4.3.1.1. D bölgesi

D bölgesi, 50 km ile 90 km, bazı kaynaklara göre 95 km arasında kabul edilen iyonosferin en alt bölgesidir. D Bölgesi için iyonisasyonun üç kaynağı vardır [1]. Bunlar;

1. Güneşten gelen X-ışınları
2. Kozmik ışınlar
3. Güneşten gelen Lyman- α ışınlarıdır.

X-ışınları ve kozmik ışınlar atmosferin tümünde iyonlaşmanın temel sebebidir. D bölgesi 10 Å dalga boyundan küçük X-ışınımı ve 1000 Å dalga boyundan büyük UV (mor ötesi) ışınlardan etkilenir. Bu ışınlardan başka, dalga boyları 1216 Å civarında olan Lyman- α ışınları D bölgesine kadar inip NO molekülünün iyonlaşmasını sağlar. Ayrıca 1028 Å dalga boyundan küçük dalga boyundaki ışınlar, O₂ molekülünün iyonlaşmasını sağlamaktadır. D bölgesindeki temel iyonlar O₂⁺, N₂⁺ ve NO⁺ dir [1, 3, 70, 72, 73].

Bununla birlikte 109 eV den büyük enerjiye sahip yüksek enerjili kozmik ışınlar atmosferde tamamen soğurulmadan D bölgesine kadar inebilmekte ve bu bölgenin alt kısımlarında iyonlaşmaya neden olmaktadır. D bölgesindeki elektron üretimi büyük ölçüde Güneş'in etkisine bağlıdır. Elektron üretimi Güneş'in doğuşu ile birlikte artmaya başlamaktadır. Elektron yoğunluğundaki artış Güneş'in zenit açısı (χ) ile ters orantılıdır. Bundan dolayı en büyük üretim öğlen saatlerinde olmaktadır. Öğlen saatlerinden sonra elektron yoğunluğunda başlayan azalma, Güneş'in doğuşuna kadar devam etmektedir. Gece boyunca bu bölge kayıplar yüzünden yok olur. Bu kayıplara yeniden birleşmede denilebilir. Bu yüzden D bölgesinden sadece gündüz saatlerinde bahsedilebilir. Bu bölge, HF (3-30 MHz) radyo dalgalarını kırmazken, yüklü parçacıklar ile nötr parçacıklar arasındaki çarpışmaların fazla olmasından dolayı onları soğurur ve zayıflatır. Bu bölge daha çok düşük frekanslı (VLF) dalgaları yansıtır [6, 49, 69, 70].

4.3.1.2. E bölgesi

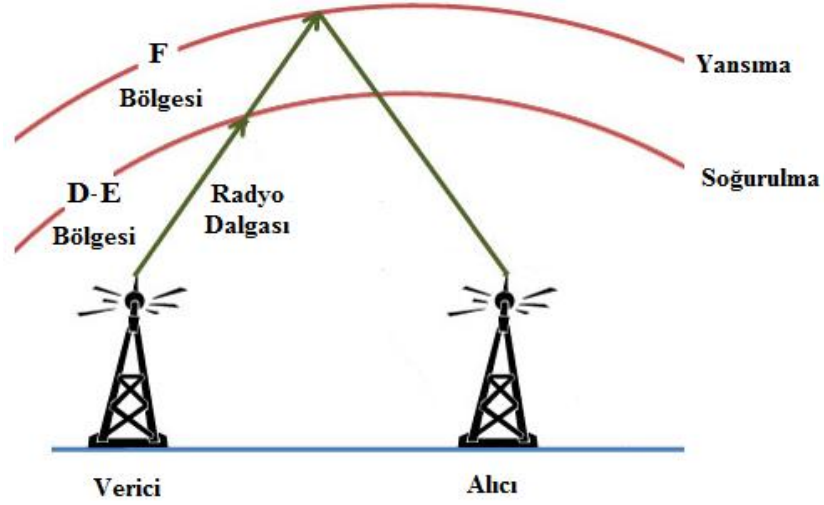
E bölgesi, 90 km ile 140 km, bazı kaynaklara göre 95 km ile 150 km arasında kabul edilen iyonosferin D bölgesinden sonra gelen bölgesidir. E tabakası iyonlaşması, 1-20 nm dalga boylu ışınlarla ve yaklaşık 80-103 nm dalga boylu UV (mor ötesi) ışınlarla olabilir. Bu ışınlar, O₂ ve N₂ moleküllerini 125 km de maksimum iyonlaştırmaktadır. İyonlaşma aynı zamanda elektron üretimi demek olduğundan, E bölgesindeki maksimum elektron yoğunluğu da bu yüksekliklerde ölçülmüştür [70, 72-74].

E bölgesinde en fazla NO⁺ iyonu bulunmaktadır. Daha sonra sıra ile O₂⁺, O⁺ ve N₂⁺ iyonları çok fazla miktarda bulunmaktadır. Gece saatlerinde bu bölgenin elektron yoğunluğu azalır. Gece saatlerinde oluşan iyonlaşmanın nedeni kozmik ışınlar ve manyetosferdeki parçacıklardır [1, 3].

4.3.1.3. F bölgesi

İyonosferin 140 km den (bazı kaynaklara göre 150 km den) başlayan bölgesidir. F bölgesinin üst sınırı kesin olarak belli olmamakla beraber H⁺ ve He⁺ gibi hafif iyonların O⁺ iyonuna baskın olmaya başladıkları yükseklik olarak kabul edilmektedir. Gündüz saatlerinde iyonosferin F bölgesi F1 ve F2 olmak üzere iki tabakaya ayrılır. 140-210 km arası F1 bölgesi, 210 km nin üzeri ise F2 bölgesi olarak tanımlanmaktadır. F2 bölgesinin üst sınırı ise 450-500 km civarı kabul edilebilir. Gece saatlerinde ise bu iki tabaka, kayıp süreçlerinden dolayı birleşip tek bir tabaka haline gelir [1,3, 6, 59, 70, 72-74].

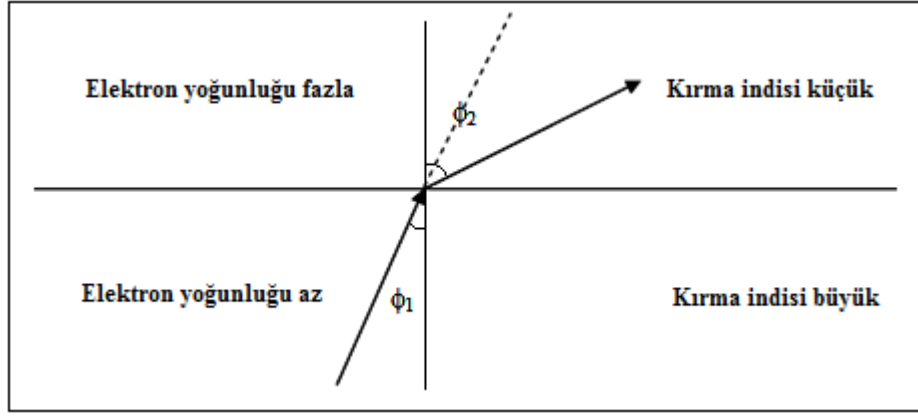
200-800 Å arasındaki UV ışınları temel iyonlaşma kaynağıdır. Bununla birlikte X-ışınlarının da iyonlaşmaya katkı sağladığı bilinmektedir. 200-800 Å arasındaki dalga boylu UV ışınlarının 160-180 km arasında büyük bir çoğunluğu emilmekte O_2^+ ve N_2^+ iyonlarını oluşturmaktadır. F1 bölgesinde O_2^+ ve NO^+ iyonları bulunurken, ikinci dereceden O^+ ve N^+ iyonları bulunur. F2 bölgesinde ise O^+ temel iyondur. Bunun yanı sıra F2 bölgesinde H^+ , He^+ ve N^+ iyonları da bulunmaktadır. Elektron üretiminde D ve E bölgeleri için foto-kimyasal süreçler baskın iken, F2 bölgesi için ise dinamik süreçler daha baskın bir yapıya sahiptir. Elektron yoğunluğu 200-300 km arasında maksimumdur. Elektron yoğunluğunun maksimum olduğu bölge F2 tepesidir. F2 bölgesinin en önemli özelliği, radyo haberleşmelerinde kullanılan HF (yüksek frekanslı, 3-30 MHz) dalgaların bu bölgeden yansmasıdır [1, 3, 6, 72-77]. Yüksek frekanslı dalgalar üzerine iyonosferik bölgelerin etkileri Şekil 4.5’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yüksek frekanslı dalgalar üzerine iyonosferik bölgelerin etkileri [76]

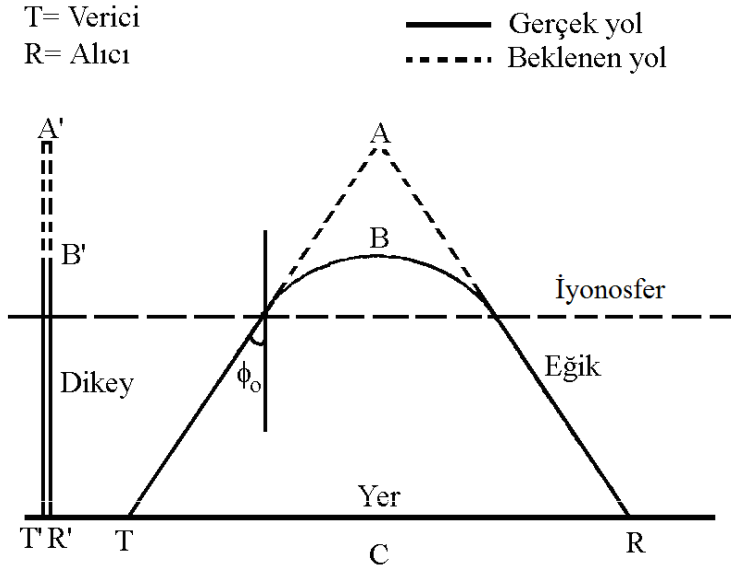
4.3.2. Dalgaların Yansımaya Mekanizması ve Kritik Frekans (f_oF2)

Herhangi bir dalga, kırma indisi büyük olan bölgeden kırma indisi küçük olan bölgeye geçerken, normal doğrultudan uzaklaşacak şekilde kırılmaya uğrar. Elektron yoğunluğu yükseklikle birlikte artarken, ortamın kırılma indisi ise buna bağlı olarak azalır. Şekil 4.6, kırma indisleri farklı iki ortam arasında kırılan dalganın yapısını göstermektedir [67].



Şekil 4.6. Değişken ortamlarda kırılmanın yapısı ($\phi_2 > \phi_1$) [67]

Şekil 4.7, ϕ_0 açısı ile iyonosfere dikey ve eğik gönderilen dalganın iyonosferden yansımalarını göstermektedir. A veya A' noktası, dalganın yansyacağı tahmini yükseklik veya sanal yüksekliktir. Bu yükseklik $h'F_2$ ve bu yükseklikte yansyabilecek en büyük dalga frekansı yani kritik frekans ise ordinari dalga için f_oF_2 olarak tanımlanmaktadır [78].



Şekil 4.7. Yer ve iyonosfer düzlemi için denklik teoremi [78].

B veya B' noktası ise, dalganın yansdığı gerçek yüksekliktir. Bu yükseklikte elektron yoğunluğu maksimumdur. Bu yükseklik, tepe yüksekliği olarak adlandırılıp h_mF_2 şeklinde sembolize edilir ve bu yükseklikten yansıyan dalganın frekansı, f_oF_2 olarak tanımlanmaktadır. Bu değer, F2 tabakasının kritik frekansı olarak ta adlandırılır [67, 76-78].

İyonosferik plazma içerisine dikey olarak giren ordinari dalganın kırılma indisi,

$$n^2 = 1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} \quad (4.2)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada ω ($=2\pi f$) gönderilen dalganın açısal frekansı ve ω_p ($=\omega_{pe} + \omega_{pi}$) ise plazma ortamının titreşim frekansı olup iyonosferik plazmadaki elektron ve iyonların titreşim frekanslarının toplamıdır [79].

Dalganın yansıma noktası, kırılma indisinin sıfır olduğu nokta olduğu için, dalganın frekansının ortamın titreşim frekansına eşit olduğu noktada dalga yansımaya uğrayacaktır ve herhangi bir zamanda yansımaya uğrayacak maksimum dalga frekansı o andaki maksimum titreşim frekansının olduğu duruma denk düşecektir [79].

$$n^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad 1 - \frac{\omega^2}{\omega_p^2} = 0 \quad (4.3)$$

ve

$$\omega^2 = \omega_p^2 \quad (4.4)$$

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

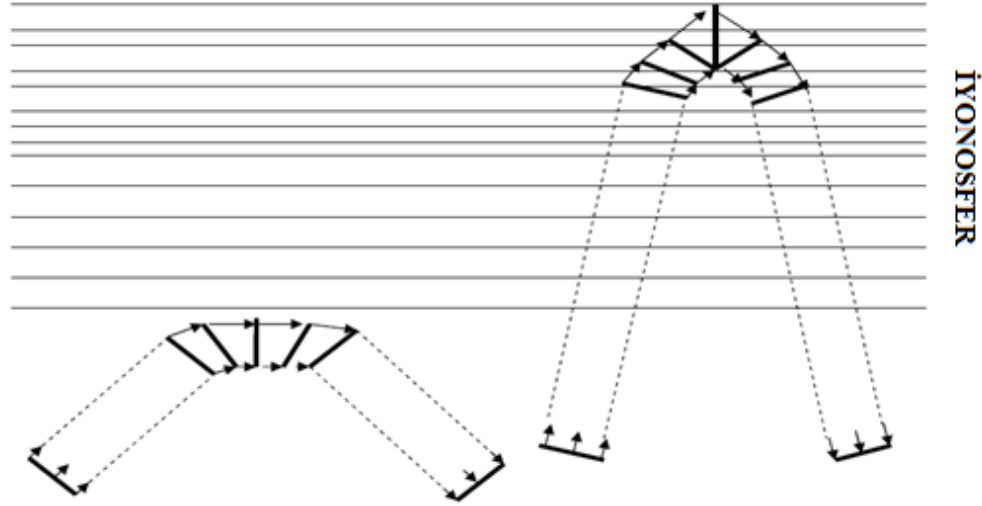
$$foF2 = \sqrt{\frac{\omega_{pe}^2 + \omega_{pi}^2}{4\pi^2}} \quad (4.5)$$

şeklinde tanımlanır [79]. Buradaki elektron ve pozitif iyonların titreşim frekansları aşağıdaki gibidir.

$$\omega_{pe}^2 = \frac{e^2 N_e}{m_e \epsilon_0} \quad \text{ve} \quad \omega_{pi}^2 = \frac{e^2 N_i}{m_i \epsilon_0} \quad (4.6)$$

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 ulaşımına yansımanın gerçekleşebilmesi için dalga daha fazla elektron yoğunluğuna ihtiyaç duyar. Bu da dalganın iyonosferin daha üst bölgesinden

yansımaya neden olur. Şekil 4.8, elektromanyetik dalgaların iyonosfere giriş açılarına bağlı olarak yansıma yüksekliklerinin nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi, dalganın iyonosfere giriş açısı küçüldükçe iyonosferden yansıdığı yükseklik artmaktadır [67, 76, 78].



Şekil 4.8. Eğime bağlı olarak farklı yüksekliklerden yansıyan dalgalar [67]

Buradan elde edilen değer kritik frekans değeridir. Eğer,

$$\omega^2 = \omega_p^2 \Rightarrow \omega = 2\pi f_o F_2$$

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

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

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 ($\phi=0$) 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 yüksekten

geri yansıtılmış olabileceğini hesaplayabiliriz. 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 [67, 76, 78].

4.3.3. Orta Enlem İyonosferindeki Elektromanyetik Sürüklenme

İyonosferdeki elektron yoğunluğu, fotokimyasal süreçlerle artarken, yeniden birleşme süreçleriyle azalmaktadır. Ayrıca, yüklü parçacıklar, atmosferdeki dinamik süreçler yoluyla da bir bölgeden diğer bir bölgeye taşınabilmektedirler. Bu dinamik süreçler, elektron yoğunluğunu azalttığı bölgeler için kayıp, elektron yoğunluğunu artırdığı bölgeler için kazan süreçleridir. Fotokimyasal süreçler, iyonosferin D ve E bölgelerindeki elektron yoğunluğunun değişmesinde en önemli faktördür. F2 bölgesinde ise fotokimyasal süreçlerin yanı sıra dinamik süreçler de etkili olmaktadır [1, 6,72, 80, 81].

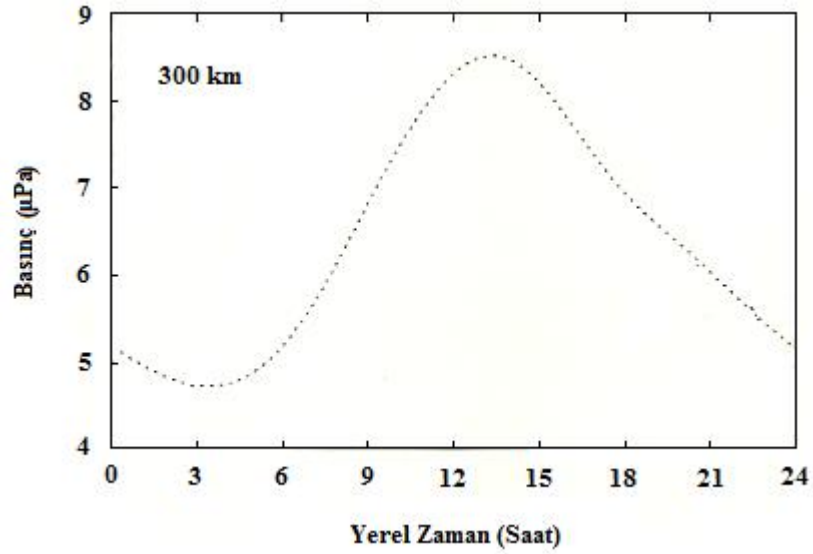
İyonosferdeki elektron yoğunluğunun zamanla değişimi üretim, kayıp mekanizması ve taşıma süreçlerine bağlı olarak, denklem 4.7'deki gibi yazılmaktadır [1].

$$\frac{\partial N}{\partial t} = q - L - \text{div}(NV) \quad (4.7)$$

Burada q üretim süreçlerini, L kayıp süreçlerini, NV ise dinamik süreçleri ifade etmektedir. Dinamik süreçlerin elektron yoğunluğu üzerindeki etkileri yaklaşık 200 km ye kadar az olmaktadır. Elektron yoğunluğunu bu yüksekliğe kadar, üretim ve kayıp süreçleri belirlemektedir. Fakat yaklaşık F2 bölgesi yüksekliklerinde dinamik süreçlerin elektron yoğunluğu üzerindeki etkileri, fotokimyasal süreçlerden daha fazla etkili olmaktadır [1]. Orta enlem iyonosferinin F2 bölgesindeki elektron yoğunluğu üzerinde etkili olan dinamik süreç ise nötr rüzgârlar tarafından meydana gelen elektrik alanının neden olduğu elektromanyetik sürüklenmedir [3, 6, 59].

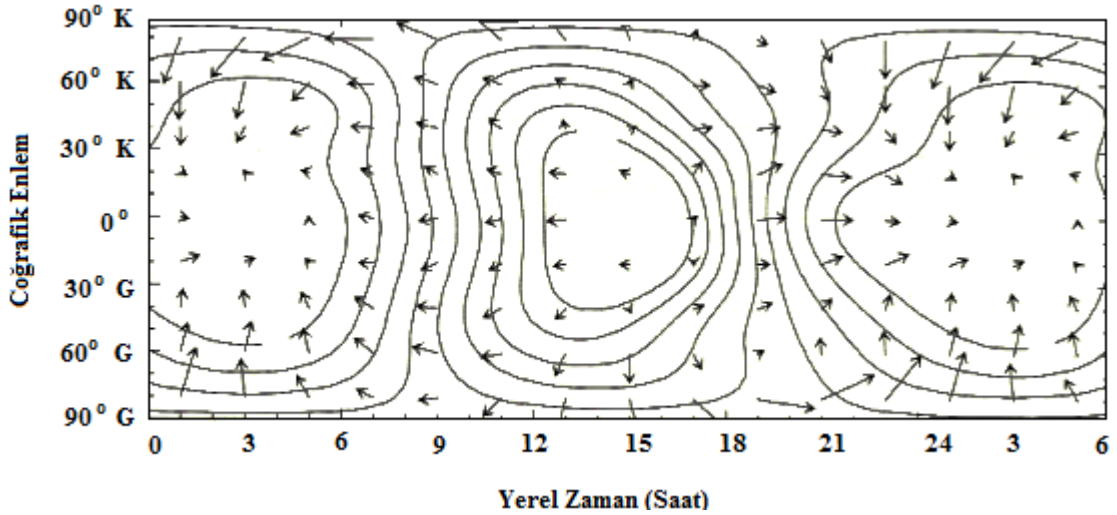
Atmosfer tarafından emilen güneş ışınları, atmosferin sıcaklığının artmasına neden olur. Güneş ışınları atmosferin farklı bölgelerinde farklı oranlarda emildiklerinden dolayı farklı sıcaklık bölgeleri oluşmakta bundan kaynaklı olarak da farklı basınç bölgeleri meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar, orta enlemlerde yaklaşık saat 14:00'de yüksek

basınç, yaklaşık saat 05:00'de ise alçak basınç oluştuğunu ortaya koymaktadır. Bu durum Şekil 4.9'da gösterilmiştir [6].



Şekil 4.9. Yaklaşık 300 km yükseklik için orta enlemlerdeki basıncın günlük değişimi [6]

Gece ve gündüz saatlerindeki bu basınç farkı, yüksek basınçtan alçak basınca doğru esen rüzgârları oluşturmaktadır. Bu rüzgârlar ise nötr rüzgârlar olarak adlandırılmaktadır [1, 6]. Şekil 4.10.'de yaklaşık 300 km meydana gelen nötr rüzgârlar gösterilmiştir.



Şekil 4.10. Nötr rüzgârların farklı yerel zamanlardaki yönelimleri [6]

Rüzgârlar yatay yönde hareket etmelerine rağmen, iyon ve elektronları Yer'in manyetik alanı boyunca hareket ettirirler. Bu nedenle F2 bölgesinde etkili olan hız, rüzgârın manyetik alanı boyunca izdüşümünün düşey bileşenidir [1, 6].

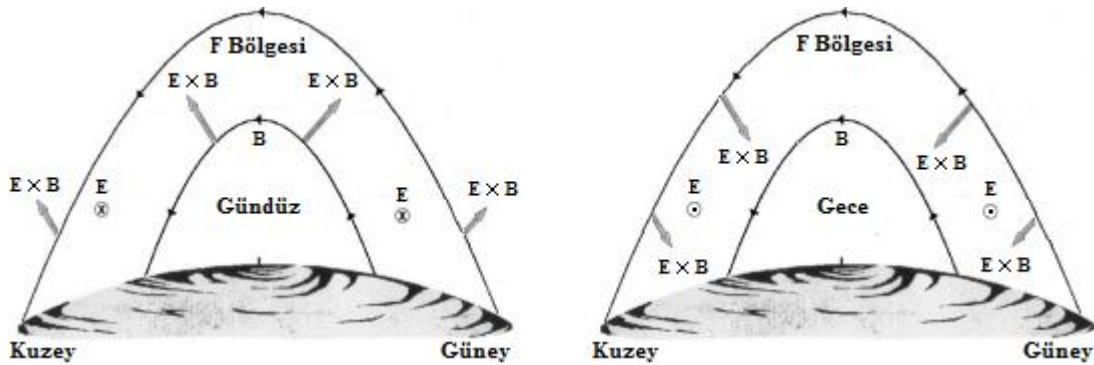
Nötr rüzgârların iyon ve elektronları Yer'in manyetik alan çizgisi boyunca sürüklenmesi sonucunda denklem 4.8 ile verilen bir \mathbf{E} oluşur.

$$\mathbf{E} = \mathbf{U}_n \times \mathbf{B} \quad (4.8)$$

Denklemdaki \mathbf{U}_n , nötr rüzgârların hız vektörüdür. Bu elektrik alandan kaynaklanan akım, yüklerin kutuplaşmasına etki ederek yeni bir elektrostatik alana neden olur. Bu alan, nötr rüzgârların gündüz saatlerinde ekvatorдан kutuplara doğru hareketinden dolayı doğuya doğru, nötr rüzgârların gece saatlerinde kutuplardan ekvatora doğru olmasından dolayı ise batıya doğrudur. \mathbf{B} manyetik alana dik olan \mathbf{E} elektrik alanı, parçacıkları manyetik alana dik olarak hareket ettirir. Bu hız, denklem 4.9'daki gibi tanımlanmaktadır [1, 3, 4, 6].

$$\mathbf{V} = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2} \quad (4.9)$$

Şekil 4.11'de gösterildiği gibi gündüz, elektrik alan doğuya doğru olduğundan elektronların hızı (\mathbf{V}_e) yukarı doğru olmakta ve F2-bölgesini yukarı kaldırmakta; gece saatlerinde ise elektrik alanın yönü batıya doğru olduğundan \mathbf{V}_e hızının yönü aşağı doğru olmaktadır. Bu nedenle orta enlemlerde ve yüksek enlemlerde meydana gelen bu sürüklenme gündüz saatlerinde iyonosfer tabakasındaki elektron yoğunluğunun artmasına, gece saatlerinde ise azalmasına neden olmaktadır. Bu etki, jeomanyetik fırtınalar boyunca Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki artmaya bağlı olarak daha belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir. Elektromanyetik sürüklenmenin etkisi, yüksek enlem bölgesinde manyetik alanın yatay bileşenindeki azalmadan kaynaklı olarak orta enlem bölgesine göre daha az hissedilmektedir [1, 6, 80, 81].

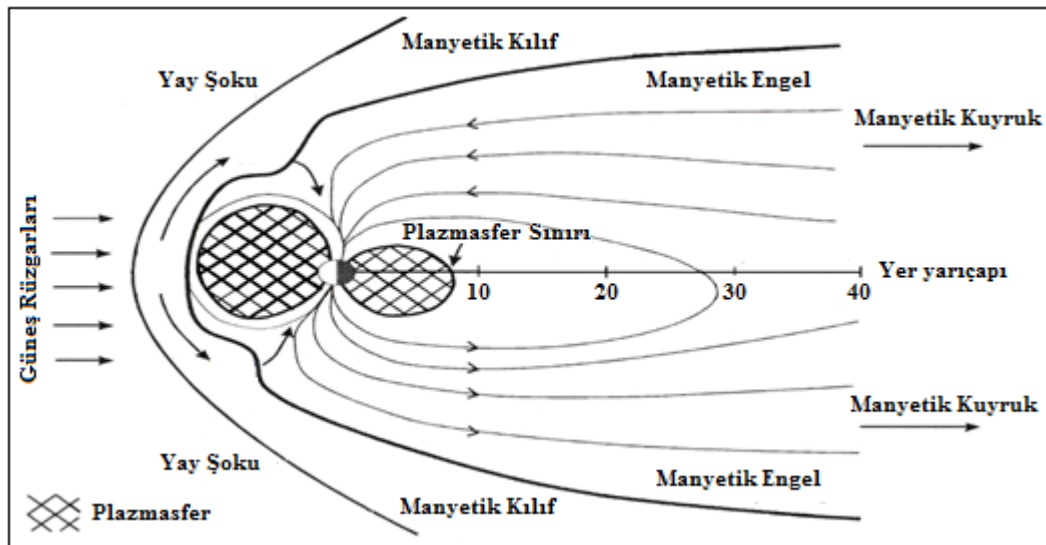


Şekil 4.11. Gündüz ve gece saatleri için F bölgesindeki sürüklenmenin yönleri [6]

5. ORTA ENLEM ELEKTRON YOĞUNLUĞU ÇUKURU

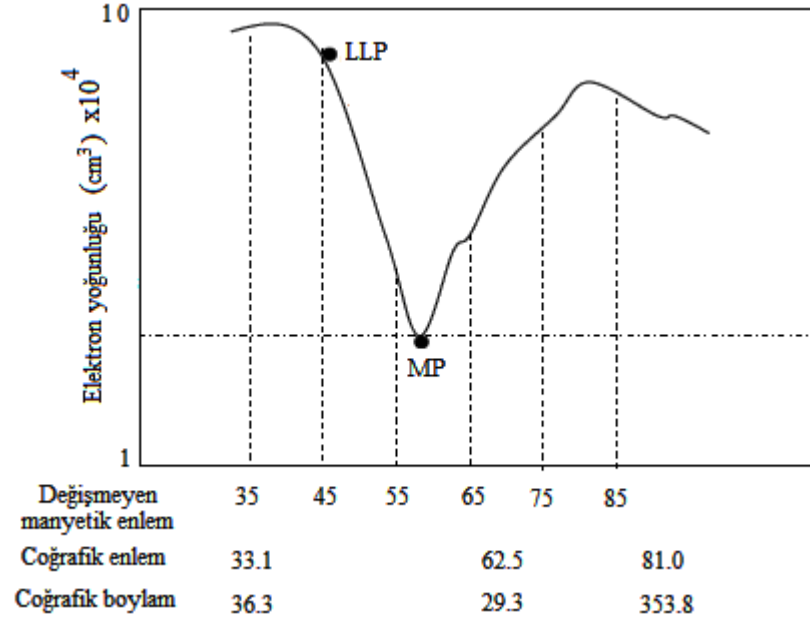
Güneş rüzgârlarından kaynaklı jeomanyetik fırtınalar, Yer'in manyetik ile etkileşerek manyetosfer üzerinde önemli düzensizlikler meydana getirir. Manyetosferde meydana gelen bu düzensizlikler, iyonosfer bölgesindeki elektron yoğunluğunda büyük ve ani değişimlere neden olur. Elektron yoğunluğunda meydana gelen bu değişim, özellikle 30° - 70° değişmeyen manyetik enlemler arasında azalma veya çukur olarak ortaya çıkmaktadır. Yaklaşık 550 km yükseklikte manyetik orta enlem bölgesindeki elektron yoğunluğunda gözlemlenen bu azalma, orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmıştır. İlk olarak 1960-1972 yılları arasında Ariel 3 ve Ariel 4 uydularından elde edilen elektron yoğunluğu verilerinin analizleri sonucunda, bu yapının nitel tanımlaması yapılmış ve nicel ölçütleri geliştirilmiştir. Bu çalışmalara bağlı olarak, günümüze kadar uydulardan ve yer istasyonlarından elde edilen elektron yoğunluğu verileri ile yapılan analizlerden, bu çukurun temel sebebinin manyetosferik plazma sınırının iyonosferik bir izdüşümü olduğu ortaya konmuştur [8-48].

Şekil 5.1'de görüldüğü gibi bu sınır, Güneş rüzgârlarının taşıdığı yüksek enerjili yüklü parçacıkların hapsoldüğü plazmasfer bölgesini, manyetosferden ayıran bir tabakadır ve manyetosferik bölgeden iyonosferin düşük yüksekliklerine kadar uzanmaktadır. Manyetosfer ve plazmasfer sınırı arasındaki bölgenin temel fiziksel özelliği, manyetik alan çizgileri sayısındaki azalmadır. Manyetik alan çizgilerinin sayısındaki azalmaya bağlı olarak bu bölgede hapsolan yüklü parçacıkların yoğunluğunda da bir azalma meydana gelmektedir. Elektron yoğunluğunda gözlemlenen bu azalma ise orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılmaktadır [8-48].



Şekil 5.1. Plazmasfer ve plazmasfer sınırının yapısı [60]

Elektron yoğunluğu çukuru bölgesinin belirlenmesinde yerel saat, değişmeyen manyetik enlem, elektron yoğunluğu (N_e), jeomanyetik aktivite seviyesi ve mevsimsel değişimler en önemli fiziksel parametrelerdir [67]. Şekil 5.2’de, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun genel görünüşü için bir örnek verilmiştir.



Şekil 5.2. Çukur özelliklerinin verildiği bir çukur örneği [67]

Şekilde görülen LLP noktası, çukurun en düşük enlem konumu (lowest latitude point) olarak adlandırılmaktadır. Bu nokta, elektron yoğunluğu gradyeninin 10 tabanına göre logaritmasının her enlem derecesi için 0.1’den küçük olmaya başladığı nokta olarak tanımlanır. MP noktası ise fiziksel olarak en düşük elektron yoğunluğu değerinin elde edildiği nokta (minimum point) olarak tanımlanır. Matematiksel olarak eğimin işaret değiştirdiği ilk bölge olarak ta tanımlanmaktadır. Bu bölgelerde elektron yoğunluğunun zamana bağlı olarak çok fazla değişiklik göstermesi, çukurun tanımlanması açısından MP noktasının önemini vurgular [10-18].

Elektron yoğunluğunun değişmeyen manyetik enleme göre değişimde gözlemlenen orta enlem elektron yoğunluğu çukurunu tanımlayan üç parametre vardır:

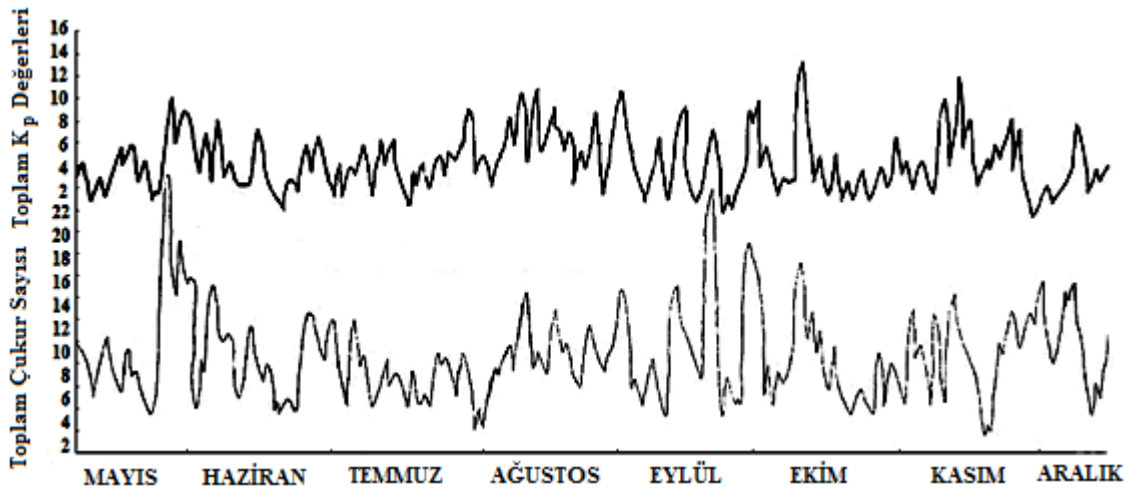
1. Elektron yoğunluğundaki azalmanın sınırlarının her iki yarım kürede de yaklaşık 30° ve 70° değişmeyen manyetik enlemleri arasında olması;
2. Çukur minimumunun her iki tarafındaki (30° veya 70° enlemlerindeki) maksimum elektron yoğunluğu değerinin, çukur minimumundaki elektron yoğunluğu değerine oranının 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 olmasıdır [10-18].

Orta enlem elektron yoğunluğu çukuru, günbatımı (18:00) ile gündeğumu (06:00) arasındaki gece saatleri için orta enlem iyonosferi ve yüksek enlem auroral iyonosferi arasındaki bir bölgede oluşmaktadır. Çukurun gece saatlerinde gözlemlenmesinin temel sebebi, Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi, gece tarafındaki plazmasfer sınırı ile manyetosfer arasındaki bölgenin gündüz saatlerine göre daha geniş bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Gündüz saatlerinde ise bu bölge Güneş rüzgârlarının meydana getirdiği basınca ve plazmasferdeki Güneş rüzgârlarına ters yönde meydana gelen elektromanyetik sürüklenmeye bağlı olarak daralmakta ve neredeyse kapanmaktadır. Gündüz saatlerinde elektron yoğunluğu çukurunun gözlemlenmemesinin diğer sebebi, gün doğumundan kısa bir süre sonra ultraviyole ve X-ışınlarının iyonlaştırıcı etkisine bağlı olarak çukurun elektronlar ile dolmasıdır [10-38].

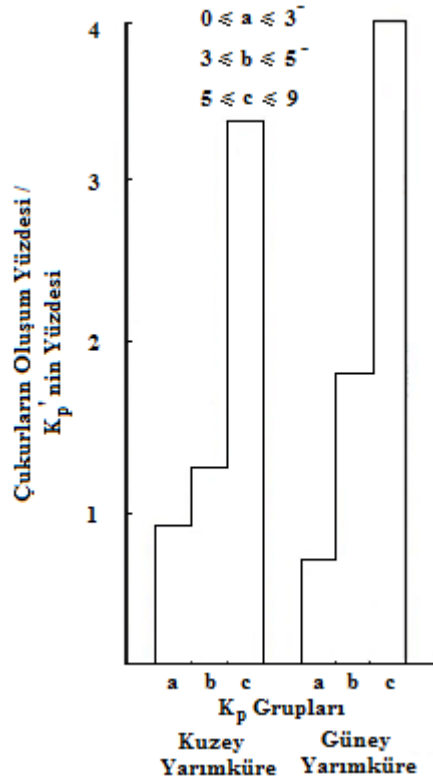
5.1. Manyetik Aktivite ve Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki

Şekil 5.3, 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 göstermektedir. 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 [10-24].



Şekil 5.3. Mayıs-Aralık 1967 süresince çukur sayıları ile K_p arasındaki ilişki [10]

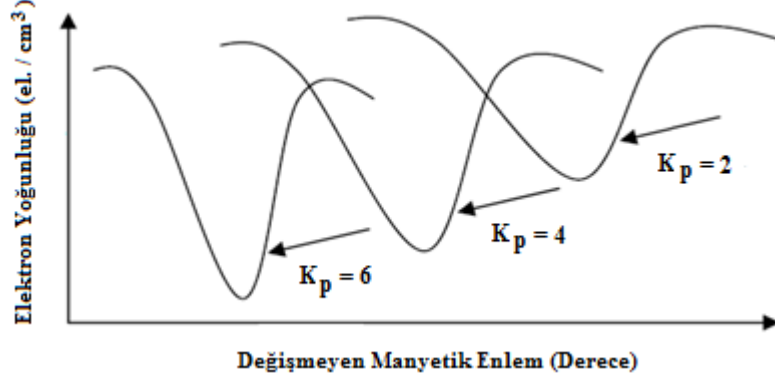
Çukur oluşumu ile K_p arasındaki ilişkiyi gösteren benzer bir analiz sonucu Şekil 5.4’de verilmiştir. Şekilde, K_p indisi, $0 \leq K_p \leq 3^-$, $3 \leq K_p \leq 5^-$ ve $5 \leq K_p \leq 9$ olarak üç gruba ayrılmıştır ve çukurların oluşumu, tüm çukur verileri kullanılarak K_p gruplarının her biri için hem kuzey yarımküreye hem de güney yarımküreye uygulanarak incelenmiştir [10-15]. Şekil 5.4’den, yüksek K_p değerlerinde, daha fazla çukurun oluştuğu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 5.4. 1967 yılı için Güney ve Kuzey yarımkürelerdeki farklı K_p gruplarında meydana gelen çukur sayıları [10]

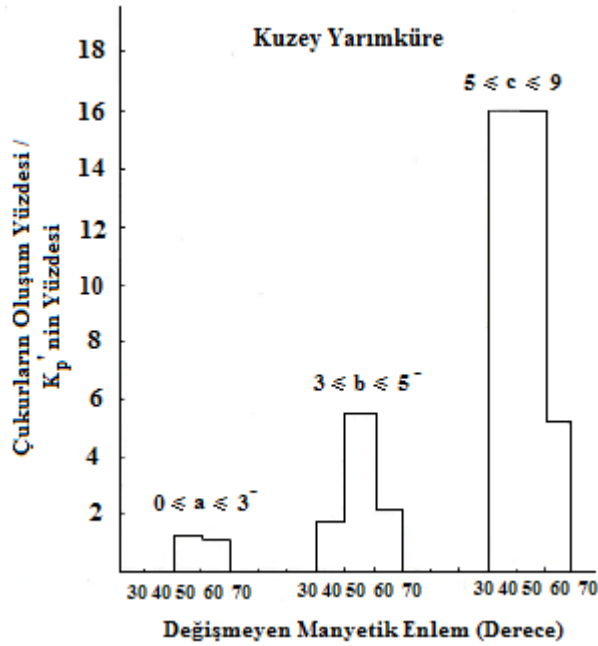
5.2. Manyetik Aktivite İle Çukur Konumu Arasındaki İlişki

Manyetik aktivite artışına bağlı olarak K_p değerinin artması, bölüm 3.4’de verilen plazmasferdeki elektromanyetik sürüklenmenin artmasına neden olur. Elektromanyetik sürüklenmede meydana gelen bu artış, plazmasfer sınırının ve buna bağlı olarak da orta enlem elektron yoğunluğu çukuru bölgesinin ve bu bölgenin minimum noktasının daha düşük değişmeyen manyetik enlemlere (ekvatora) doğru kaymasına ve derinliğinin artmasına neden olur [10-48]. Bu duruma bir örnek Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.5. Elektron yoğunluğu çukurunun K_p değerlerine bağlı değişimi [67]

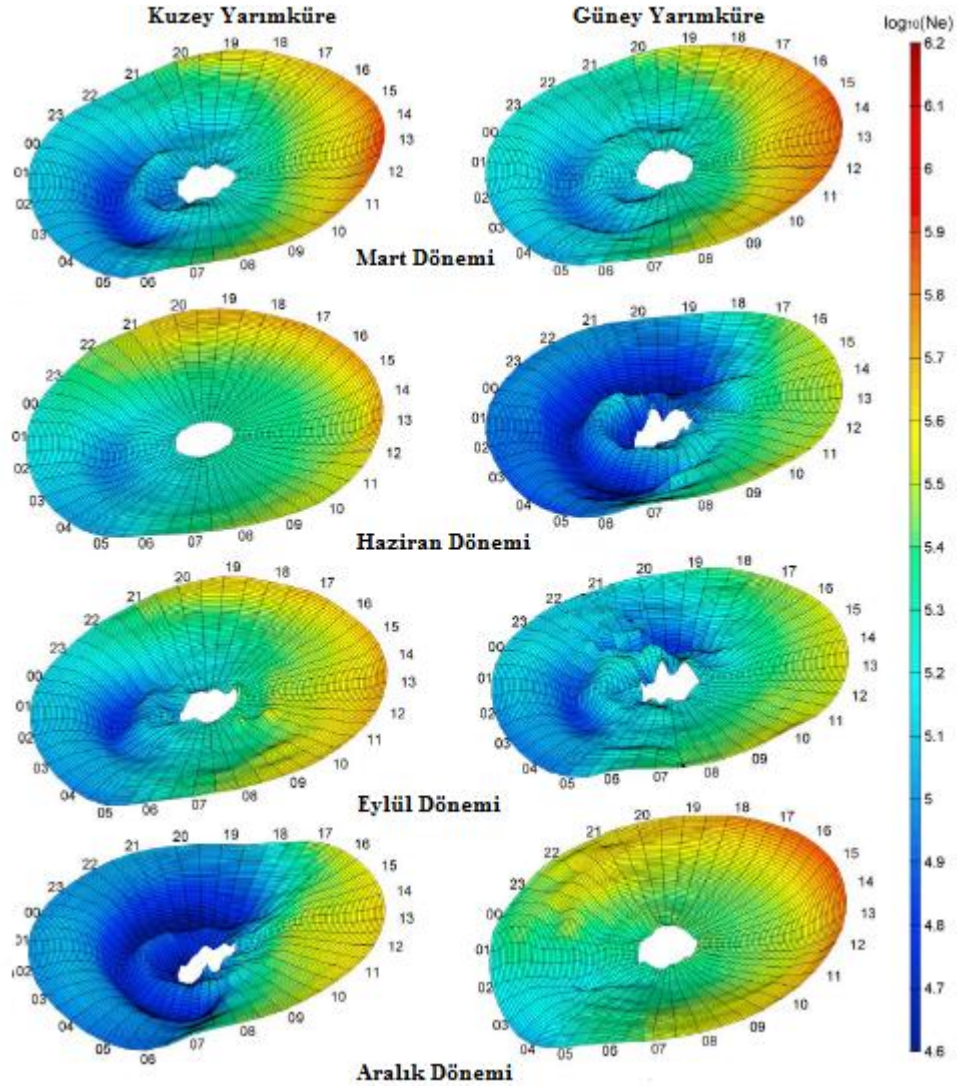
Şekilden de görüldüğü gibi, manyetik aktivite artışı ile çukurun oluştuğu bölgenin ve çukurun minimum noktasının değişmeyen manyetik enlem değerleri ekvatora doğru kaymakta yani azalmaktadır. Ayrıca manyetik aktivite artışı ile çukurun derinliği azalmakta ve daha net bir şekilde gözlemlenmektedir. Şekil 5.6'da, 1967 yılında Ariel-3 uydusundan elde edilen veriler kullanılarak K_p ile çukur konumunun değişimi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekilden, kuzey yarımküredeki çukurların çoğunlukla 50° ve 60° değişmeyen manyetik enlem bölgelerinde meydana geldiği ve K_p artarken düşük enlemlerde meydana gelen çukurların oluşma yüzdesinin de arttığı açıkça görülmektedir [10].



Şekil 5.6. Kuzey yarımkürede gözlemlenen çukur konumlarının K_p ile değişimi [10]

5.3. Mevsimler İle Çukurun Oluşumu Arasındaki İlişki

Orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun oluşumu mevsimsel değişimlere önemli derecede bağlılık göstermektedir. Bu durum, farklı mevsimler için manyetik ekvatorun Güneş'e göre konumunun değişmesinden kaynaklanmaktadır. Yapılan çalışmalar, kuzey yarımküre için orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun en fazla kış ayları boyunca, en az ise yaz ayları boyunca gözlemlendiğini, güney yarımküre için de bu durumun tam tersi şekilde, orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun en fazla yaz ayları boyunca, en az ise kış ayları boyunca gözlemlendiğini ortaya koymaktadır [10-48]. Şekil 5.7, 2008-2009 yılları boyunca 30° - 80° Λ arasında Format 3 uydusunun yaklaşık 600 km yükseklikte farklı mevsimler ve farklı yerel zamanlar için ölçtüğü elektron yoğunluğunun değişimini göstermektedir [48].



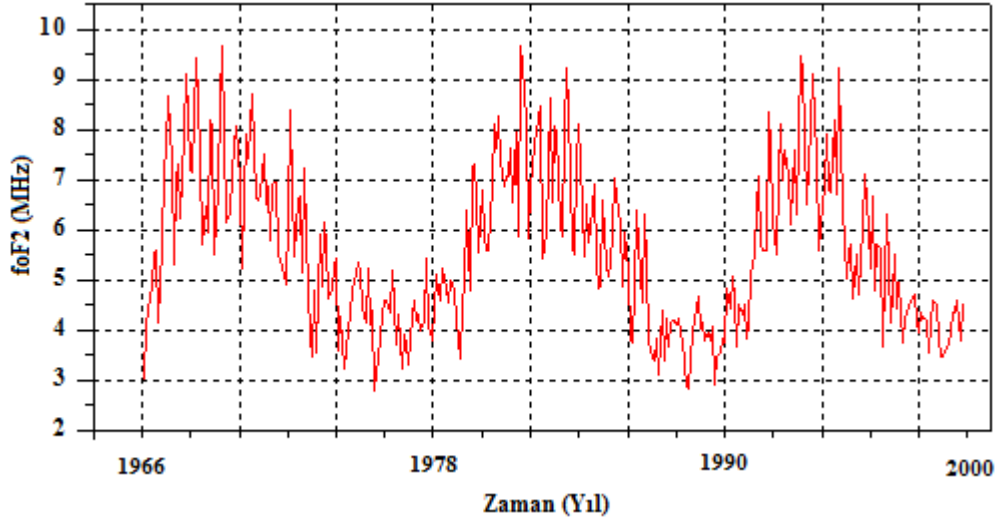
Şekil 5.7. 2008-2009 yılları boyunca 30° - 80° Λ arasında Format 3 uydusunun yaklaşık 600 km yükseklikte farklı mevsimler ve farklı yerel zamanlar için ölçtüğü elektron yoğunluğunun değişimi [48]

Şekilden görüldüğü gibi, orta enlem elektron yoğunluğu çukuru, her iki yarımkürenin tüm mevsimleri için günbatımı ile gündeğumu arasındaki gece saatlerinde meydana gelmektedir. Ayrıca kuzey yarımküre için çukurun en fazla ve net gözlemlendiği mevsim kış aylarını kapsayan Aralık dönemi iken en az gözlemlendiği mevsim ise yaz aylarını kapsayan Haziran dönemidir. Elektron yoğunluğu çukuru, güney yarımküre için ise bu durumun tem tersi bir yapı sergilemektedir [48].

6. İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ

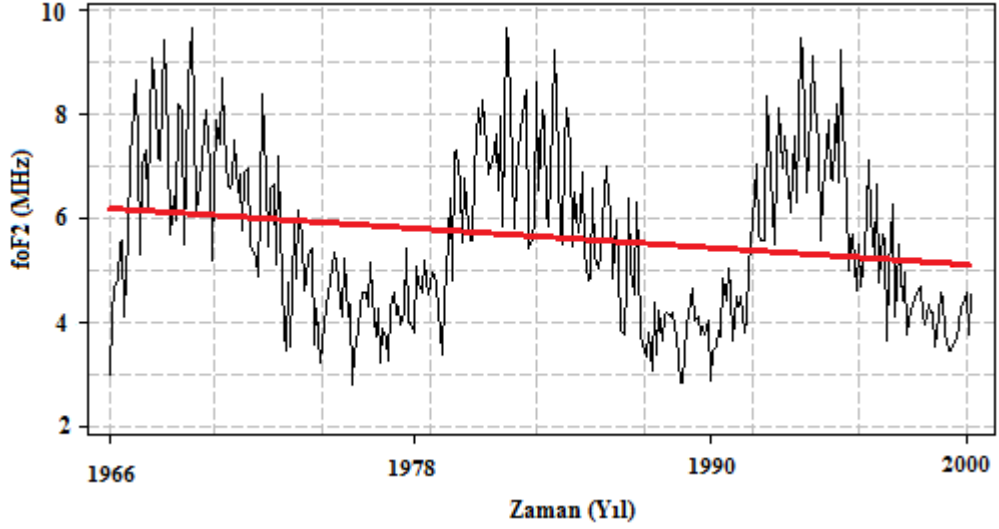
6.1. Zaman Serileri

Zamanla ilişkili bir değişken hakkında elde edilen gözlem değerlerini zamana göre sıralanmış olarak gösteren serilere zaman serisi denir. Eşit aralıklı zaman noktaları saatler, günler, aylar ve yıllar olabilir. Zaman serileri genel olarak kartezyen koordinatlı bir grafikte gösterilir. Belirlenen eşit aralıklı t zaman noktaları ($t = 1, 2, \dots, n$) ile bu zaman noktalarında zamana bağlı y değişkeninin aldığı $y_1, y_2, \dots, y_t, \dots, y_n$ gözlem değerlerini eşleştirmek suretiyle kartezyen koordinat sistemi üzerinde işaretlenen noktaların meydana getirdiği şekle kartezyen grafik adı verilir [82]. Örneğin, Şekil 6.1, 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin zaman serisi grafiğini göstermektedir.



Şekil 6.1. 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin zaman serisi grafiği [83]

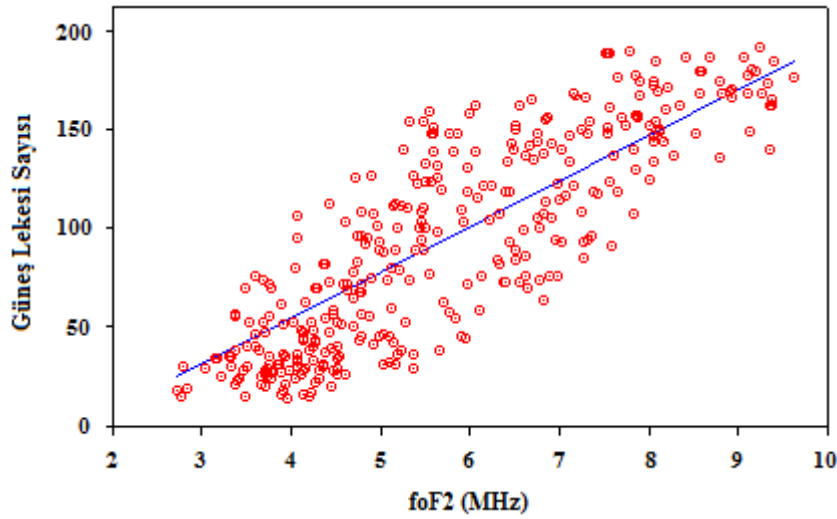
Zaman serilerini etkileyen en önemli faktörler trend ve mevsimsel değişimlerdir. Zaman serisi gözlem değerlerinin uzun zaman döneminde (25 ile 100 yıl) artma ya da azalma yönünde gösterdiği genel eğilime trend adı verilir. Bu eğilimi açıklayan bileşene de trend bileşeni denir. Bir serinin trendi tespit edildiğinde, bundan yararlanarak zaman serisinin gelecek bir dönemde alacağı değer tespit edilebilir. Zaman içinde artış ya da azalış göstermeyen, neredeyse aynı düzeyde kararlılık gösteren serilerin trendi yoktur [82, 84, 85]. Şekil 6.2, 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin trend eğrisini göstermektedir. Şekilden, foF2 değerlerinin azalan doğrusal bir eğilime sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.2. 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerlerinin trend eğrisi

6.2. Serpilme Diyagramı

Serpilme diyagramı, iki farklı değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Aralarındaki ilişkinin sebebi görülmese de, ilgili iki değişken arasında doğrudan bir ilişki bulunup bulunmadığı ve bu ilişkinin ne derece güçlü olduğu görülebilir. Aralarında ilişki bulunan iki değişkenin değerleri diyagramda bir çizgi boyunca uzanacaktır. Karşılık gelen değerler bu çizgiye yaklaştıkça aralarındaki ilişkinin güçlendiği anlaşılır [85]. Şekil 6.3, 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 değerleri ile Güneş lekesi sayısı arasındaki serpilme diyagramını göstermektedir.



Şekil 6.3. 1966-2000 yılları arasında yerel zaman 12:00 için Uppsala istasyonundan alınan foF2 verileri ve Güneş lekesi sayıları arasındaki serpilme diyagramı [83]

6.3. Korelasyon Katsayısı

Korelasyon analizi, iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi veya bir değişkenin iki ya da daha çok değişken ile olan ilişkisini test etmek, varsa bu ilişkinin derecesini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Değişkenler arasındaki ilişkinin derecesi korelasyon katsayısı hesaplanarak elde edilir. Korelasyon katsayısı r ile gösterilmektedir ve denklem 6.1'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu_X)(Y_i - \mu_Y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu_X)^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \mu_Y)^2}} \quad (6.1)$$

μ_x ve μ_y sırası ile X ve Y serilerinin aritmetik ortalamasıdır. r korelasyon katsayısı daima -1 ile 1 arasında değer alır. r değerinin 1'e yakın olması değişkenler arasında güçlü pozitif bir doğrusal ilişki olduğunu işaret eder. Yani, X değişkeninin değerlerinin artması durumunda Y değişkeninin değerlerinin de artması ya da X değişkeninin değerlerinin düşmesi durumunda Y değişkenine ait değerlerin de düşme eğiliminde olduğunu göstermektedir. r değerinin -1 yakın olması ise değişkenler arasında güçlü negatif bir doğrusal ilişki olduğunu işaret eder. Yani, değişkenlerin birine ait değerlerin artması durumunda diğer değişkene ait değerlerin düşmesi demektir. Korelasyon katsayısının 0 olması değişkenler arasında doğrusal bir ilişkinin söz konusu olmadığını gösterir. Korelasyon katsayısı, iki değişken arasında sadece doğrusal ilişkilerin derecesini ölçen bir istatistiksel yöntemdir. Bu katsayı değeri, değişkenlerden hangisinin sebep (bağımsız) hangisinin sonuç (bağımlı) olduğunu belirtmez [86, 87].

6.4. Alt ve Üst Ondabirlik Değerler

Alt ve üst ondabirlik değerleri, serilerin nasıl bir dağılıma sahip olduklarını tespit etmek için kullanılan istatistiksel yöntemdir. Bu değerler hesaplanmadan önce serideki veriler küçükten büyüğe doğru sıralanır ve 10 eşit parçaya bölünür. Ondabirlik değerleri, 10 eşit parçaya bölünmüş serinin dokuz değerinden birisine karşılık gelir ve denklem 6.2'de verilen ifade ile hesaplanır.

$$D_k = L_i + \frac{k F_t - F_{i-1}}{f_i} a_i \quad k=1,2,\dots,9 \quad (6.2)$$

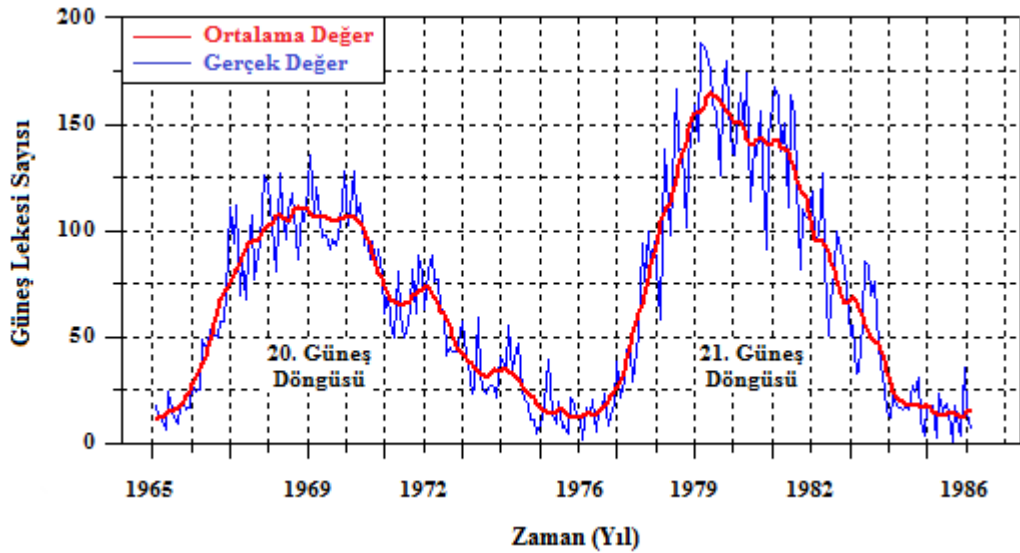
Denklem 6.2’de; L_i , 10 eşit parçaya bölünmüş her gruptaki en küçük veri değerini; F_i , serideki verilerin toplam frekans değerini; F_{i-1} , her gruptan önceki veri grubunun toplam frekans değerini; f_i , her veri grubunun toplam frekans değerini; a_i , 10 eşit parçaya bölünmüş her grubun veri genişliğini göstermektedir. D_1 , serinin alt ondabirlik değerini ifade etmektedir. Bu değer, verinin en aşağı değerinde olan %10’unu kapsar ve bunu daha fazla değerinde olan %90’ından ayırır. D_9 ise serinin üst ondabirlik değerini göstermektedir. Bu değer, verinin en aşağı değerinde olan %90’nını kapsar ve en üst den %10’undan ayırır. Alt ve üst ondabirlik değerler kullanılarak bir serinin normal, sola çarpık veya sağa çarpık dağılımlardan hangisini sergilediği tespit edilebilir [88, 89].

6.5. Üst Üste Binmiş Dönem Analizi

Üst üste binmiş dönem analizi, zaman serilerine uygulanan güçlü istatistiksel bir yöntemdir. Bir veya daha fazla olayın etkisi altında kalmış bir sistemle ilgili ölçülmüş parametrenin değerlerini veren zaman serisinin ortalaması alındığında, olayların bu sistem üzerindeki etkisini ortalama değerlerden görmek çok zordur. Üst üste binmiş dönem analizi, zaman serisinin ölçüldüğü dönem boyunca meydana gelen olayların sistem üzerindeki etkisini tanımlamak ve bu sistemin olaya karşı verdiği tepkinin büyüklüğünü ölçmek için kullanılır. Üst üste binmiş dönem analizini uygulamak için sistemin olaya karşı verdiği tepkinin araştırıldığı veri dönemleri tüm veri setinden çıkartılır. Bu veri dönemleri olay anları referans alınarak sıralanır ve bu değerlerin ortalamaları alınır. Elde edilen sonuç, sistemin tanımlanmış olaya karşı tepkisini verir. Eğer fiziksel süreç boyunca meydana gelen olaylar doğru bir şekilde tanımlanabilirse üst üste binmiş dönem analizinden elde edilen sonuçlar, dinamik bileşenlerin sistem üzerindeki etkisini ortaya koyacaktır [90-97].

7. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, farklı manyetik aktivite durumları için iyonosferik orta enlem foF2 değerlerinin enleme ve zamana bağlı değişimi incelenerek, orta enlem elektron yoğunluğu olarak adlandırılan yapının foF2 üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırılmıştır. Saatlik foF2 verileri, 20. ve 21. Güneş döngülerinde Güneş lekesi sayısının azaldığı 1972-1976 ve 1982-1986 dönemlerini kapsayan yıllar için alınmıştır. Bu yıllar, Güneş aktivitesinin Yer'in manyetosferi ve iyonosferi üzerindeki bozucu etkisinin daha az olmasından ve Ariel 4 uydusunun elektron yoğunluğu ölçümü yapmış olmasından dolayı seçilmiştir. Şekil 7.1, 20. ve 21. Güneş döngüleri için Güneş lekesi sayısının yıllara göre değişimini göstermektedir.



Şekil 7.1. 20. ve 21. Güneş döngüleri için Güneş lekesi sayısının yıllara göre değişimi[99]

Ayrıca manyetik aktivite değişimlerinin foF2 üzerindeki etkisini incelemek için foF2 verilerinin alındığı yıllarda küresel manyetik aktivite durumunu veren 3 saatlik K_p verileri kullanılmıştır. Saatlik foF2 verileri, Avrupa üzerinde orta enlemler (30° K- 70° K) arasında bulunan 7 iyonsonda istasyonundan alınmıştır. Şekil 7.2, istasyonların Avrupa üzerindeki konumlarını, Tablo 7.1 ise bu istasyonların coğrafik ve manyetik enlem-boylam değerlerini göstermektedir. Saatlik foF2 verileri ve 3 saatlik K_p verileri, uzay fiziği etkileşim veri kaynağı (Space Pyhsics Interactive Data Resource) merkezinden elde edilmiştir [83].



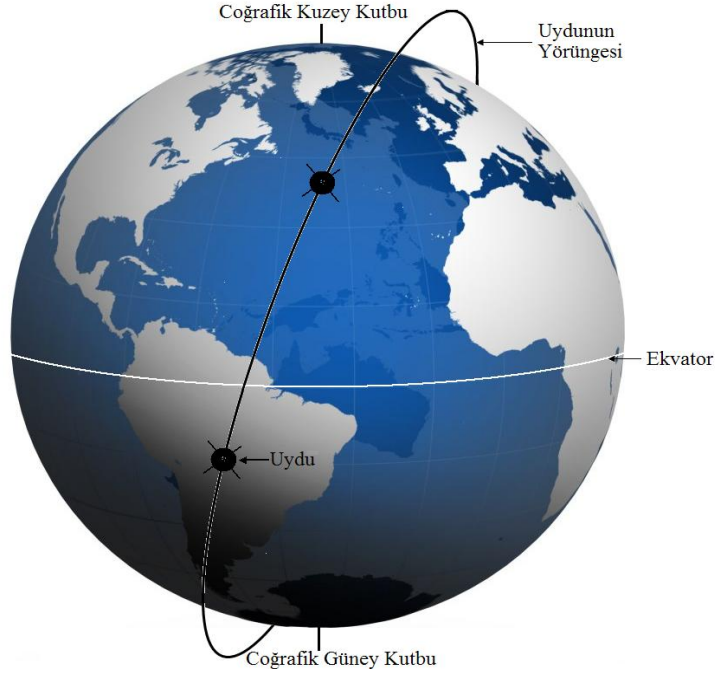
Şekil 7.2. Saatlik foF2 verilerinin alındığı iyonsonda istasyonları [99]

Tablo 7.1. foF2 verilerinin alındığı istasyonların enlem ve boylam değerleri [99]

İstasyon Adı	Coğrafik Enlem	Coğrafik Boylam	Değişmeyen Manyetik Enlem
Sofia	42.7° K	23.4° D	42° K
Bekescsaba	46.7° K	21.2° D	45° K
Miedzeszyn	52.2° K	21.2° D	50° K
Kaliningrad	54.7° K	20.6° D	52° K
Uppsala	59.8° K	17.6° D	57° K
Lycksele	64.7° K	18,8° D	61° K
Kiruna	67.8° K	20.4° D	65° K

Bu çalışmada kullanılan elektron yoğunluğu verileri, 11 Aralık 1971 yılında yörüngeye yerleştirilen Ariel 4 uydusundan elde edilmiştir. Ariel 4 uydusunun en büyük yörünge yüksekliği 611 km, en düşük yörünge yüksekliği ise 472 km dir. Uydunun yörünge düzlemi ile Yer'in ekvator düzlemi arasındaki açı (uydunun eğriliği) 83° dir. Uydu bir turunu yaklaşık 95 dakikada tamamlamaktadır ve Yer etrafındaki bir dolanımı boyunca yaklaşık 24° coğrafik batı boylamı taramaktadır. Bir gün boyunca Yer çevresini 15 kez dolanmaktadır. Ayrıca, uydu yaklaşık 22 günde bir ekvatorun aynı noktasından geçmekte

ve her 84 günde bir aynı yerel zamanda ve aynı coğrafik enlemde bulunmaktadır [23]. Şekil 7.3’de, uydunun Yer’e göre yörüngesi gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Ariel 4 uydusunun Yer’e göre yörüngesi [100]

20. ve 21. Güneş döngülerinin azalan dönemleri için iyonosferik orta enlem foF2 değerlerinin enlemsel olarak zamana bağlı değişimini mevsimlere, yerel zamana ve farklı manyetik aktivite durumlarına göre incelemek için;

1. Doğrusal ara değer bulma (linear interpolation) yöntemi kullanılarak 3 saatlik K_p değerlerinden saatlik K_p değerleri hesaplanmıştır. Böylece her bir yerel zaman için manyetik aktivitenin foF2 üzerindeki etkisi incelenebilmiştir.
2. Mevsimsel değişimlerin iyonosfer üzerindeki etkisini görebilmek için saatlik foF2 verileri ve 3 saatlik K_p verilerinden hesaplanmış saatlik K_p verileri, ekinoks (21 Mart, 23 Eylül) ve gündönümü (21 Haziran, 21 Aralık) tarihlerinin 42 gün öncesini ve 42 gün sonrasını kapsayan (± 42 gün) 85 günlük 4 mevsime ayrılmıştır.
3. Her bir Güneş döngüsü için mevsimlere ayrılmış foF2 verilerinin dağılım grafikleri çizdirilmiş, ayrıca foF2 verilerinin kip (mod), alt ondabirlik ve üst ondabirlik değerleri hesaplanmıştır. Bu istatistiksel veriler kullanılarak farklı mevsimler için foF2 verilerinin nasıl bir yapı sergiledikleri tespit edilmiştir.

4. Mevsimlere ayrılan foF2 verileri, manyetik sakin ($K_p \leq 2^+$) ve manyetik aktif ($K_p > 2^+$) saatlere göre yeniden sınıflandırılmıştır. Böylece manyetik aktivite değişimlerinin foF2 üzerindeki etkisi incelenmiştir.
5. Her bir mevsim için manyetik aktivite durumuna göre sınıflandırılmamış (tüm K_p) foF2 verileri, $K_p \leq 2^+$ durumundaki foF2 verileri ve $K_p > 2^+$ durumundaki foF2 verileri için 5 yıllık ve bu 5 yıllık dönemi kapsayan her saat için ortalama foF2 değerleri hesaplanmıştır.
6. Manyetik aktivite artışının foF2 üzerinde meydana getirdiği etkiyi tespit edebilmek için tüm K_p durumlarını kapsayan ortalama foF2 değerlerinden, $K_p \leq 2^+$ durumunda hesaplanmış ortalama foF2 değerleri çıkarılarak delta foF2 ($\delta foF2$) değerleri hesaplanmıştır. $\delta foF2$ değerlerinin hesabı denklem 7.1 ile verilmiştir [90-98].

$$\delta foF2 = \overline{foF2}_{(Tüm K_p)} - \overline{foF2}_{(K_p \leq 2^+)} \quad (7.1)$$

Denklem 7.1'den elde edilen sonuç, manyetik aktif durumda foF2 değerlerinde meydana gelen değişimi göstermektedir. Bu hesaplamalar tüm istasyonların her mevsiminde elde edilen 5 yıllık ve 5 yılı kapsayan saatlik ortalama foF2 değerleri için yapılmıştır. Böylece manyetik aktivite değişimlerinin farklı mevsim ve farklı yerel zamanlar için foF2 üzerinde meydana getirdiği etki tespit edilmiştir.

7. Her istasyon ve her mevsim için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılım grafikleri çizdirilmiş, ayrıca $\delta foF2$ verilerinin kip (mod), alt ondabirlik ve üst ondabirlik değerleri hesaplanmıştır. Bu istatistiksel veriler kullanılarak farklı mevsim ve farklı enlemlerde manyetik aktivite değişiminin foF2 üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.
8. Farklı mevsim ve farklı enlemlerde manyetik aktivite değişiminin foF2 üzerindeki günlük etkisini inceleyebilmek için her istasyon ve her mevsimde hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin yerel zamana göre grafikleri çizdirilmiştir.
9. Manyetik aktivite artışı anından önceki ve sonraki saatlerde foF2'nun manyetik değişime nasıl tepki verdiğini tespit edebilmek için, manyetik aktivite seviyesinin 2^+ 'dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu saatler olay anı olarak seçilip tüm K_p durumunu kapsayan foF2 verilerine ve $K_p \leq 2^+$ durumunda ölçülmüş foF2 verilerine üst üste binmiş dönem analizi

(superposed epoch analysis) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan her manyetik durum için ortalama foF2 değerleri, bu ortalama foF2 değerlerinden ise δ foF2 değerleri hesaplanmıştır.

10. Her bir istasyon ve her mevsim için ayrı ayrı elde edilen δ foF2 değerlerinin zamanın bir fonksiyonu olarak grafikleri çizdirilmiştir.

11. Ortalama 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin ve iyonsonda istasyonlarından alınan foF2 verilerinin enlemsel değişimleri arasındaki ilişkiyi yerel zamana, manyetik aktivite değişimine ve mevsimlere bağlı olarak incelemek için saatlik foF2 verileri 3'er saatlik 8 yerel zaman gruplarına (YZG) ayrılmıştır. Tablo 7.2, bu 8 yerel zaman grubunu göstermektedir.

Tablo 7.2. 8 yerel zaman grubunun kapsadığı yerel zamanlar

1. Yerel Zaman Grubu	2. Yerel Zaman Grubu	3. Yerel Zaman Grubu	4. Yerel Zaman Grubu	5. Yerel Zaman Grubu	6. Yerel Zaman Grubu	7. Yerel Zaman Grubu	8. Yerel Zaman Grubu
01:00-03:00	04:00-06:00	07:00-09:00	10:00-12:00	13:00-15:00	16:00-18:00	19:00-21:00	22:00-24:00

Her istasyon, her mevsim ve farklı manyetik aktivite durumları ($K_p \leq 2^+$ ve $K_p > 2^+$) için saatlik foF2 verileri 8 yerel zaman grubuna göre sınıflandırıldıktan sonra 3 saatlik foF2 verileri kullanılarak her yerel zaman grubu için ortalama foF2 değerleri hesaplanmıştır.

12. 8 yerel zaman grubu için elde edilen ortalama foF2 değerlerinin, her mevsim ve farklı manyetik aktivite durumu için manyetik enleme göre grafikleri çizdirilmiştir. Böylece farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel olarak nasıl bir yapı sergiledikleri tespit edilmiştir.

13. Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluğunun enlemsel değişimi ile ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimleri arasındaki ilişkiyi tespit edebilmek için, çukurun en iyi şekilde gözlemlendiği Aralık döneminin gece saatleri boyunca farklı enlem değerlerindeki elektron yoğunluğu verileri ve bu saatlerdeki ortalama foF2 değerlerinin serpilme diyagramları çizdirilmiş ayrıca, iki veri arasındaki korelasyon sabiti değerleri farklı yerel zaman grupları için hesaplanmıştır.

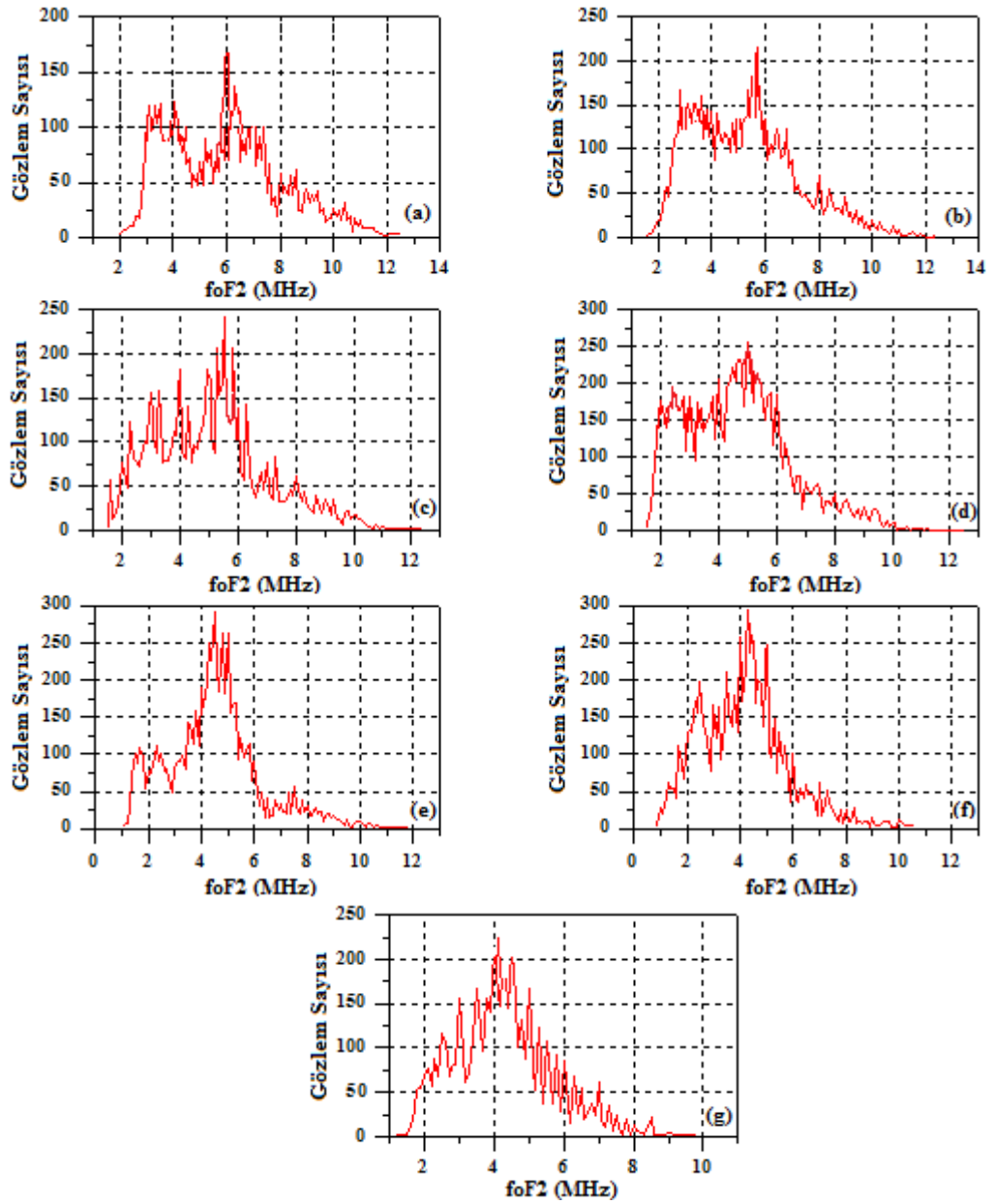
8. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bölüm 6 ile verilen istatistiksel yöntemler ile Bölüm 7’de verilen materyal ve metot kullanılarak, foF2 değerlerinin zamana bağlı enlemsel değişimleri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar elektron yoğunluğunun enleme bağlı değişimleri ile karşılaştırılmıştır.

8.1. 20. Güneş Döngüsü (1972-1976) İçin Analizler

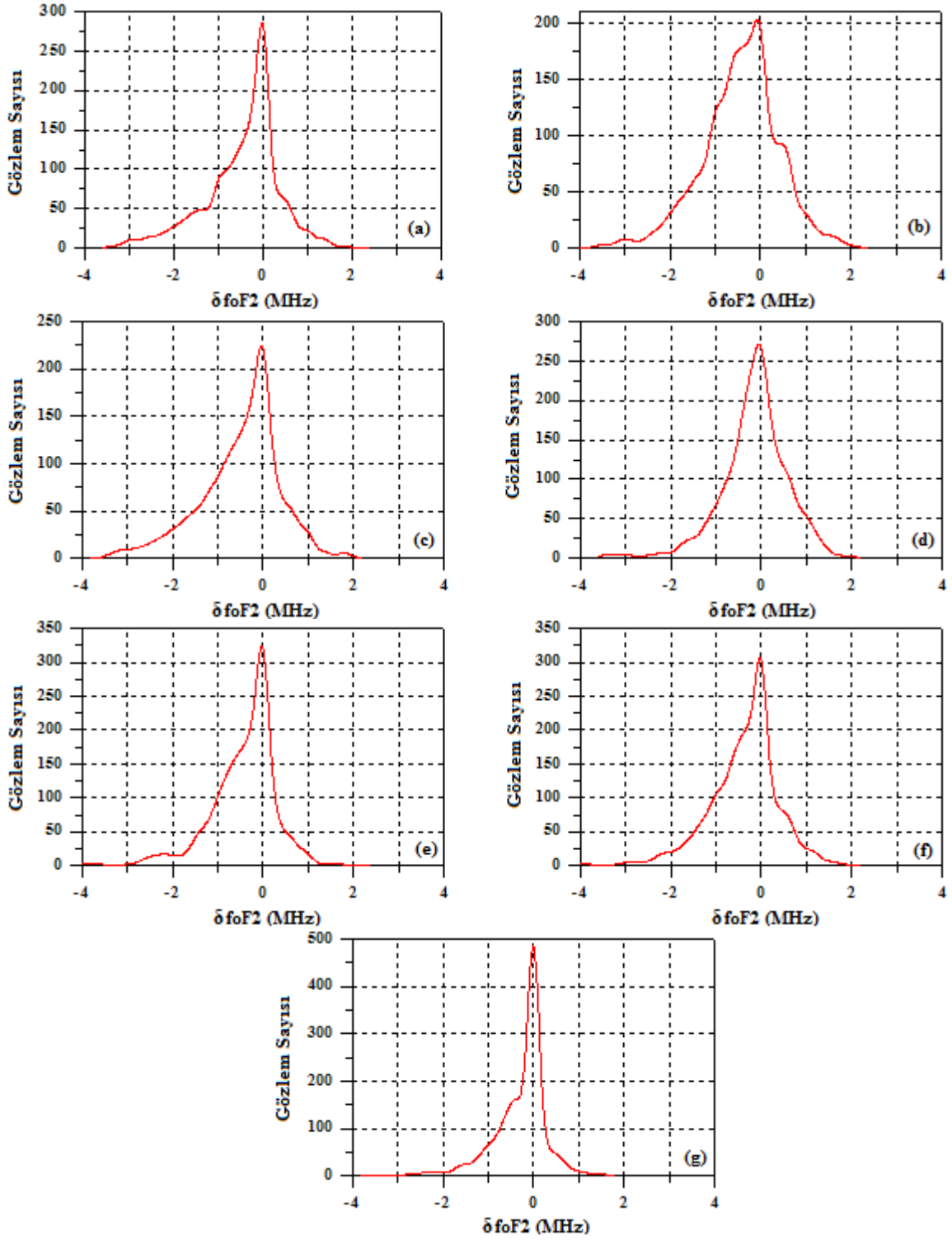
8.1.1. 21 Mart Dönemi

Şekil 8.1, 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan ve tüm saatleri kapsayan foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.1. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

Şekil 8.2, 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan ve tüm saatleri kapsayan foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.2. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

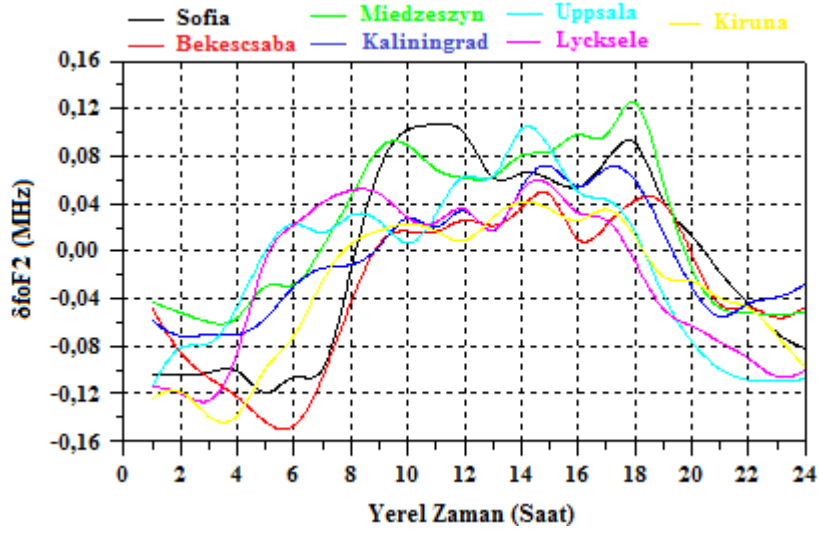
Tablo 8.1, 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.1. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	2.0 - 12.5	6.0	8.9	3.3	-3.43 - 2.45	0.0	0.60	-1.30
Bekescsaba	1.6 - 12.4	5.8	8.0	2.9	-3.8 - 2.3	0.0	0.56	-1.25
Miedzeszyn	1.5 - 12.4	5.7	8.0	2.6	-3.5 - 2.0	0.0	0.50	-1.16
Kaliningrad	1.5 - 12.5	5.0	7.0	2.3	-3.92 - 2.08	0.0	0.41	-0.98
Uppsala	1.1 - 11.8	4.5	6.8	2.1	-4.0 - 2.2	0.0	0.38	-0.95
Lycksele	0.9 - 10.6	4.3	6.3	2.1	-4.0 - 2.1	0.0	0.42	-0.93
Kiruna	1.2 - 9.8	4.1	6.2	1.9	-3.93 - 1.7	0.0	0.33	-0.75

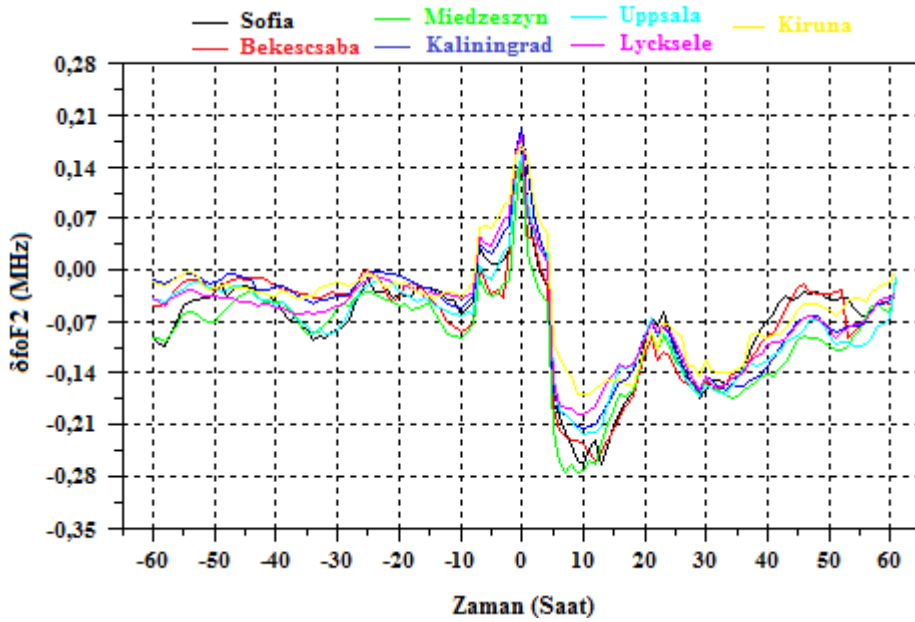
Şekil 8.1 (a-g) ve Tablo 8.1'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 2,0-12,5 MHz, Bekescsaba için 1,6-12,4 MHz, Meidzeszyn için 1,5-12,4 MHz, Kaliningrad için 1,5-12,5 MHz, Uppsala için 1,1-11,8 MHz, Lycksele için 0,9-10,6 MHz ve Kiruna için 1,2-9,8 MHz arasında değerler almaktadır. Yüksek enlemlere doğru gidildikçe, Güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya ve Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlı olarak, sırasıyla foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.2 (a-g) ve Tablo 8.1'i incelediğimizde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu, δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.3, 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi manyetik aktivite artışı ile δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir. Yani manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen bir değişim, farklı enlemler için ölçülmüş foF2 değerlerinin günlük değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.



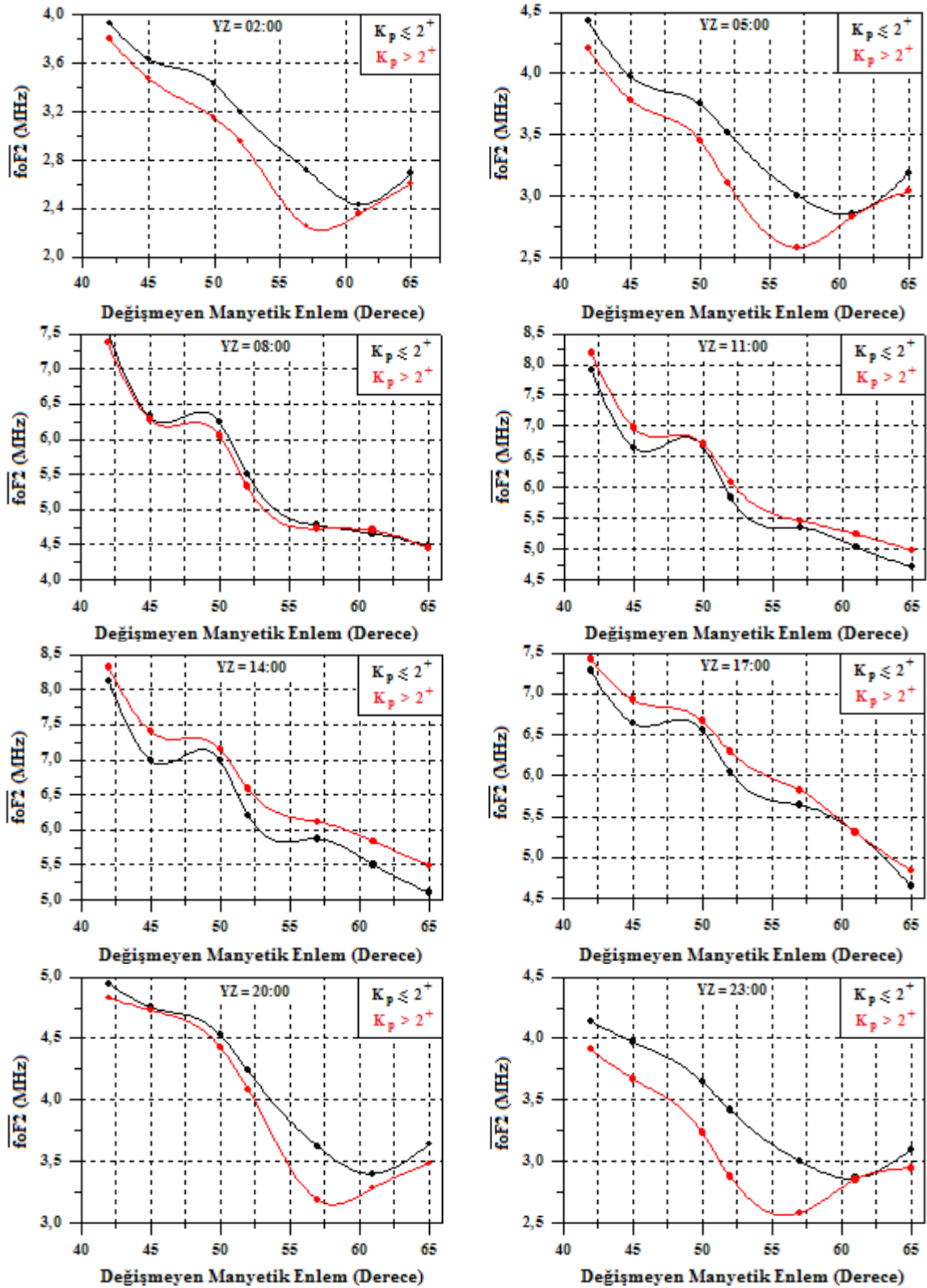
Şekil 8.3. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.4, Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 10 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 60 saat sonra tekrar denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.4. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

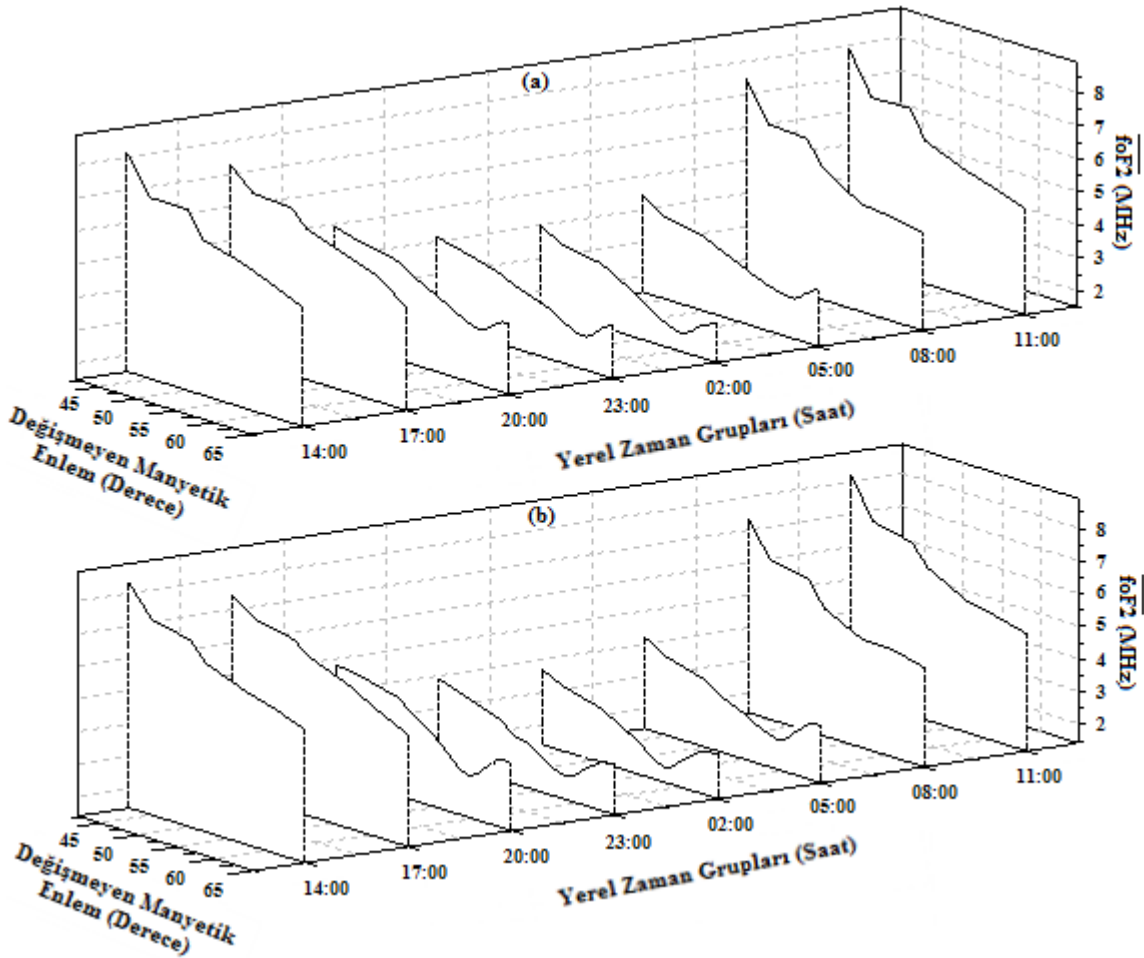
Şekil 8.5, 1972-1976 yıllarının Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.5. 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değışmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.5’de görüldüğü gibi, gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) içinde benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukura benzer yapılar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve bu yapıların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır.

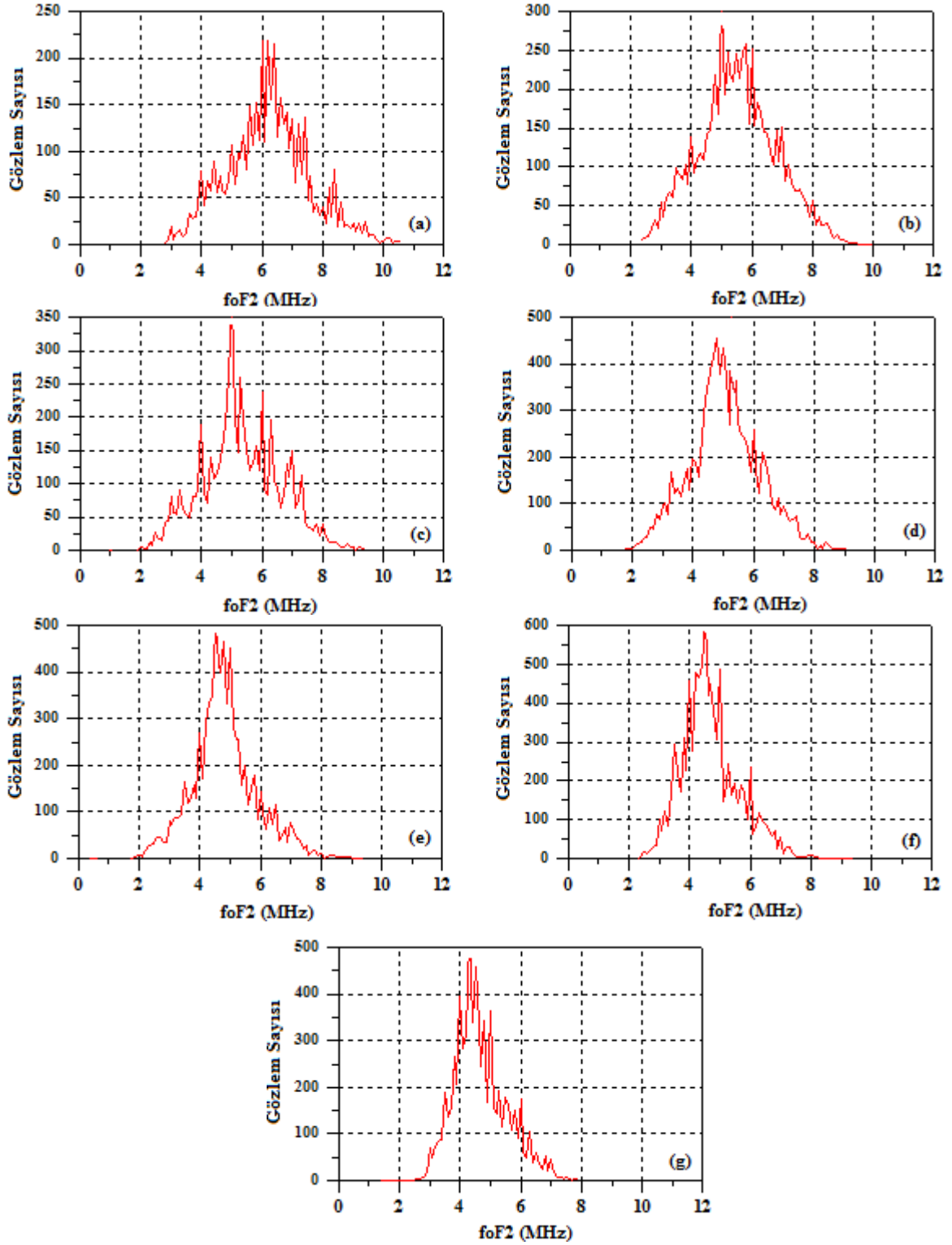
Şekil 8.6, 1972-1976 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.6. 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

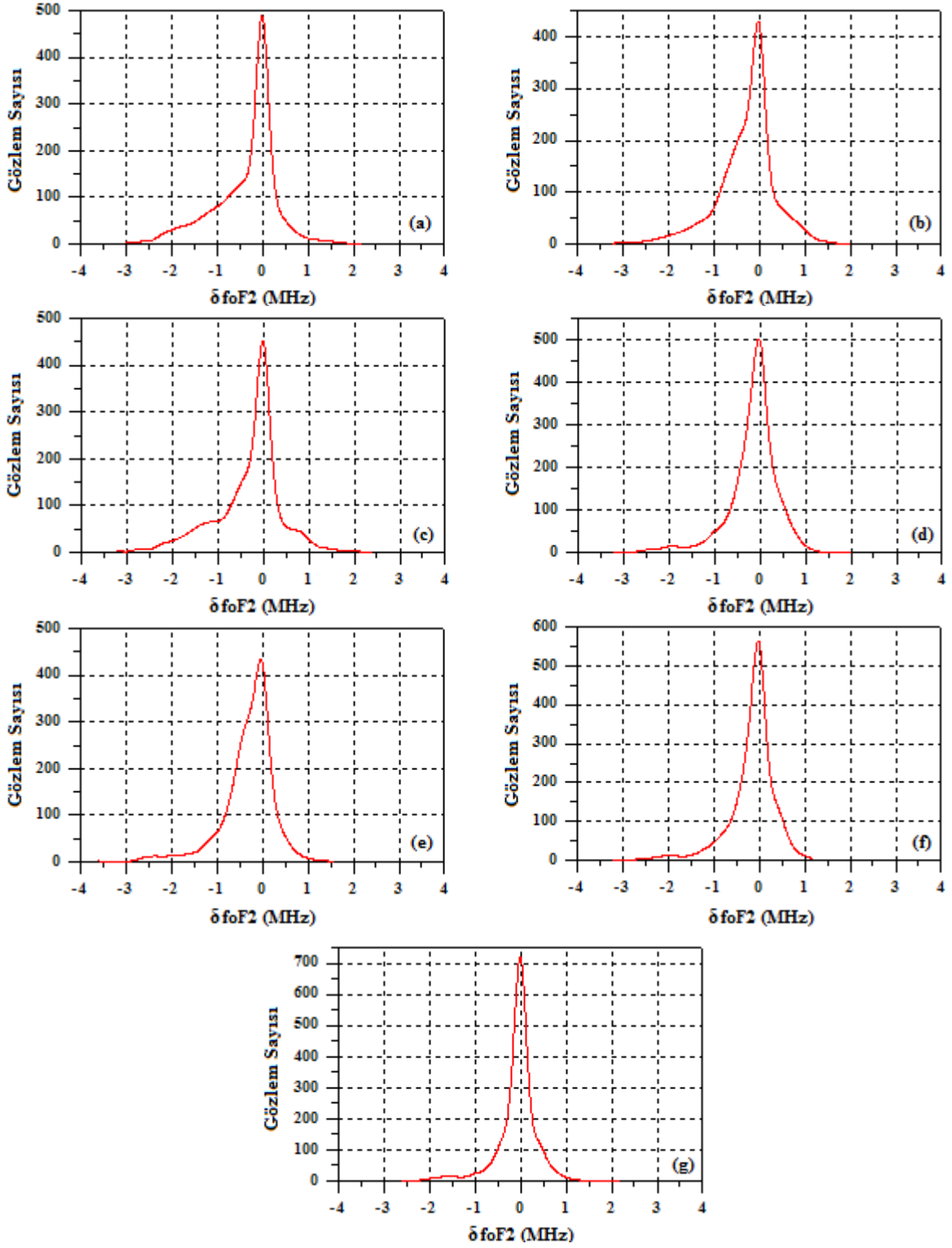
8.1.2. 21 Haziran Dönemi

Şekil 8.7, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.7. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

Şekil 8.8, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.8. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

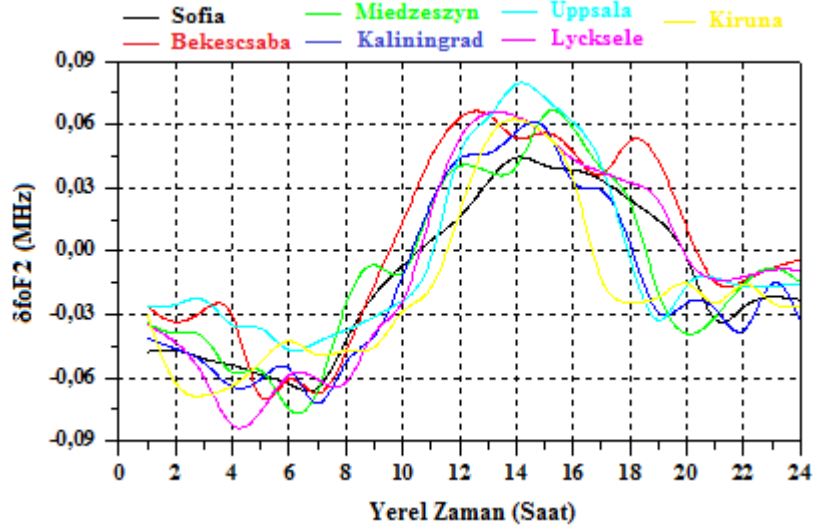
Tablo 8.2, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.2. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	2.8 - 10.6	6.0	8.0	4.4	-2.96 - 2.13	0.0	0.55	-1.56
Bekescsaba	2.4 - 10	5.0	7.2	3.8	-3.14 - 1.85	0.0	0.50	-1.45
Miedzeszyn	1.0 - 9.4	5.0	7.0	3.6	-3.32 - 2.22	0.0	0.40	-1.50
Kaliningrad	1.8 - 9.1	4.8	6.5	3.5	-3.34 - 1.95	0.0	0.30	-1.28
Uppsala	0.4 - 9.4	4.5	6.3	3.5	-3.45 - 1.60	0.0	0.32	-1.22
Lycksele	2.3 - 9.4	4.5	6.0	3.4	-3.28 - 1.18	0.0	0.38	-1.15
Kiruna	1.4 - 7.9	4.3	5.8	3.0	-2.64 - 1.9	0.0	0.28	-0.91

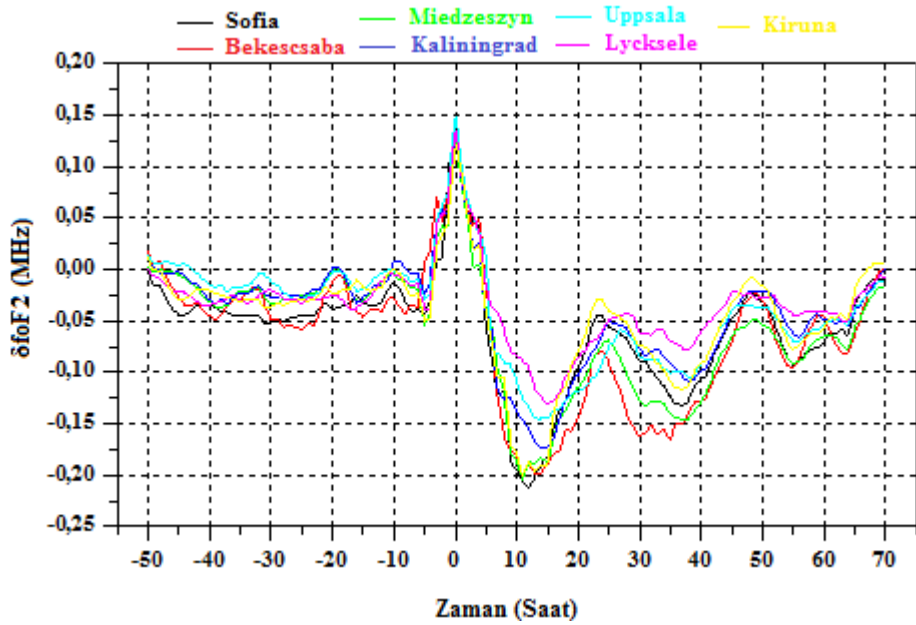
Şekil 8.7 (a-g) ve Tablo 8.2'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 2,8-10,6 MHz, Bekescsaba için 2,4-10 MHz, Meidzeszyn için 1,0-9,4 MHz, Kaliningrad için 1,8-9,1 MHz, Uppsala için 0,4-9,4 MHz, Lycksele için 2,3-9,4 MHz ve Kiruna için 1,4-7,9 MHz arasında değerler almaktadır. Mart dönemine benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, Güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya ve Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlı olarak sırasıyla foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.8 (a-g) ve Tablo 8.2'yi incelediğimizde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı değere sahip olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu sapmalar Mart döneminden farklı olarak daha büyük değerlere sahiptir. Bu δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.9, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Tüm istasyonlar için δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir.



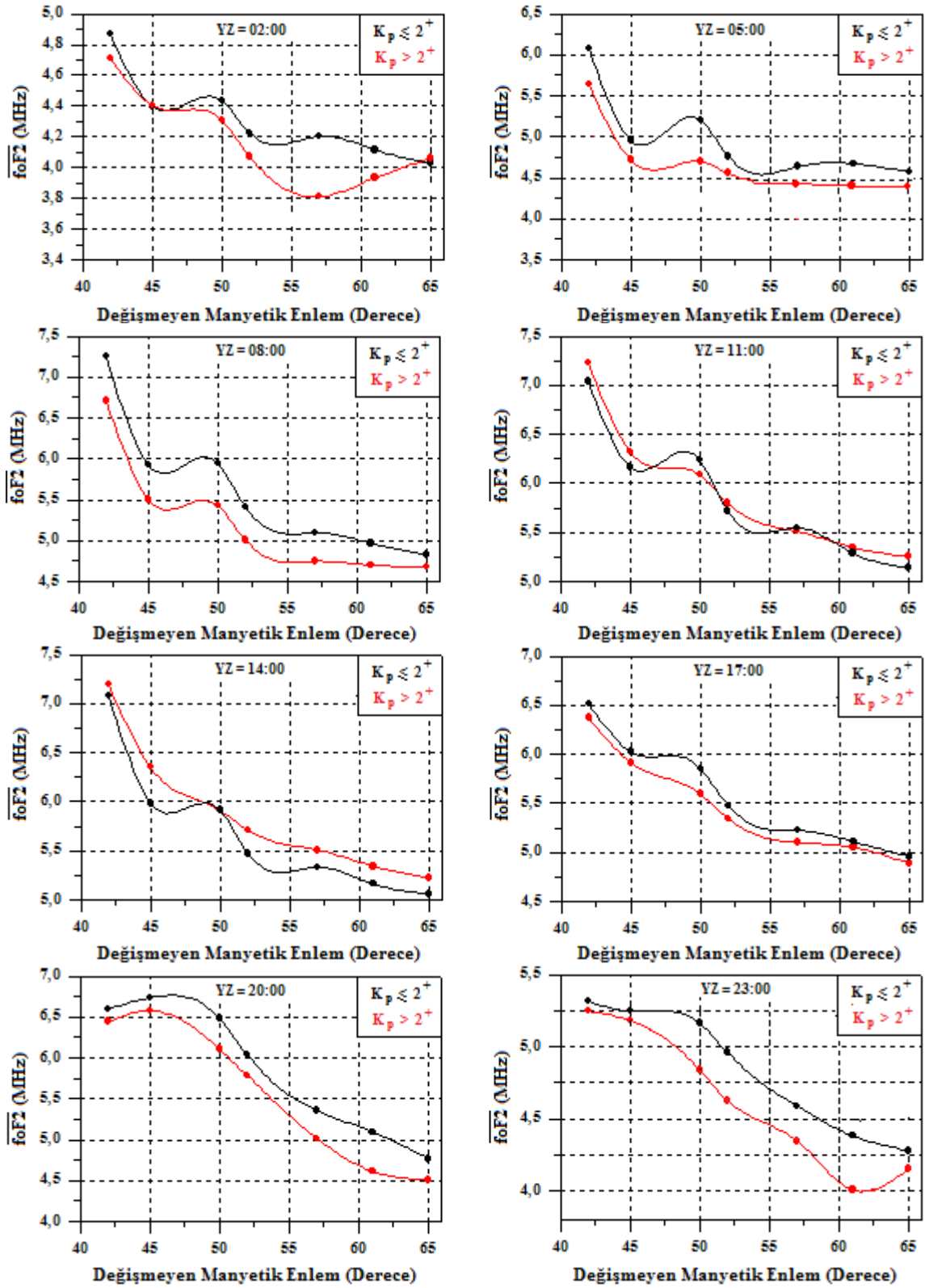
Şekil 8.9. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.10, farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktif ($K_p > 2^+$) saatleri göstermektedir. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 10 ile 15 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 70 saat sonra tekrar denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.10. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

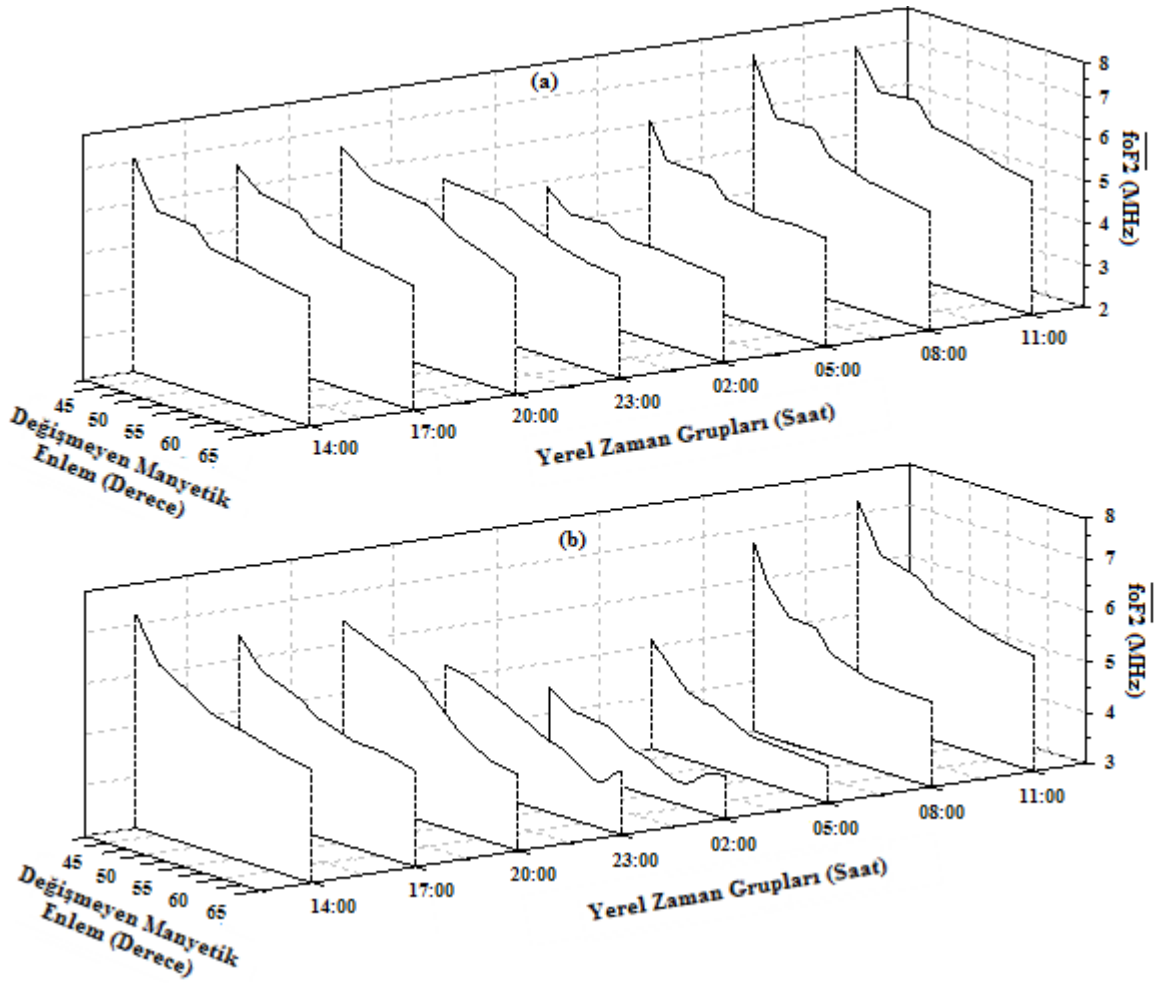
Şekil 8.11, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.11. 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.11'den görüldüğü gibi, $K_p \leq 2^+$ durumda Mart döneminden farklı olarak tüm yerel zaman gruplarının ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik enlemin artışı ile düzenli olarak azalmaktadır. Yani hiçbir yerel zaman grubu için foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişiminde çukura benzer bir yapı tespit edilememiştir. Ancak manyetik sakin durumdan farklı olarak manyetik aktif durumda, 23:00 ve 02:00 yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimi çukura benzer yapılar sergilemektedirler. Bu yerel zaman gruplarının dışındaki saatlerde ortalama foF2 değerleri manyetik sakin duruma benzer şekilde manyetik enlemin artışı ile düzenli olarak azalmaktadır.

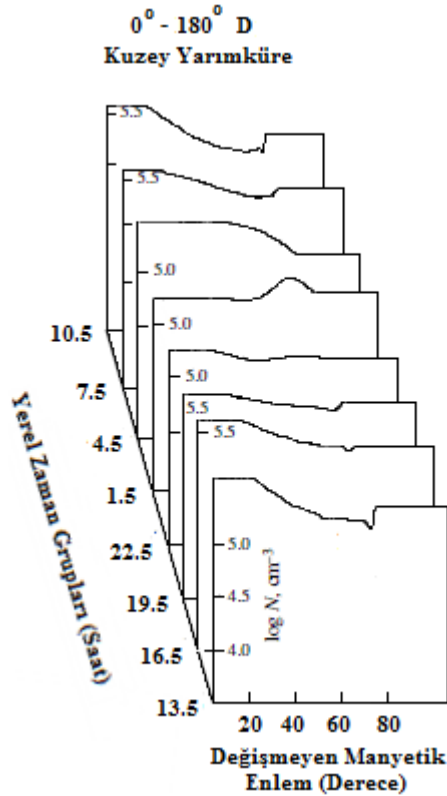
Şekil 8.12, 1972-1976 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.12. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

Şekil 8.13, Ariel 4 uydusu tarafından 1972 yılının 21 Haziran dönemi boyunca manyetik sakin koşullarda farklı yerel zaman grupları için ortalama 550 km yükseklikte ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, elektron yoğunlukları Haziran dönemi boyunca tüm yerel zaman grupları için manyetik enlemin artışı ile düzenli bir şekilde azalmaktadır. Yani hiçbir yerel zaman grubu için elektron yoğunluklarının manyetik enleme göre değişiminde çukura benzer bir yapı tespit edilememiştir [14].

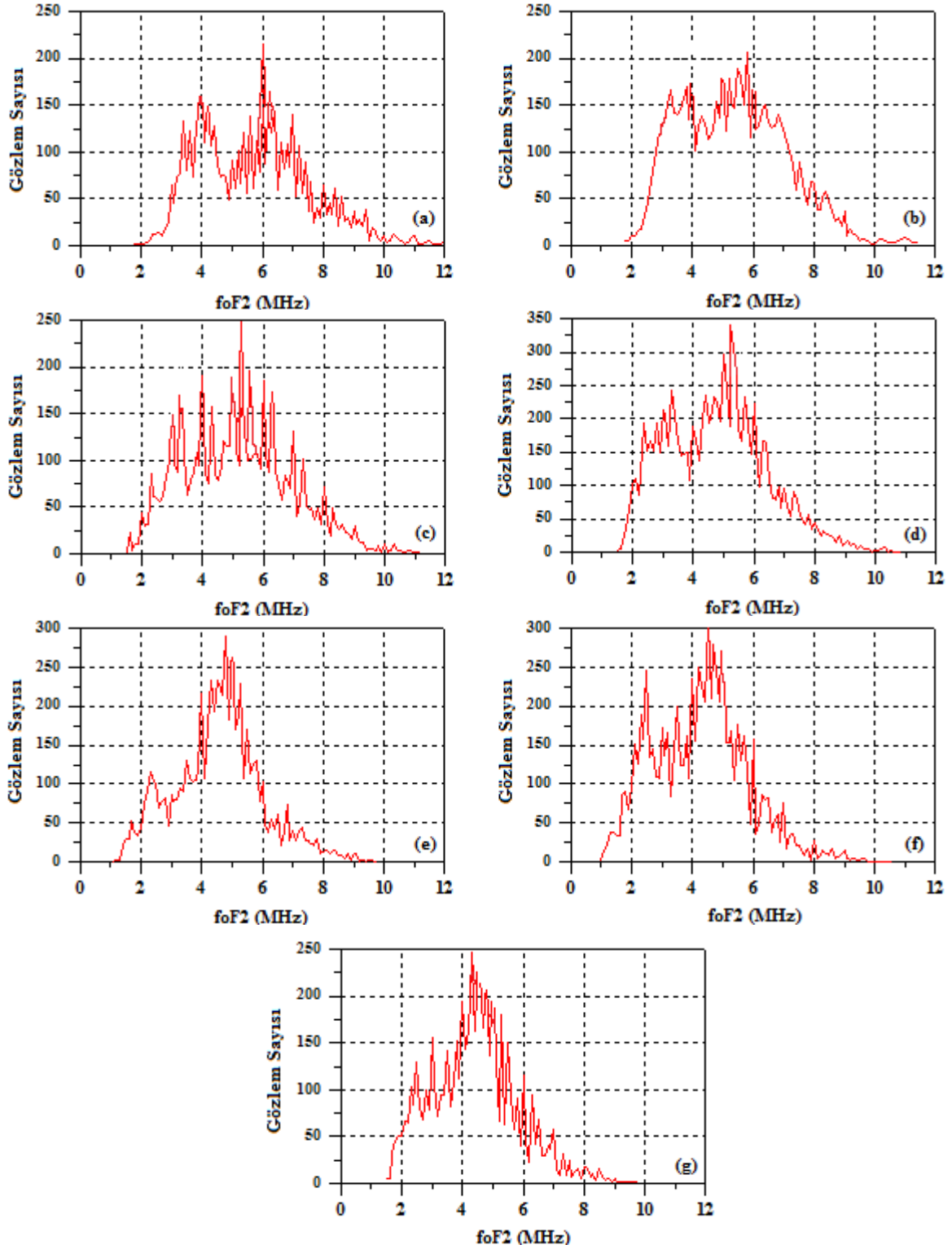
Elektron yoğunluğu için elde edilmiş bu sonuçlar, Şekil 8.12 (a)'da verilmiş olan manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için ortalama 250 km yükseklikte ölçülmüş foF2 verilerinin manyetik enleme göre değişimleriyle önemli yapısal benzerliklere sahiptir. Bu durum, ortalama 550 km yükseklikteki manyetosfer ve plazmasferin yapısının, iyonosferin daha düşük yüksekliklerinde de korunduğunu göstermektedir.



Şekil 8.13. 1972 yılının 21 Haziran dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri [14]

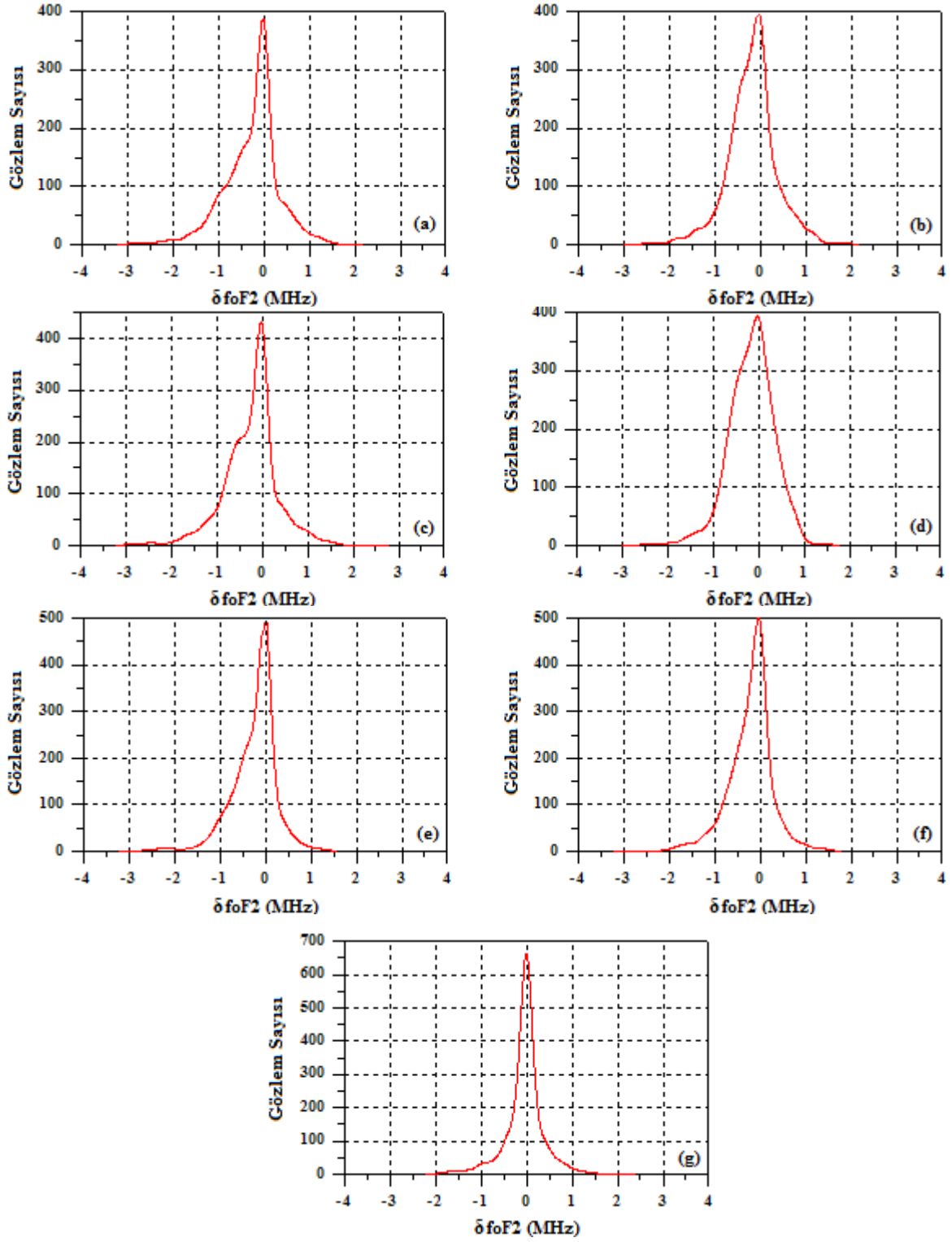
8.1.3. 23 Eylül Dönemi

Şekil 8.14, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.14. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

Şekil 8.15, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.15. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

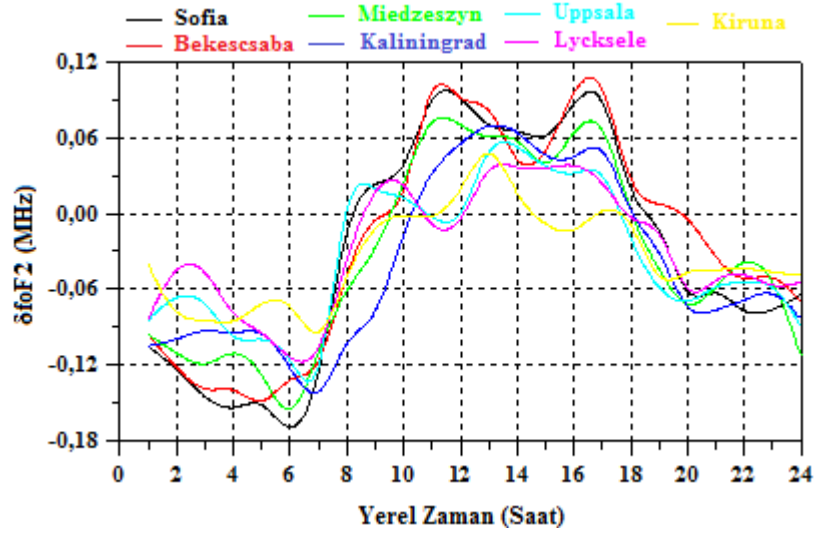
Tablo 8.3, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.3. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	1.8 - 12	6.0	8.2	3.5	-3.06 - 2.15	0.0	0.56	-1.25
Bekescsaba	1.8 - 11.5	5.7	7.7	3.2	-2.82 - 2.06	0.0	0.50	-1.15
Miedzeszyn	1.5 - 11.2	5.4	7.6	2.9	-3.0 - 2.66	0.0	0.45	-1.06
Kaliningrad	1.6 - 10.8	5.2	7.0	2.6	-2.62 - 1.72	0.0	0.42	-0.93
Uppsala	1.1 - 9.9	4.8	6.4	2.5	-3.05 - 1.47	0.0	0.37	-0.90
Lycksele	1.0 - 10.6	4.4	6.2	2.3	-3.0 - 1.75	0.0	0.42	-0.83
Kiruna	1.5 - 9.8	4.3	6.0	2.1	-2.2 - 2.06	0.0	0.31	-0.68

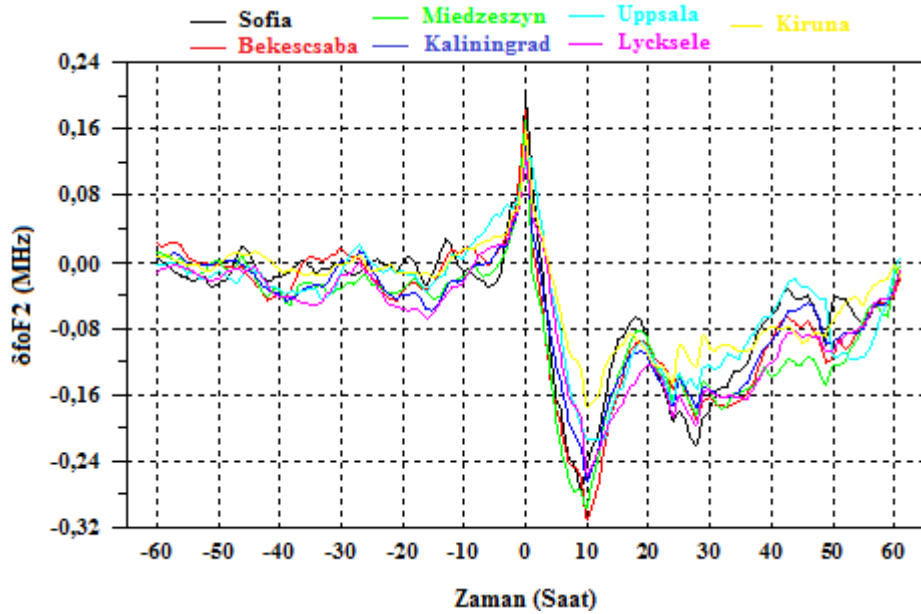
Şekil 8.14 (a-g) ve Tablo 8.3'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 1,8-12 MHz, Bekescsaba için 1,8-11,5 MHz, Meidzeszyn için 1,5-11,2 MHz, Kaliningrad için 1,6-10,8 MHz, Uppsala için 1,1-9,9 MHz, Lycksele için 1,0-10,6 MHz ve Kiruna için 1,5-9,8 MHz arasında değerler almaktadır. Diğer mevsimlere benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, Güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya ve Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlı olarak sırasıyla foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.15 (a-g) ve Tablo 8.3'ü incelediğimizde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı değere sahip olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.16, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi manyetik aktivite artışı ile δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir. Yani manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen bir değişim, farklı enlemler için ölçülmüş foF2 değerlerinin günlük değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.



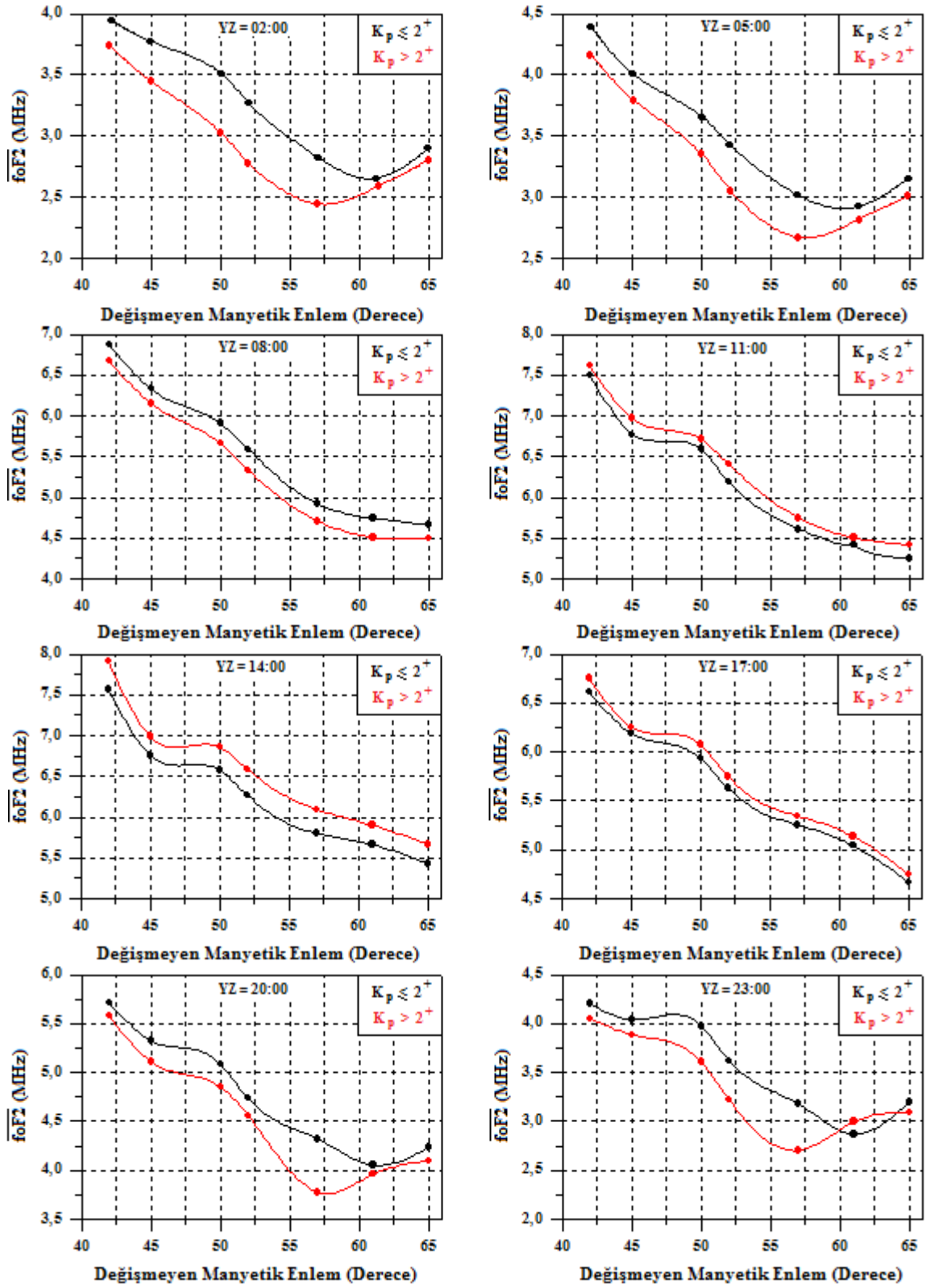
Şekil 8.16. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.17, Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anlarıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 10 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 60 saat sonra denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.17. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

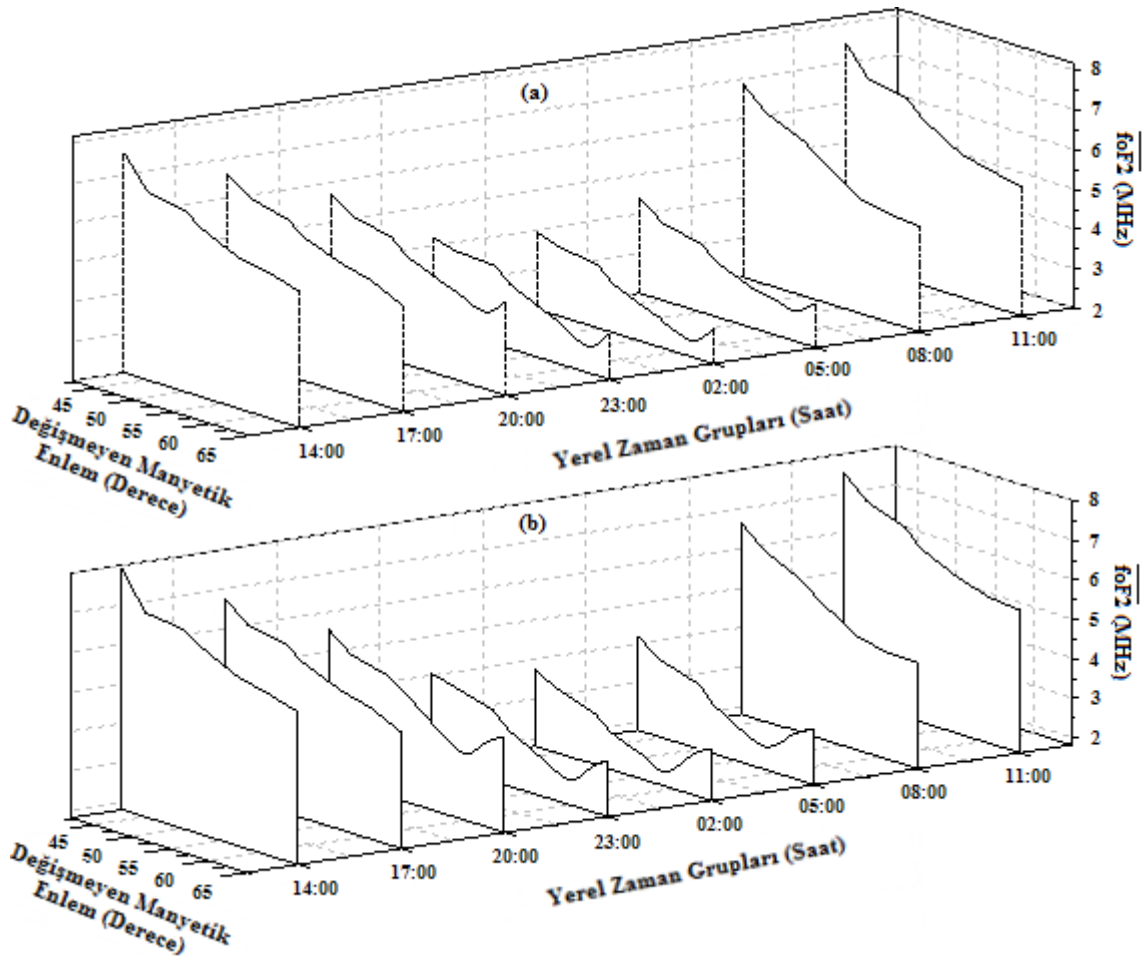
Şekil 8.18, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.18. 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

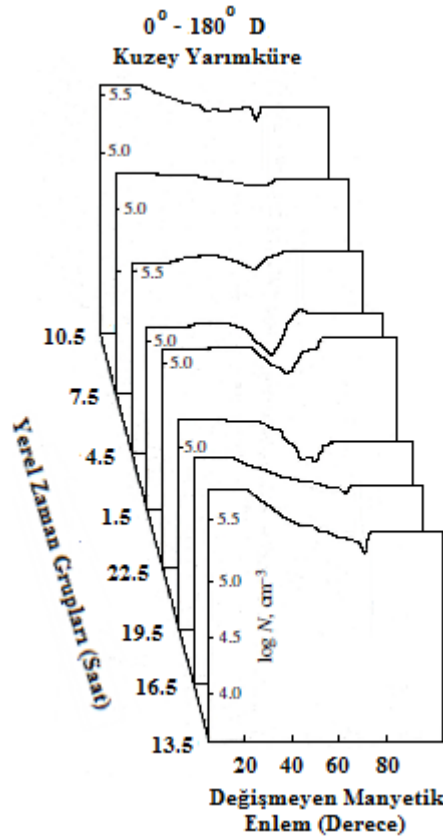
Şekil 8.18’de görüldüğü gibi, Mart dönemine benzer şekilde gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) için de benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır.

Şekil 8.19, 1972-1976 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.19. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

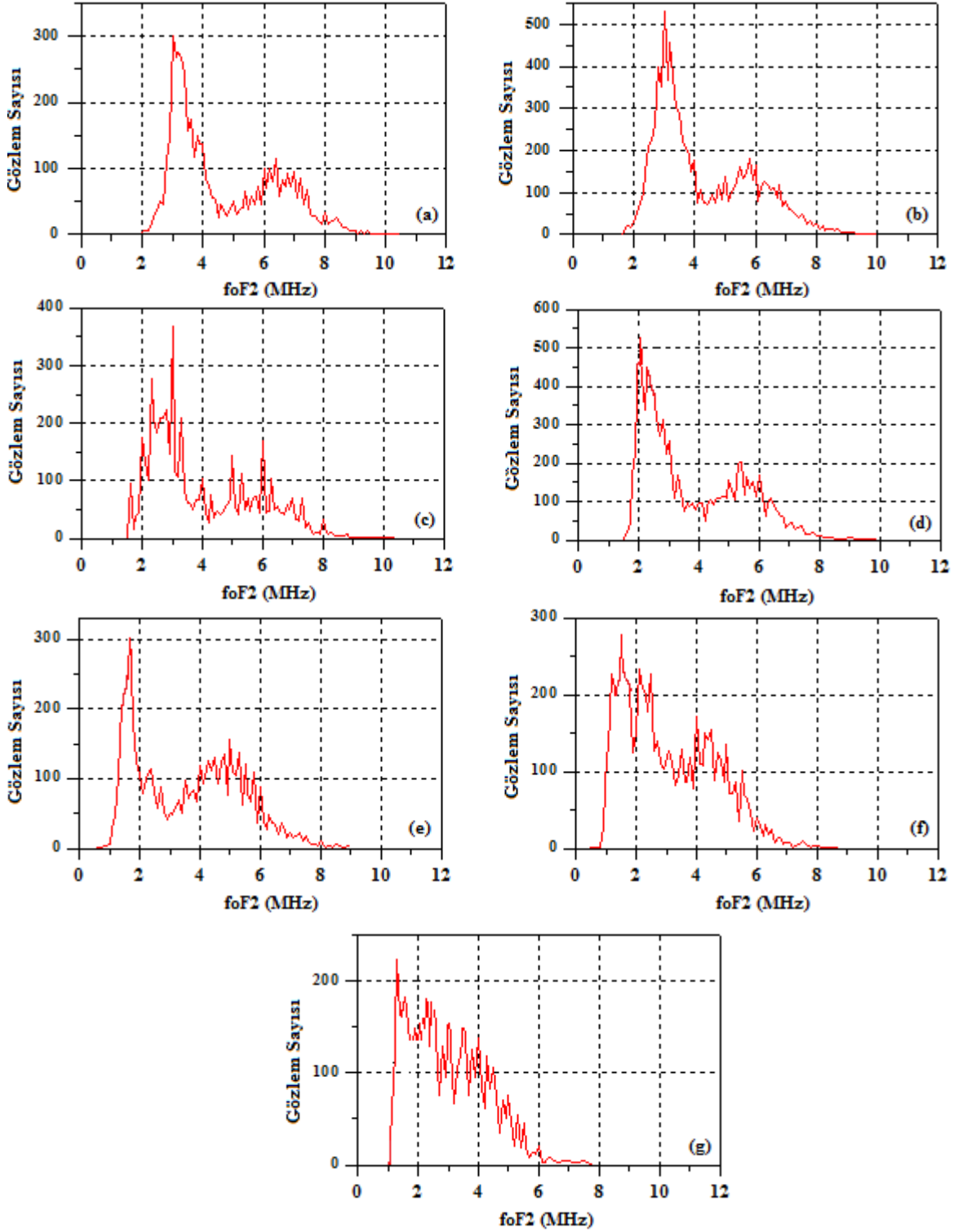
Şekil 8.20, Ariel 4 uydusunun 1972 yılının 23 Eylül dönemi boyunca manyetik sakin koşullarda farklı yerel zaman grupları için ölçtüğü elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekil 8.20'den görüldüğü gibi, gündüz yerel zaman grupları (7,5-16,5 arası) için elektron yoğunluklarının manyetik enleme göre değişimleri hemen hemen düzenli bir azalma şeklindedir. Ancak, gece yerel zaman grupları (19,5-4,5 arası) için elektron yoğunlukları, 40° manyetik enlem değerine kadar düzgün olarak değişirken, daha yüksek enlem değerlerinde çukura benzer bir yapıya sahiptirler. Bu yerel zaman grupları için gözlemlenen çukura benzer yapılar, 40°-70° manyetik enlemler arasında meydana gelmiştir ve çukurların minimum noktaları, yerel zaman gruplarına göre 55° ile 60° manyetik enlem arasında değişmektedir [14]. Elektron yoğunluğu için elde edilmiş bu sonuçlar, Şekil 8.19 (a)'da verilmiş olan manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için ortalama 250 km yükseklikte ölçülmüş foF2 verilerinin manyetik enleme göre değişimleriyle önemli yapısal benzerliklere sahiptir.



Şekil 8.20. 1972 yılının 23 Eylül dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri [14]

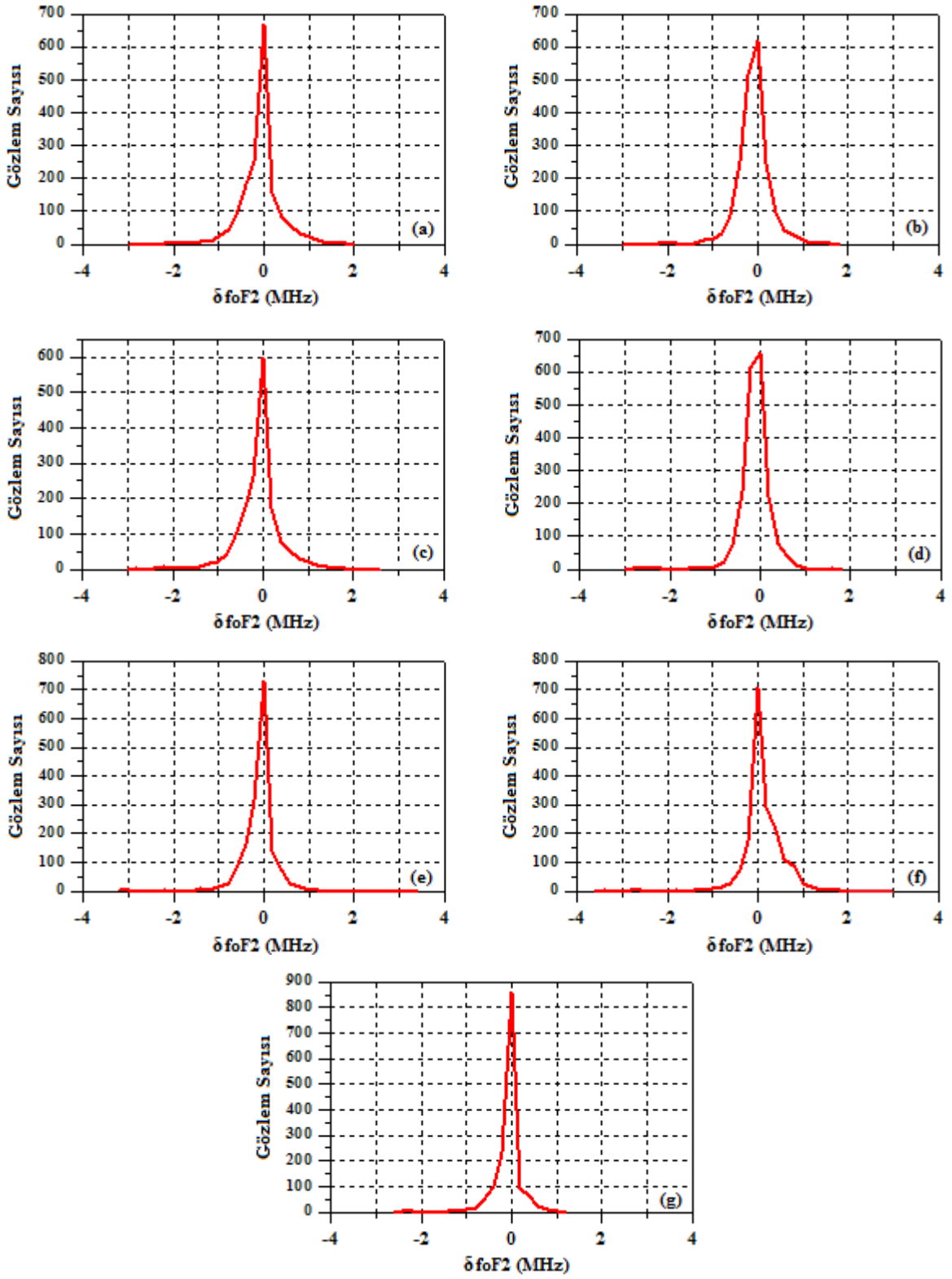
8.1.4. 21 Aralık Dönemi

Şekil 8.21, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.21. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

Şekil 8.22, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.22. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Meidzeszyn, (d) Kaliningrad, (e) Uppsala, (f) Lycksele, (g) Kiruna

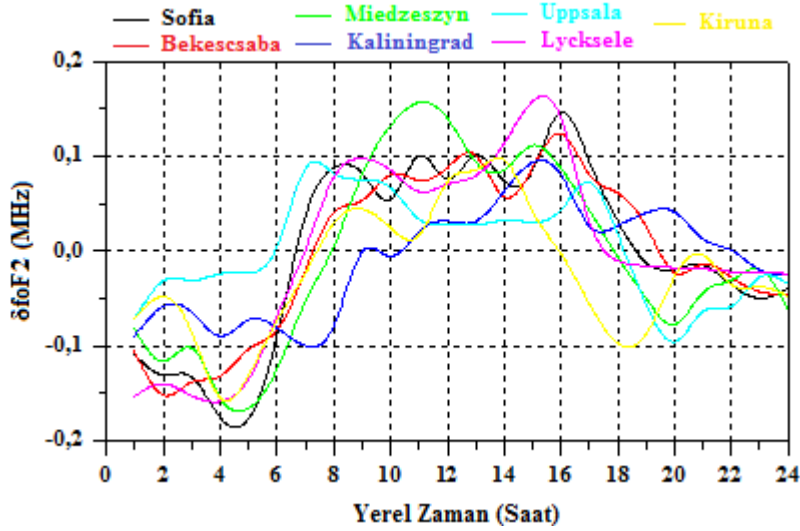
Tablo 8.4, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.4. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	2.0 - 10.5	3.0	7.2	3.0	-2.1 - 1.9	0.0	0.56	-0.61
Bekescsaba	1.6 - 10	2.8	6.6	2.7	-2.2 - 1.77	0.0	0.49	-0.55
Miedzeszyn	1.5 - 10.4	2.7	6.6	2.2	-2.6 - 2.80	0.0	0.44	-0.51
Kaliningrad	1.5 - 9.9	2.1	6.1	2.0	-2.7 - 1.64	0.0	0.42	-0.50
Uppsala	0.6 - 9.0	1.8	5.9	1.5	-3.18 - 3.4	0.0	0.30	-0.45
Lycksele	0.5 - 8.7	1.5	5.3	1.3	-3.5 - 1.8	0.0	0.35	-0.40
Kiruna	1.1 - 7.8	1.3	4.8	1.2	-2.33 - 1.1	0.0	0.28	-0.35

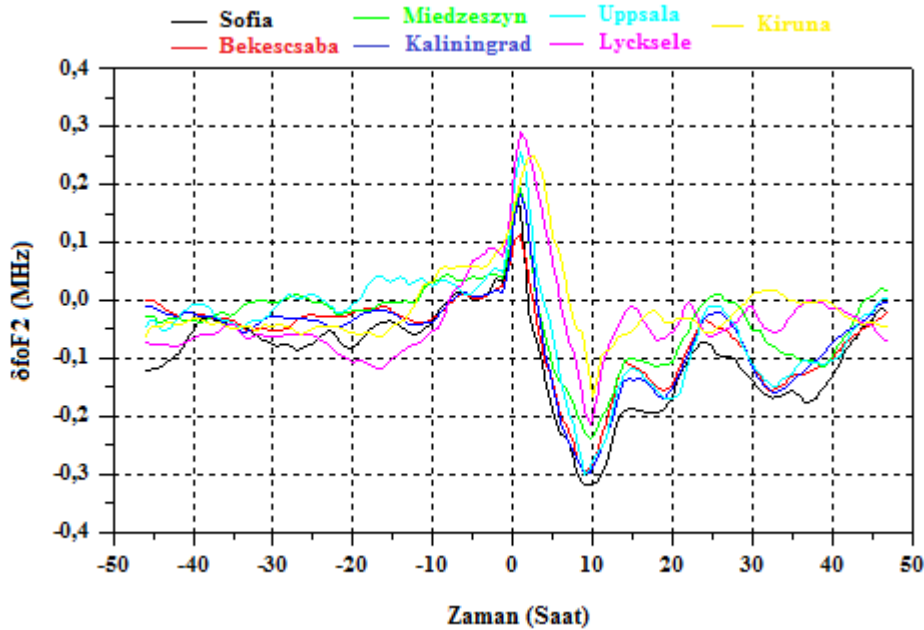
Şekil 8.21 (a-g) ve Tablo 8.4'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 2,0-10,5 MHz, Bekescsaba için 1,6-10 MHz, Meidzeszyn için 1,5-10,4 MHz, Kaliningrad için 1,5-9,9 MHz, Uppsala için 0,6-9 MHz, Lycksele için 0,5-8,7 MHz ve Kiruna için 1,1-7,8 MHz arasında değerler almaktadır. Yüksek enlemlere doğru gidildikçe, Güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya ve Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlı olarak sırasıyla foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 8.22 (a-g) ve Tablo 8.4'ü incelediğimizde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı değere sahip olduğu ve üst-alt ondabirlik değerlerinin yaklaşık olarak simetrik değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar, tüm istasyonlar için δ foF2 değerlerinin normale yakın bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde meydana getirdiği pozitif ve negatif sapmaların benzer yapılar sergilediklerini göstermektedir.

Şekil 8.23, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Tüm istasyonlar için δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir. Yani manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen bir değişimin, farklı enlemler için ölçülmüş foF2 değerlerinin günlük değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



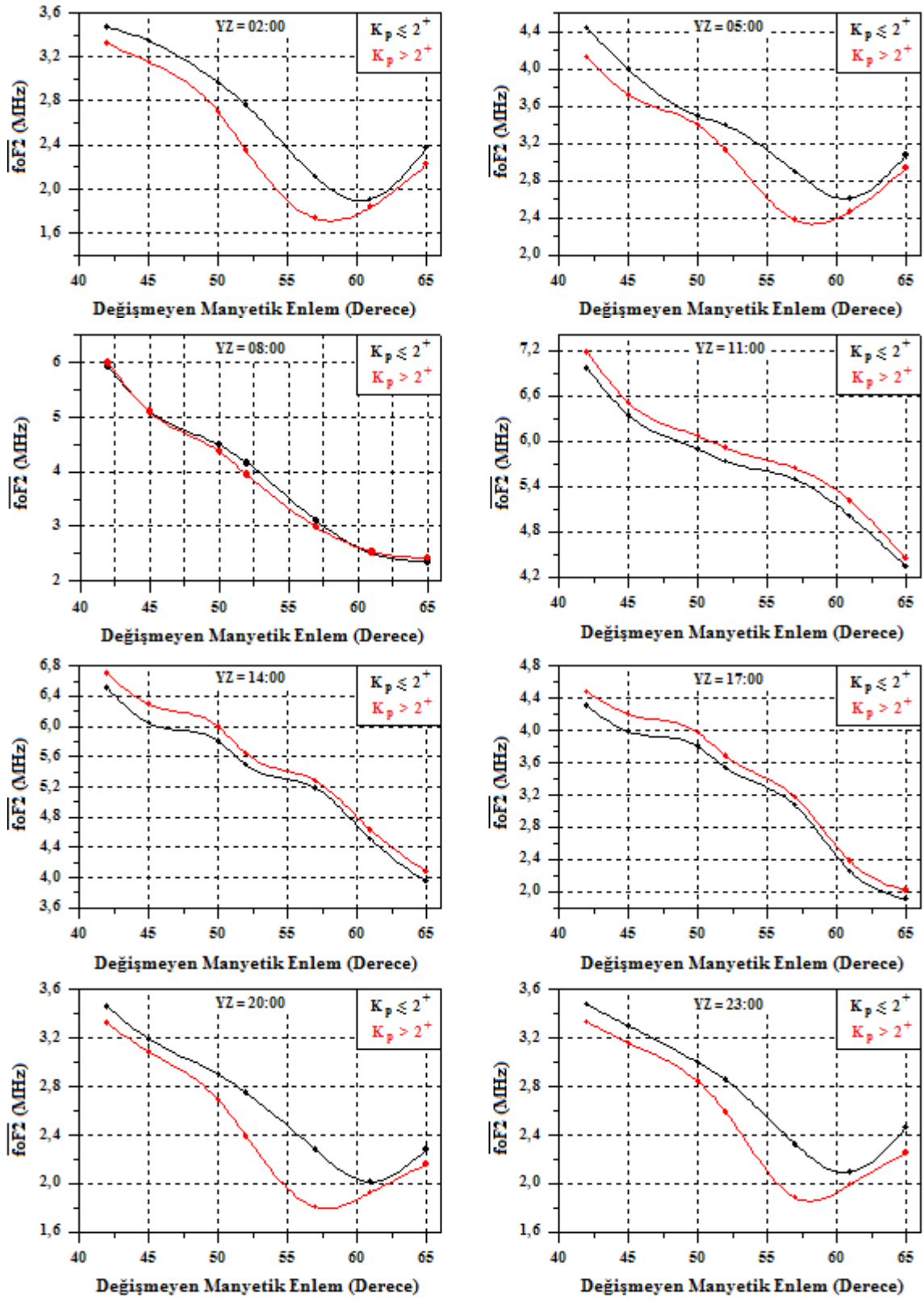
Şekil 8.23. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.24, farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anlarını göstermektedir. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı $foF2$ değerleri üzerinde arttırıcı bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 10 saat sonra $\delta foF2$ değerleri minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 45 saat sonra denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.24. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

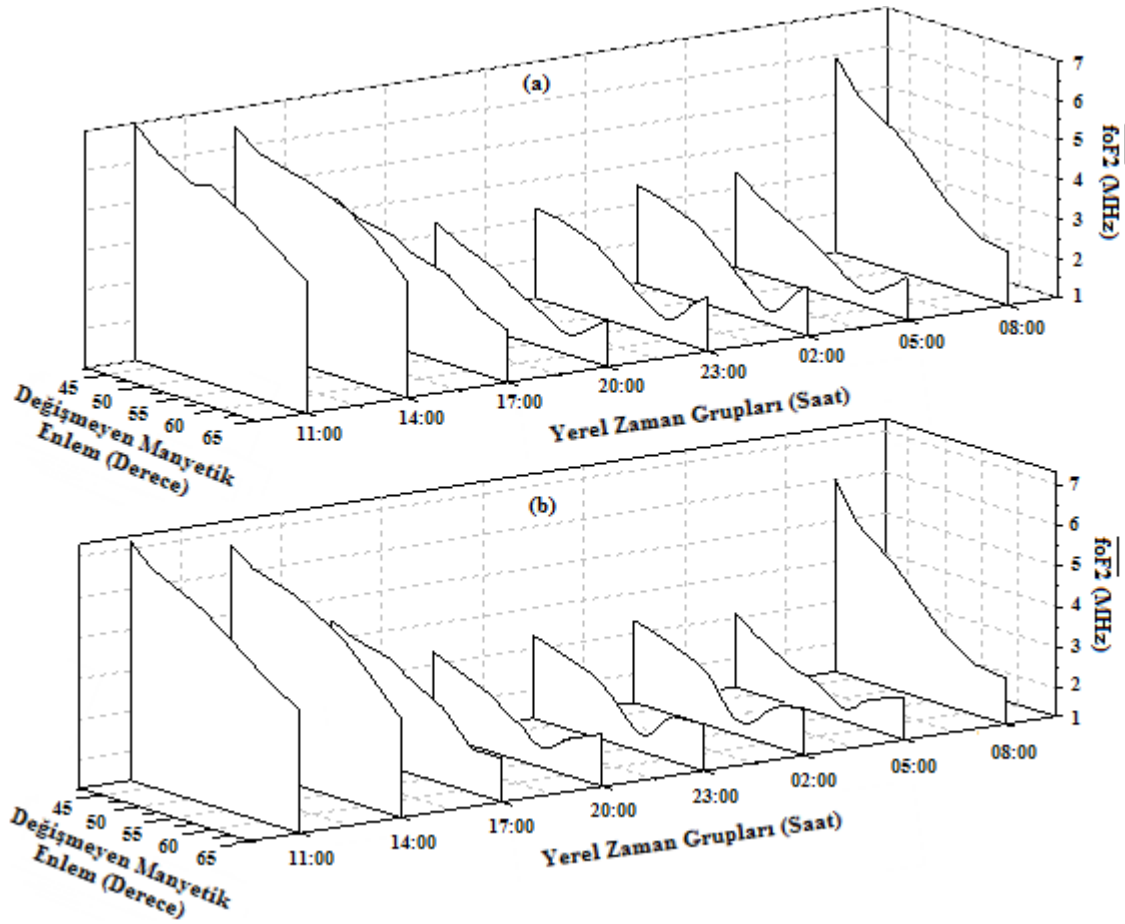
Şekil 8.25, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.25. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

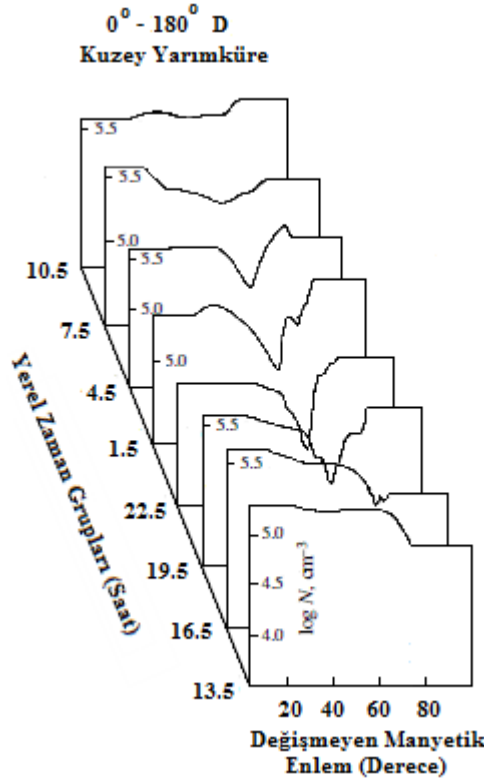
Şekil 8.25’de görüldüğü gibi, Mart ve Eylül dönemine benzer şekilde gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) için de benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır. Mart ve Eylül dönemiyle karşılaştırıldığında bu yapılar en net Aralık döneminde tespit edilmiştir.

Şekil 8.26, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme değişimini göstermektedir.



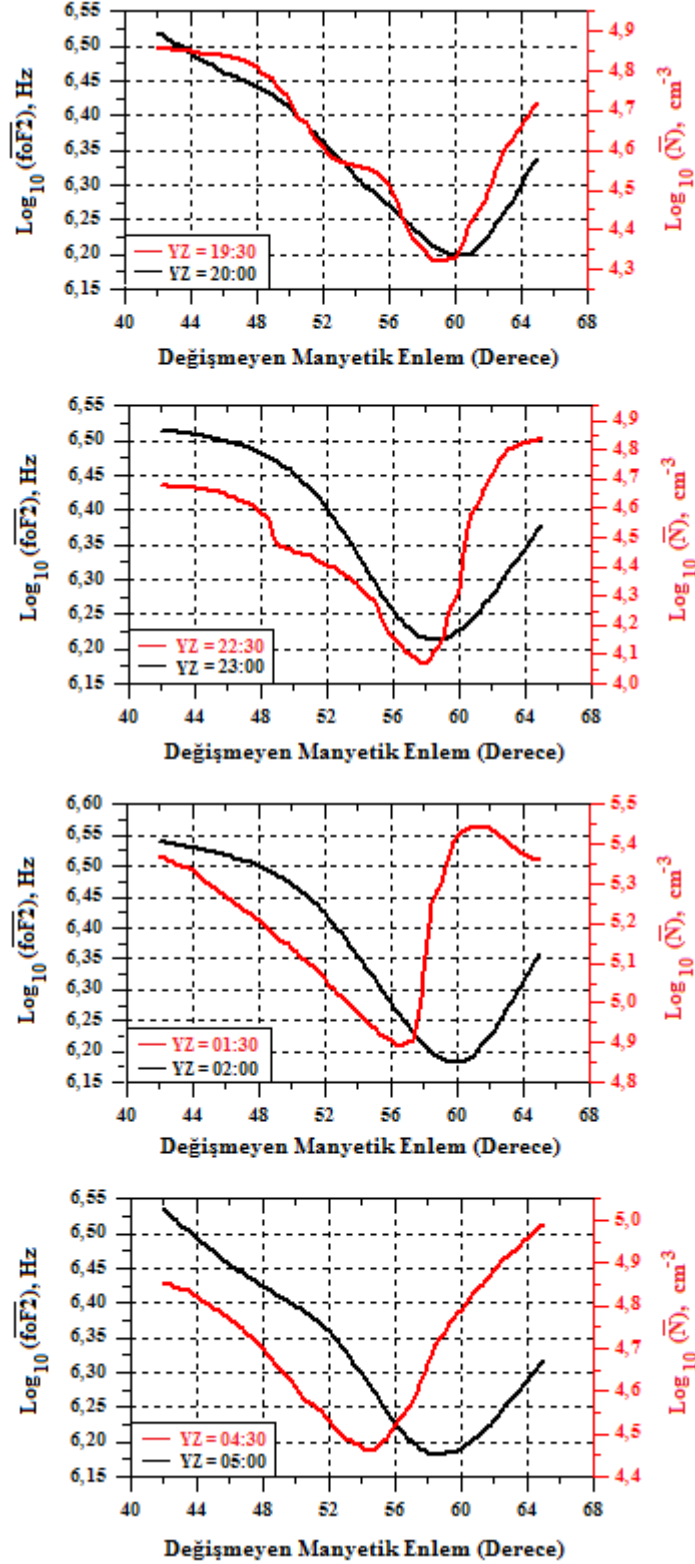
Şekil 8.26. Farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

Şekil 8.27, Ariel 4 uydusu tarafından 1972 yılının 21 Aralık dönemi boyunca manyetik sakin koşullarda farklı yerel zaman grupları için ortalama 550 km yükseklikte ölçtüğü elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, gündüz yerel zaman grupları (7,5-15,6 arası) için elektron yoğunluklarının manyetik enleme göre değişimleri, hemen hemen düzenli bir azalma şeklindedir. Ancak, gece yerel zaman grupları (19,5-4,5 arası) için elektron yoğunlukları, 40° manyetik enlem değerine kadar yaklaşık sabit değerler alırken, daha yüksek enlem değerlerinde çukura benzer bir yapıya sahiptirler. Bu yerel zaman grupları için gözlemlenen çukura benzer yapılar, 40°-70° manyetik enlemler arasında meydana gelmiş ve çukurların minimum noktaları, yerel zaman gruplarına göre 55° ile 60° manyetik enlem arasında değişmiştir [14]. Ariel 4 uydusu tarafından ortalama 550 km yükseklikte farklı yerel zaman grupları için ölçülen elektron yoğunluğunun manyetik enleme göre değişimleri ile Şekil 8.26 (a)'da verilen ortalama 250 km yükseklikte farklı yerel zaman grupları için ölçülen foF2 verilerinin, manyetik enleme göre değişimleri yapısal olarak önemli benzerlikler göstermektedir.



Şekil 8.27. 1972 yılının 21 Aralık dönemi boyunca manyetik sakin koşullar altında farklı yerel zaman grupları için Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri [14]

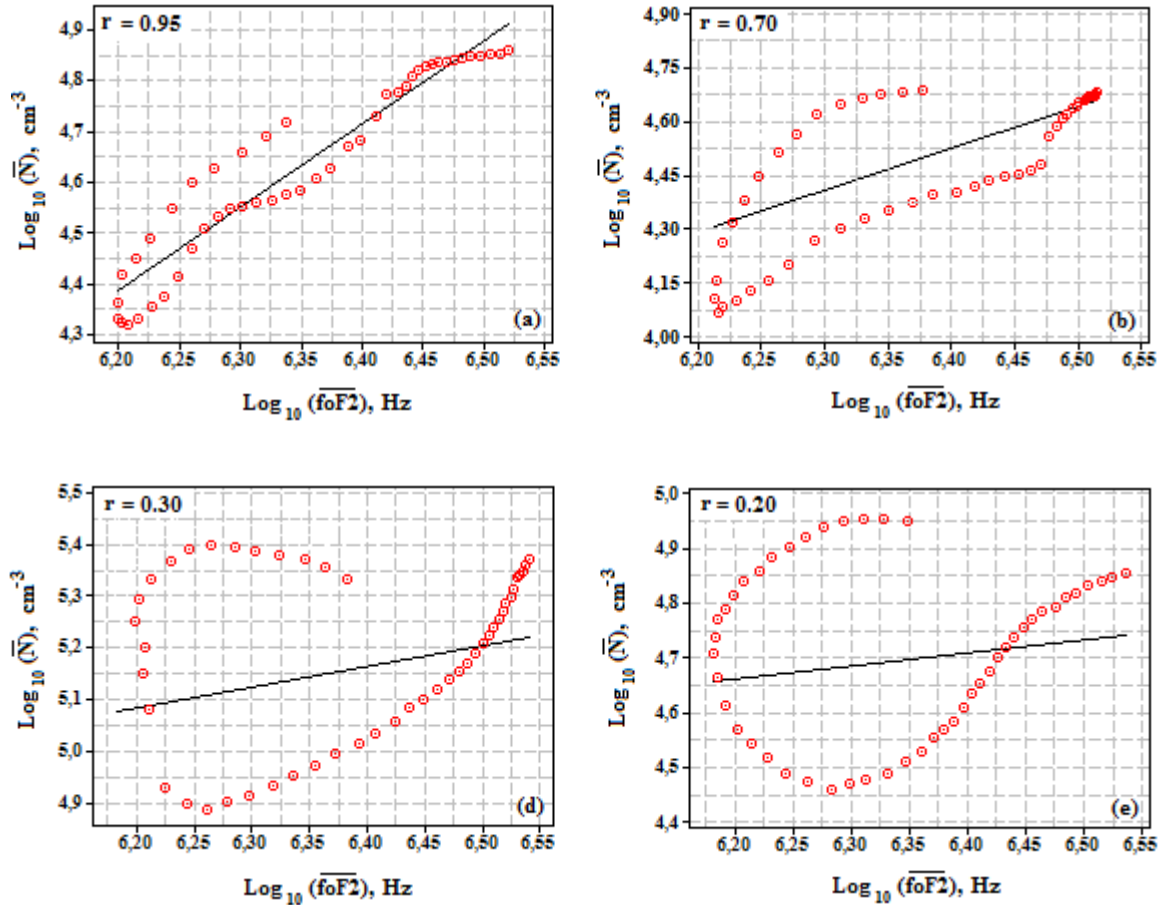
Şekil 8.28, 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca çukura benzer yapıların gözlemlendiği yerel zaman grupları için ortalama elektron yoğunluğunun ve ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.28. 1972-1976 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca gece yerel zaman grupları için elektron yoğunluklarının ve foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.28’de görüldüğü gibi, gece yerel zaman grupları için ortalama elektron yoğunluklarının ve ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Ayrıca elektron yoğunluklarında gözlemlenen çukura benzer yapıların minimum noktaları, günbatımı saatinden (18:00) gündoğumu saatine (06:00) doğru gidildikçe daha düşük enlemlere doğru kaymıştır. Ancak foF2 verilerinde gözlemlenen çukura benzer yapıların minimum noktalarındaki kayma, elektron yoğunluklarının minimum noktalarındaki kayma kadar büyük değildir.

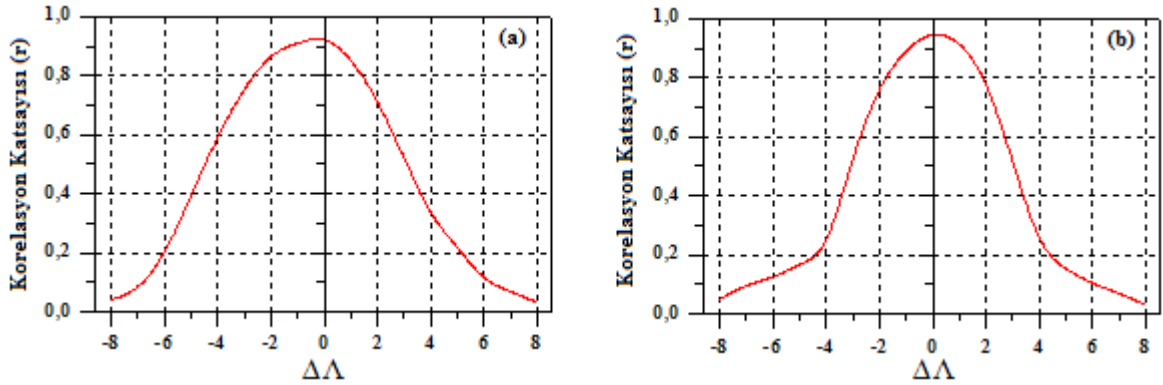
Şekil 8.29, 21 Aralık dönemi boyunca sırasıyla 19:30 ile 20:00, 22:30 ile 23:00, 01:30 ile 02:00 ve 04:30 ile 05:00 yerel zaman grupları için farklı manyetik enlemlerde ölçülmüş ortalama elektron yoğunluğu verileri ile ortalama foF2 verilerinin logaritmik değerleri arasındaki serpilme diyagramlarını göstermektedir.



Şekil 8.29. 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama elektron yoğunluğu verileri ile ortalama foF2 verilerinin logaritmik değerleri arasındaki serpilme diyagramları (a) 19:30 ile 20:00 yerel zaman grupları için (b) 22:30 ile 23:00 yerel zaman grupları için (c) 01:30 ile 02:00 yerel zaman grupları için (d) 04:30 ile 05:00 yerel zaman grupları için

Şekil 8.29'dan görüldüğü gibi, en yüksek ilişki korelasyon katsayı değerinin 0,95 olduğu 19:30 YZG için ölçülen ortalama elektron yoğunlukları ile 20:00 YZG için ölçülen ortalama foF2 değerleri arasında tespit edilmiştir. Yani, ortalama foF2 verilerinin ve ortalama elektron yoğunluklarının manyetik enleme göre değişimleri, en fazla 19:30 ve 20:00 YZG verileri için benzerlik göstermektedir. Ancak veriler arasındaki bu ilişki, korelasyon sabiti değerlerinden görüldüğü gibi günbatımı saatinden gündeğümü saatine doğru gidildikçe azalmakta ve en düşük ilişki 04:30 ve 05:00 yerel zaman guruplarının verileri için meydana gelmektedir. Korelasyon sabiti değerlerindeki bu azalma, günbatımından gündeğümüne doğru gidildikçe foF2 değerlerinin minimum noktalarındaki kaymanın, elektron yoğunluklarının minimum değerlerinde meydana gelen kaymadan daha az olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 8.30, 01:30 ile 02:00 ve 04:30 ile 05:00 YZG için foF2 verilerinin farklı Λ değerlerine kaydırılması sonucunda ($\Delta\Lambda$) kaydırılan her Λ değeri için elektron yoğunluğu ile foF2 verileri arasında hesaplanmış r değerlerini göstermektedir. foF2 verilerinin minimum noktaları yaklaşık 5° Λ sola (daha düşük Λ değerine) kaydırıldığında elektron yoğunluğu verileri ile foF2 verileri arasındaki ilişki en büyük değerini almaktadır.



Şekil 8.30. Farklı Λ değerleri için foF2 ve elektron yoğunluğu verileri arasında hesaplanan korelasyon katsayılarının değişimi: (a) 01:30-02:00 YZG (b) 04:30-05:00 YZG

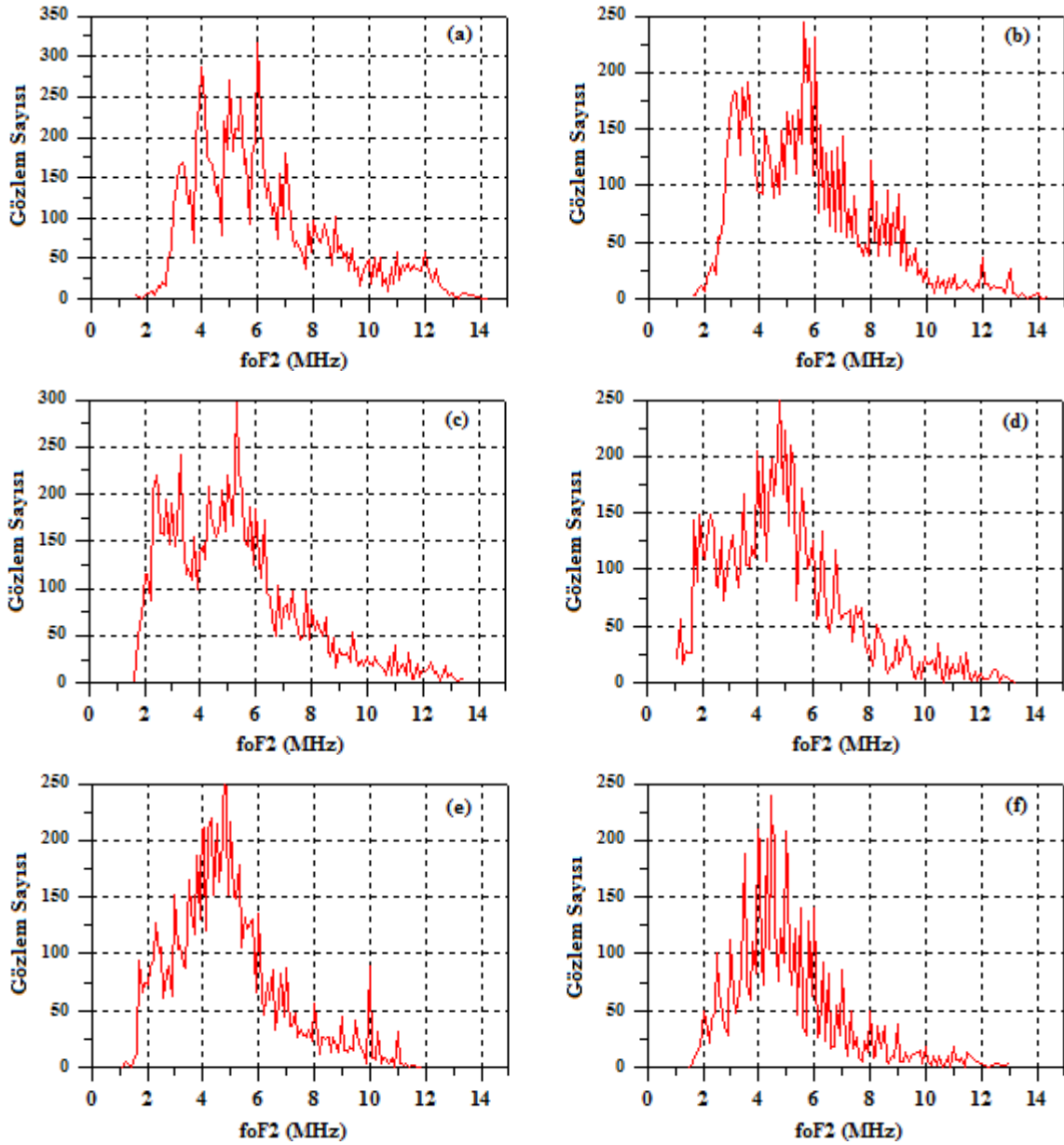
Şekilde x akselerinin 0 noktası, elektron yoğunluğu verilerinin minimum noktası ile foF2 verilerinin minimum noktasının çakıştığı enlem değerine karşılık gelmektedir. Pozitif değerler minimum noktadan sağa doğru daha yüksek enlem değerlerini, negatif noktalar ise minimum noktadan sola doğru daha düşük enlem değerlerini göstermektedir. Her iki yerel zaman grubu için de en yüksek ilişki, elektron yoğunluğu ve foF2 verilerinin minimum noktalarının çakıştığı enlem değeri için elde edilmiştir. foF2 verileri bu noktadan daha düşük enlemlere ve daha yüksek enlemlere doğru kaydırıldıkça her iki yerel zaman grubu içinde veriler arasındaki korelasyon katsayılarının değerleri azalmaktadır.

8.2. 21. Güneş Döngüsü (1982-1986) İçin Analizler

1982-1986 yılları için 50 Λ 'de bulunan Miedzeszyn istasyonunda foF2 ölçümü yapılmadığından dolayı bu dönem boyunca analizler 6 istasyon için yapılmış ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

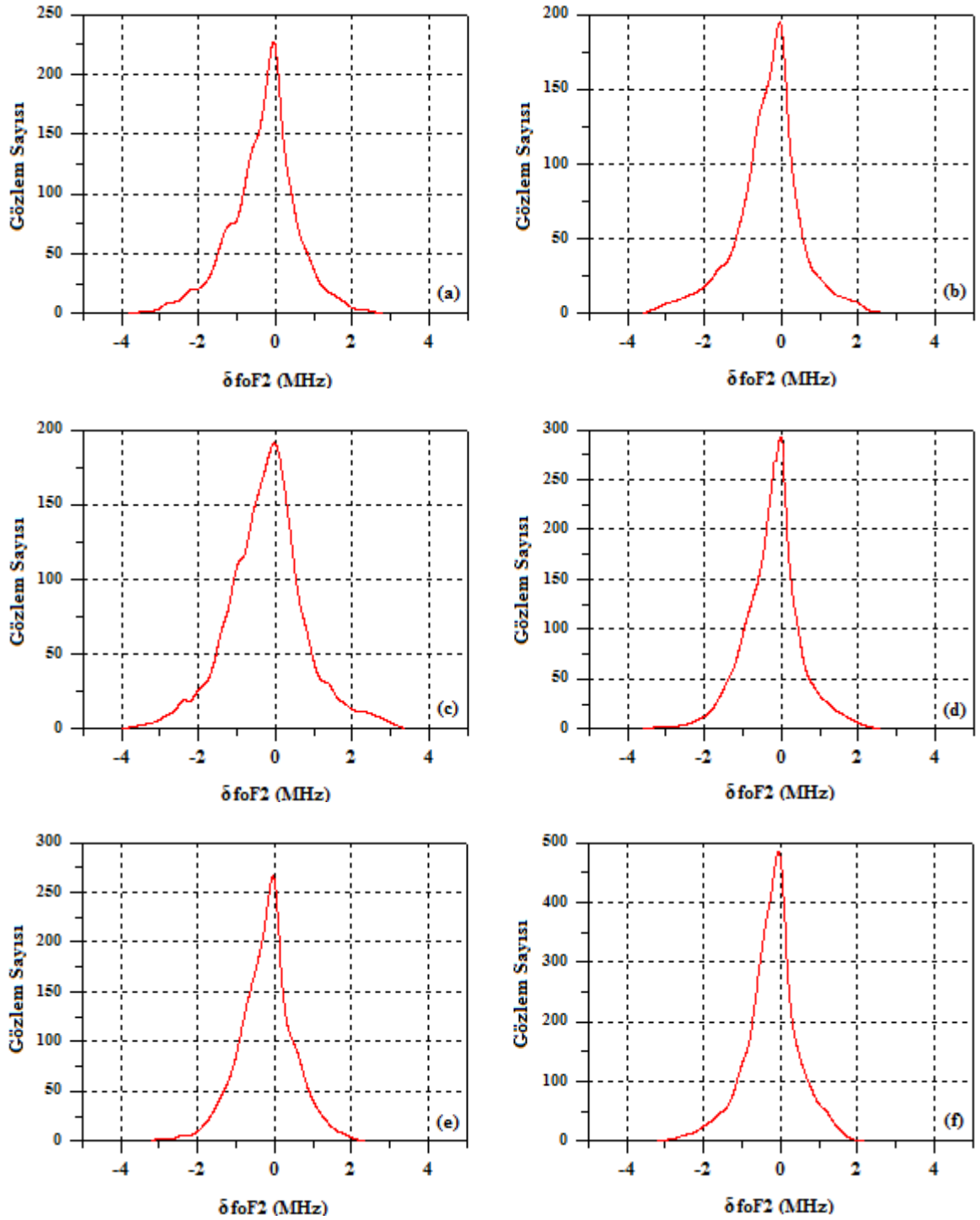
8.2.1. 21 Mart Dönemi

Şekil 8.31, 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.31. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

Şekil 8.32, 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.32. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

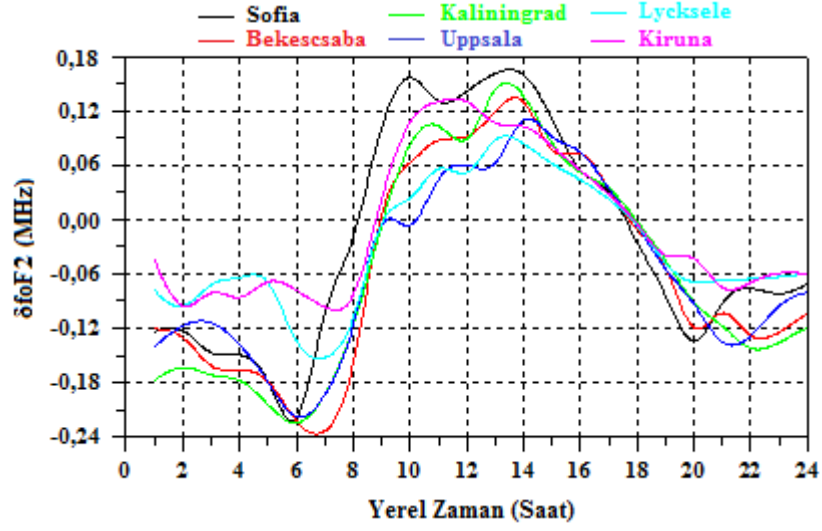
Tablo 8.5, 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.5. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	1.6 - 14.3	6.0	9.9	3.6	-4.0 - 2.8	0.0	0.9	-1.48
Bekescsaba	1.6 - 14.4	5.6	9.0	3.3	-3.84 - 2.75	0.0	0.83	-1.35
Kaliningrad	1.6 - 13.5	5.3	8.5	2.8	-4.0 - 3.3	0.0	0.76	-1.15
Uppsala	1.1 - 13.3	4.9	8.2	2.5	-3.8 - 2.5	0.0	0.65	-1.10
Lycksele	1.1 - 11.9	4.7	7.8	2.4	-3.5 - 2.3	0.0	0.70	-0.98
Kiruna	1.5 - 13	4.4	7.5	2.2	-3.1 - 2.2	0.0	0.53	-0.85

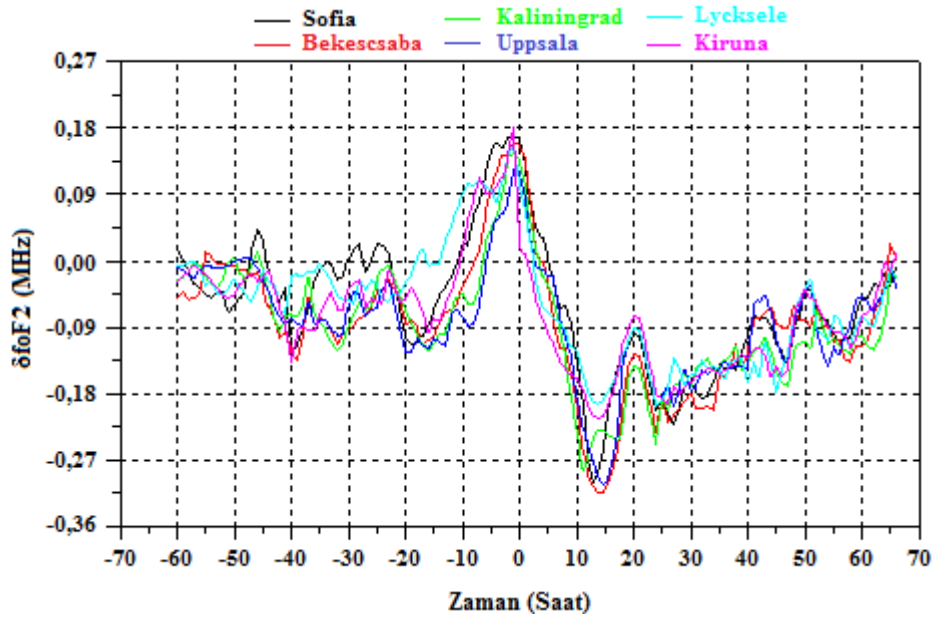
Şekil 8.31 (a-f) ve Tablo 8.5'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 1,6-14,3 MHz, Bekescsaba için 1,6-14,4 MHz, Kaliningrad için 1,6-13,5 MHz, Uppsala için 1,1-13,3 MHz, Lycksele için 1,1-11,9 MHz ve Kiruna için 1,5-13 MHz arasında değerler almaktadır. foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerini incelediğimizde, tüm istasyonlar için 20. Güneş döngüsünün Mart döneminden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu, 1982-1986 yılları için Güneş aktivitesinin, 1972-1976 yılları arasındaki Güneş aktivitesinden daha büyük değerlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. 20. Güneş döngüsünün Mart dönemine benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.32 (a-f) ve Tablo 8.5 incelendiğinde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu, δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.33, 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi manyetik aktivite artışı ile δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir.



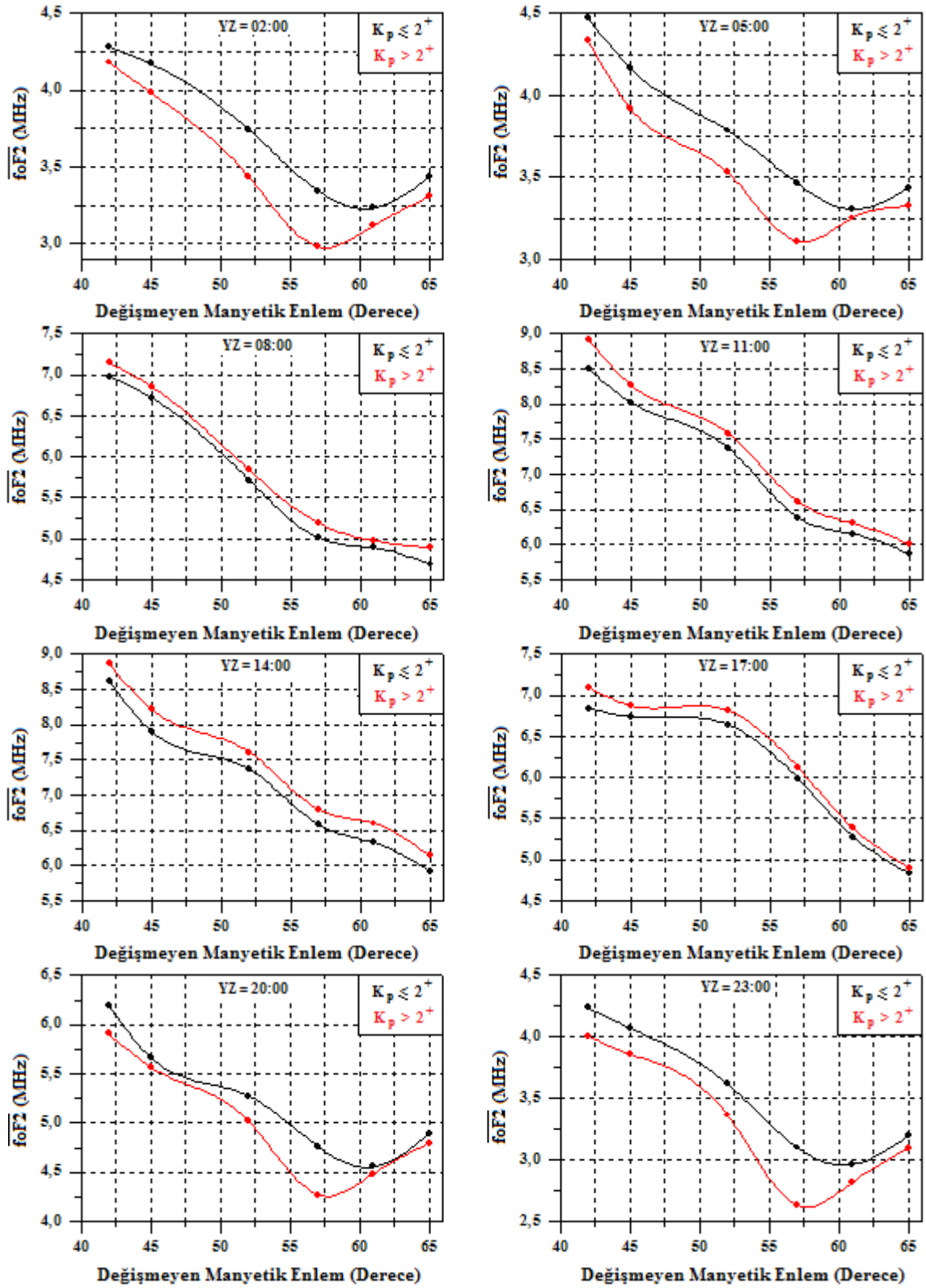
Şekil 8.33. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.34, Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 15 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 65 saat sonra denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.34. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

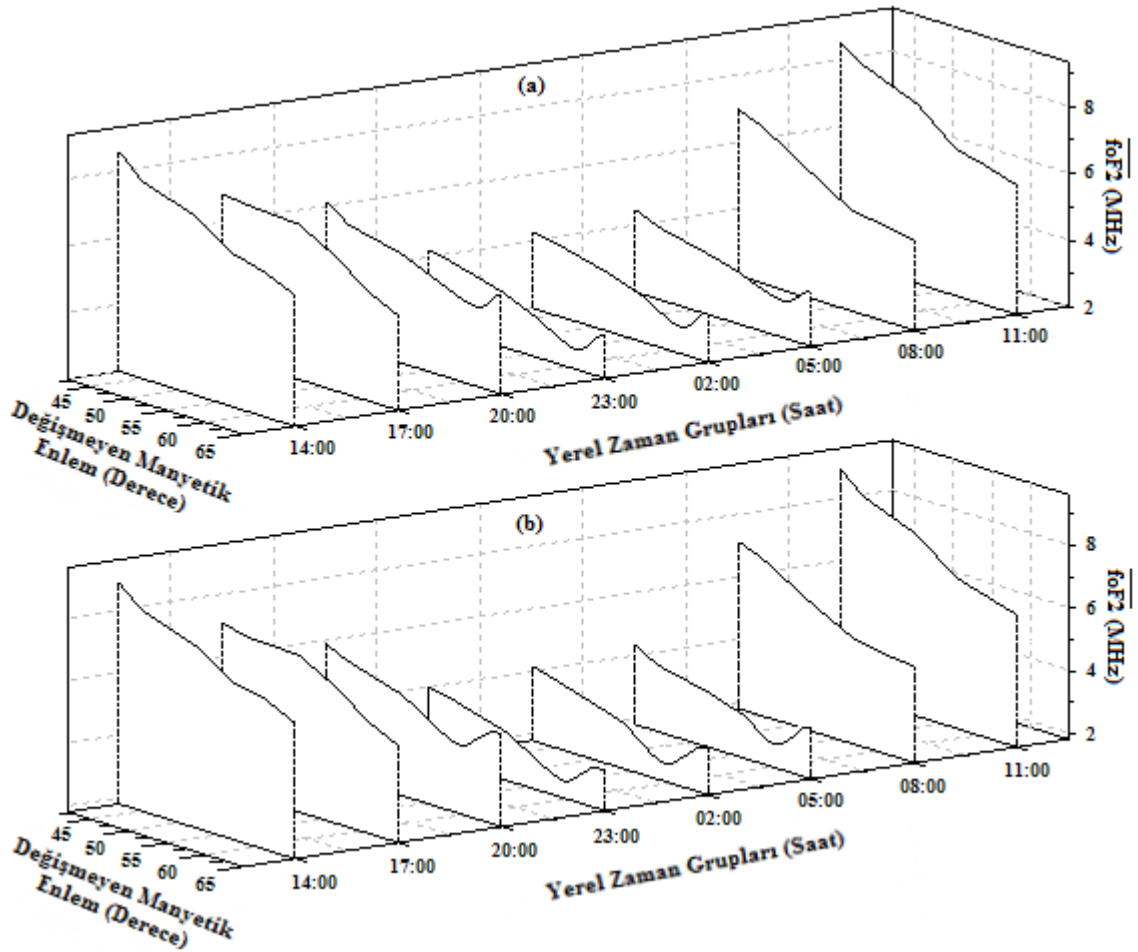
Şekil 8.35, 1982-1986 yıllarının Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir.



Şekil 8.35. 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.35’de görüldüğü gibi, 20. Güneş döngüsünün Mart dönemine benzer şekilde, gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) için de benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır.

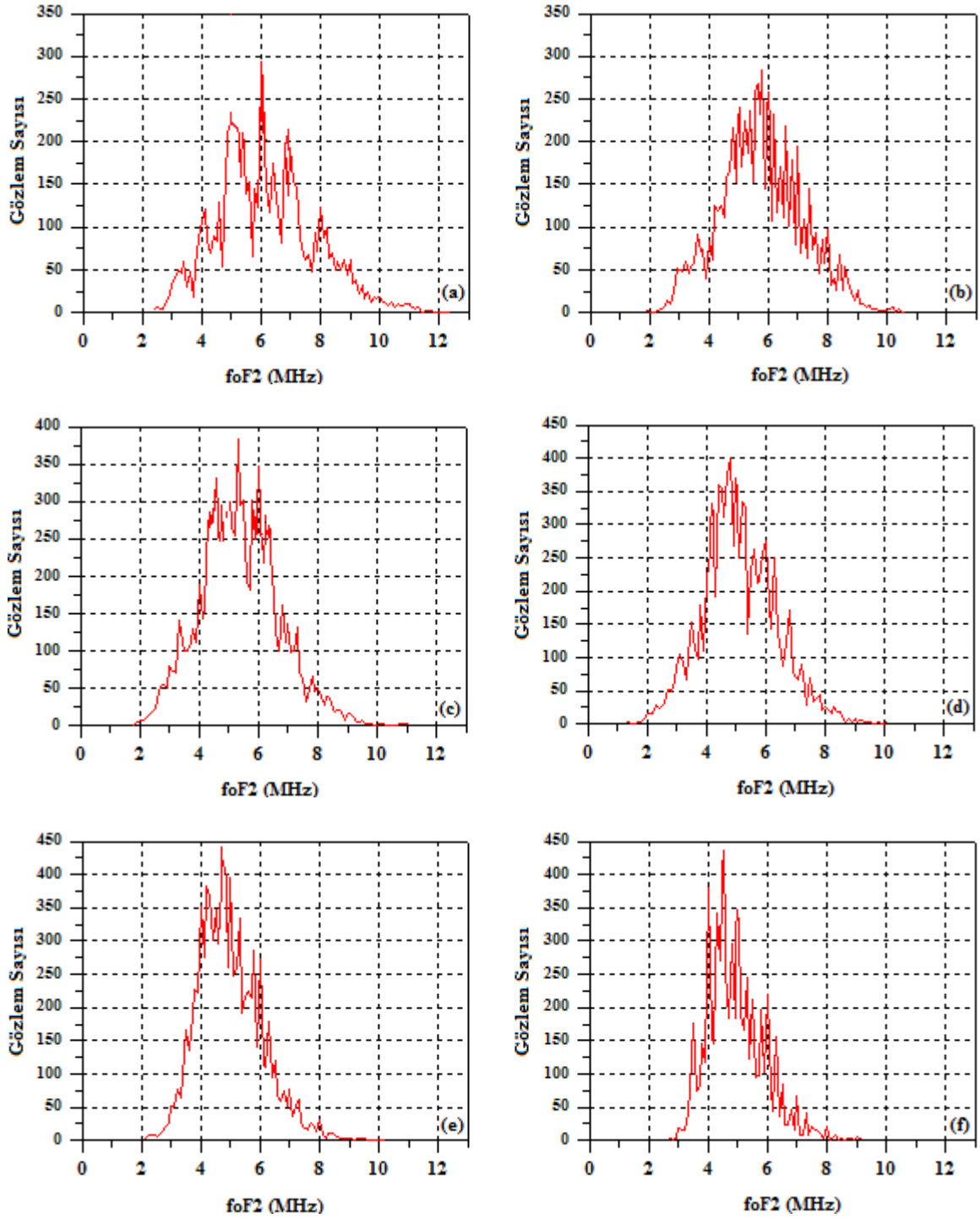
Şekil 8.36, 1982-1986 yıllarının 21 Mart dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.36. 21 Mart dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

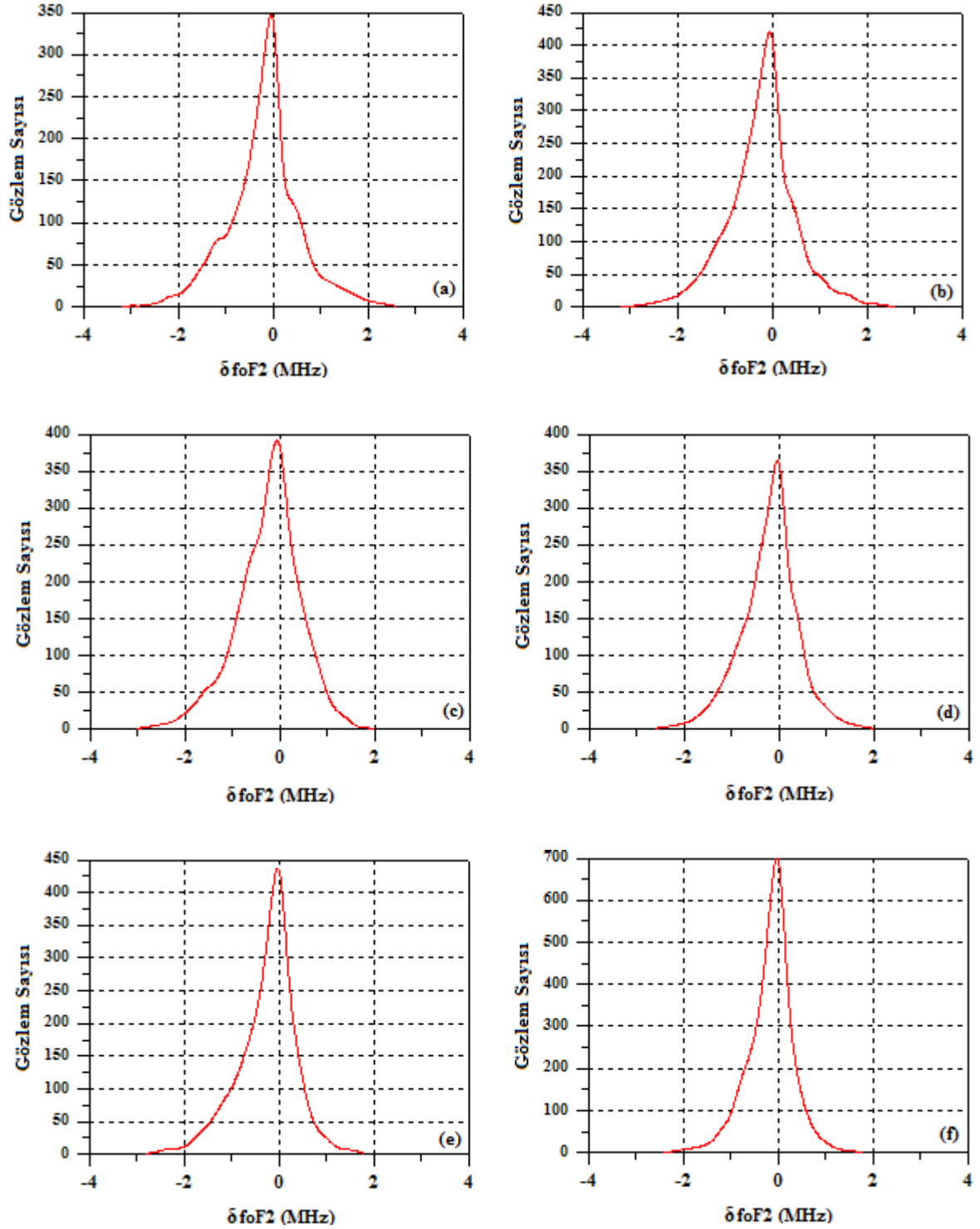
8.2.2. 21 Haziran Dönemi

Şekil 8.37, 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.37. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

Şekil 8.38, 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.38. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

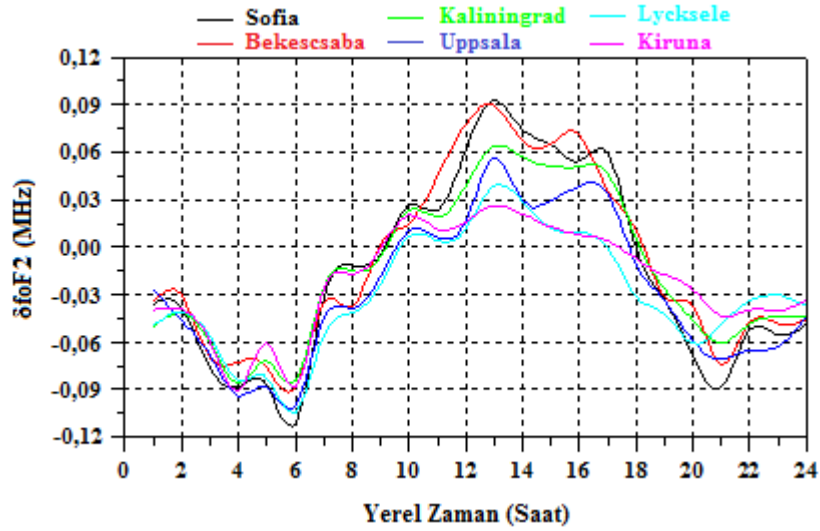
Tablo 8.6, 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.6. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	2.4 - 12.4	6.0	8.4	4.5	-3.3 - 2.6	0.0	0.83	-1.58
Bekescsaba	1.9 - 10.6	5.8	7.7	4.1	-3.2 - 2.5	0.0	0.78	-1.49
Kaliningrad	1.8 - 11.1	5.2	7.1	3.8	-3.0 - 1.8	0.0	0.72	-1.34
Uppsala	1.3 - 10.1	4.8	6.8	3.6	-2.6 - 1.9	0.0	0.63	-1.28
Lycksele	2.1 - 10.2	4.7	6.4	3.4	-2.5 - 1.7	0.0	0.68	-1.17
Kiruna	2.7 - 9.2	4.5	6.2	3.1	-2.3 - 1.6	0.0	0.54	-1.05

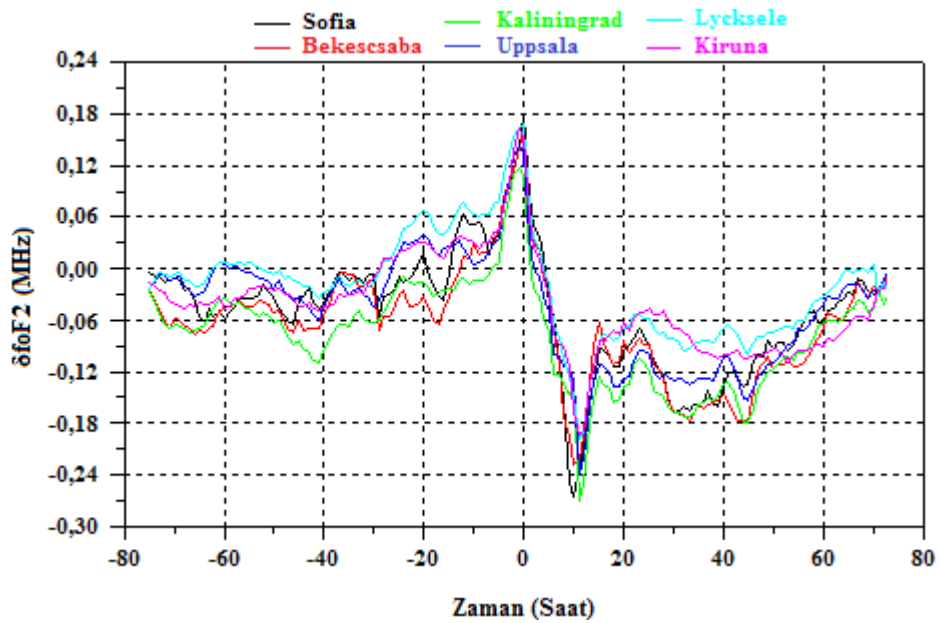
Şekil 8.37 (a-f) ve Tablo 8.6'dan görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 2,4-12,4 MHz, Bekescsaba için 1,9-10,6 MHz, Kaliningrad için 1,8-11,1 MHz, Uppsala için 1,3-10,1 MHz, Lycksele için 2,1-10,2 MHz ve Kiruna için 2,7-9,2 MHz arasında değerler almaktadır. foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerini incelediğimizde, Mart dönemine benzer şekilde tüm istasyonlar için 20. Güneş döngüsünün Haziran döneminden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu, Mart döneminde olduğu gibi 1982-1986 yılları için Güneş aktivitesinin, 1972-1976 yılları arasındaki Güneş aktivitesinden daha büyük değerlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. 20. Güneş döngüsünün Haziran dönemine benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.38 (a-f) ve Tablo 8.6 incelendiğinde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu, δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.39, 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi manyetik aktivite artışı ile δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir.



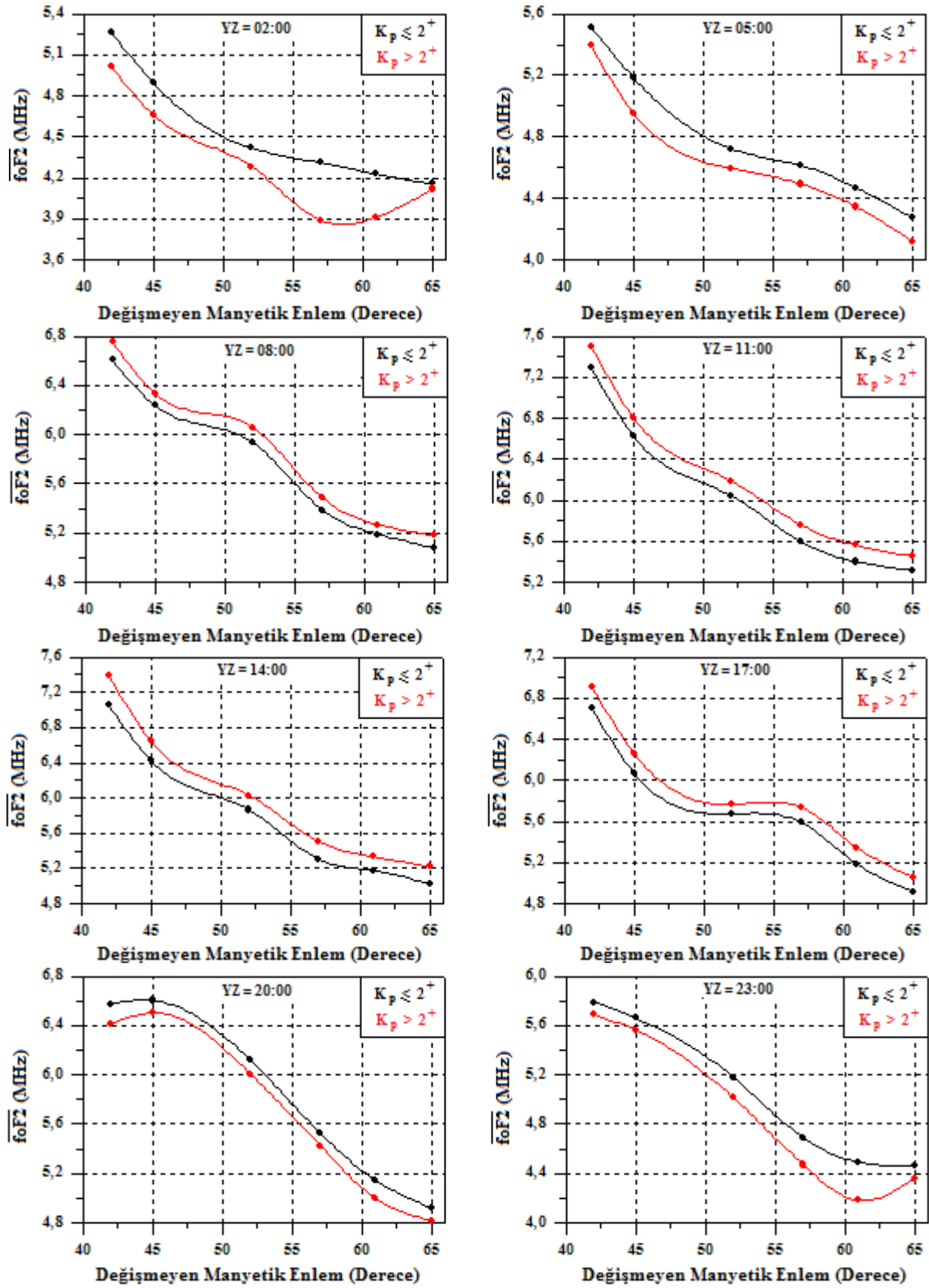
Şekil 8.39. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.40, Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 10 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 75 saat sonra denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.40. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

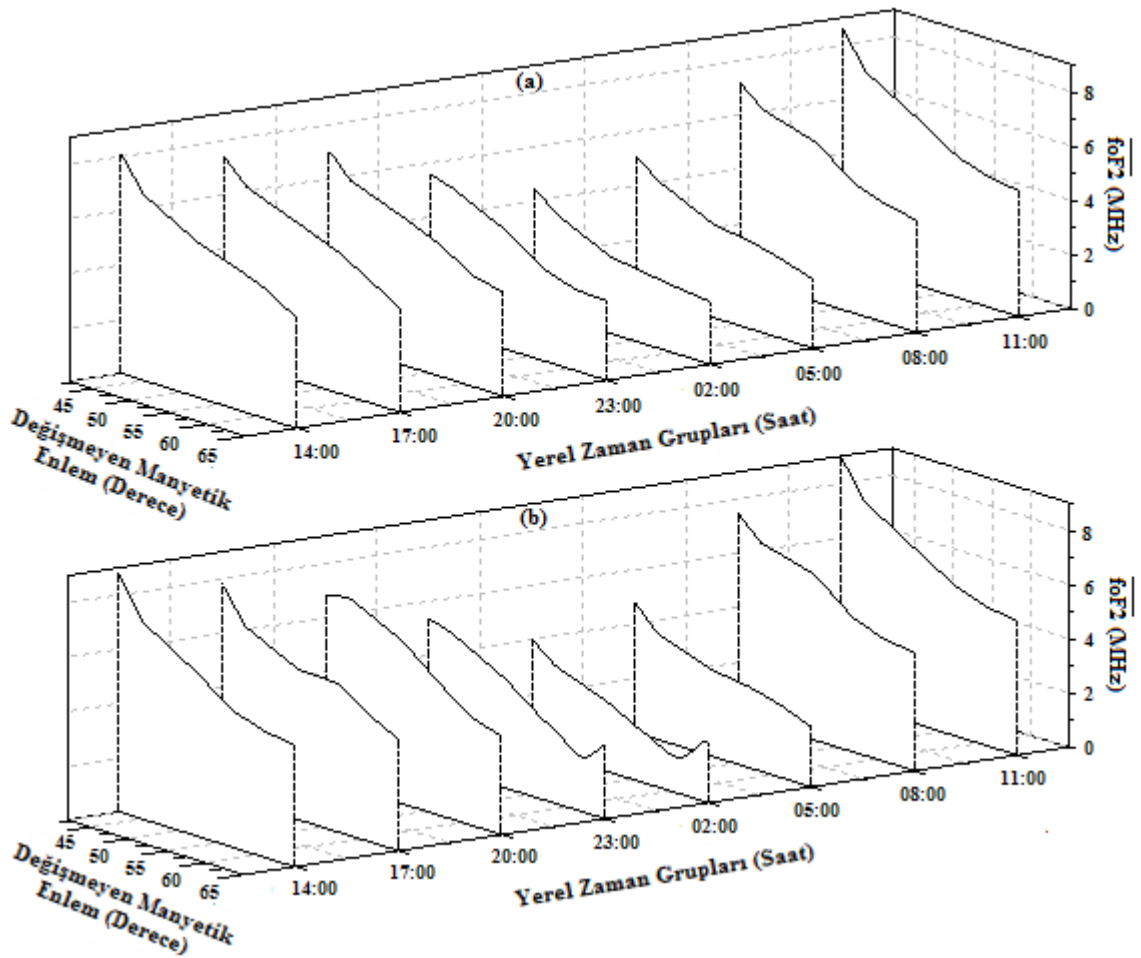
Şekil 8.41, 1982-1986 yıllarının Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.41. 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.41'den görüldüğü gibi, 20. Güneş döngüsüne benzer şekilde $K_p \leq 2^+$ durumda Mart döneminden farklı olarak tüm yerel zaman gruplarının ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik enlemin artışı ile düzenli olarak azalmaktadır. Yani hiçbir yerel zaman grubu için foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişiminde çukura benzer bir yapı tespit edilememiştir. Ancak manyetik sakin durumdan farklı olarak manyetik aktif durumda, 23:00 ve 02:00 yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimi çukura benzer yapılar sergilemektedirler. Bu yerel zaman gruplarının dışındaki saatlerin ortalama foF2 değerleri manyetik sakin duruma benzer şekilde manyetik enlemin artışı ile düzeli olarak bir azalma meydana getirmektedirler.

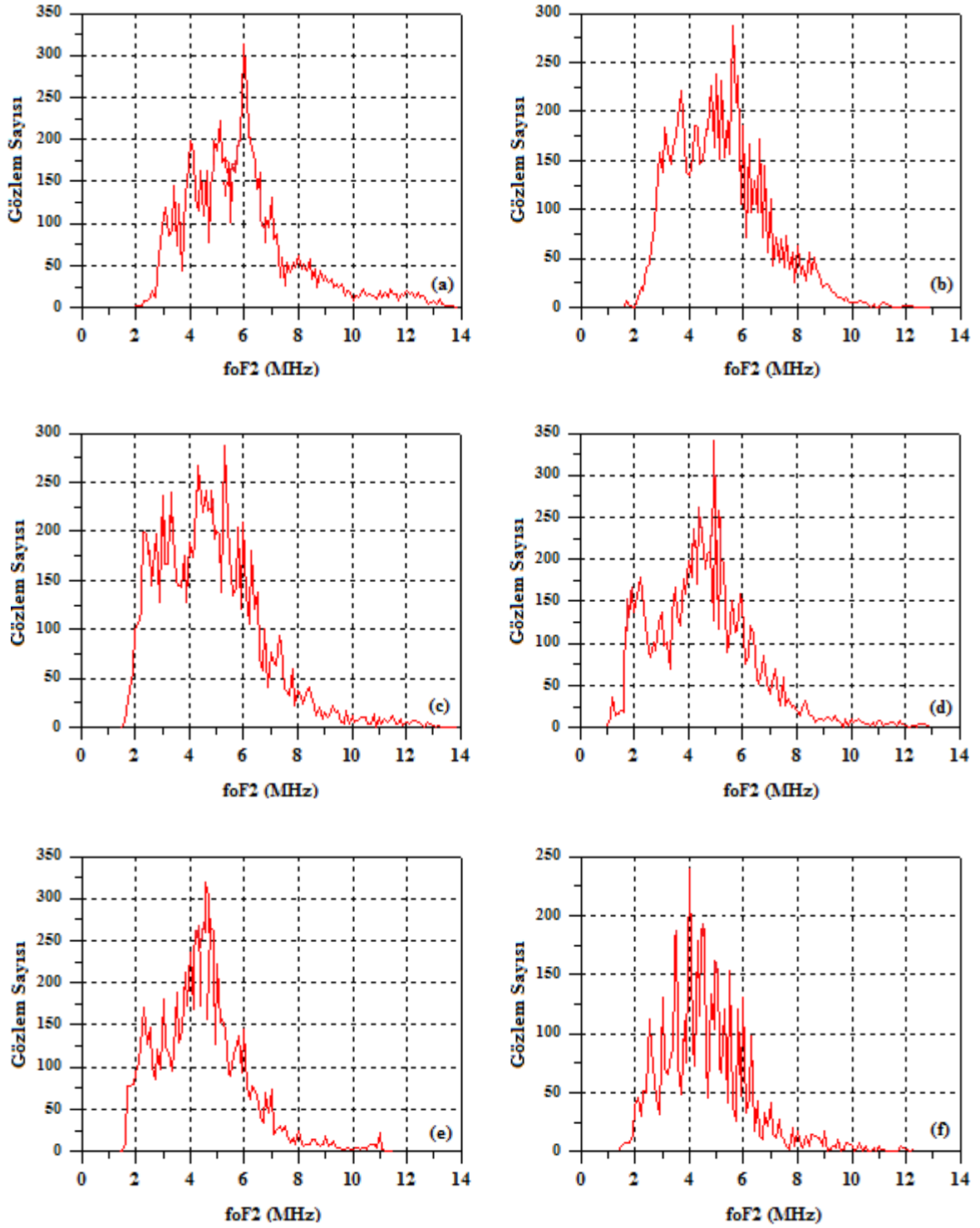
Şekil 8.42, 1982-1986 yıllarının 21 Haziran dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.42. 21 Haziran dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

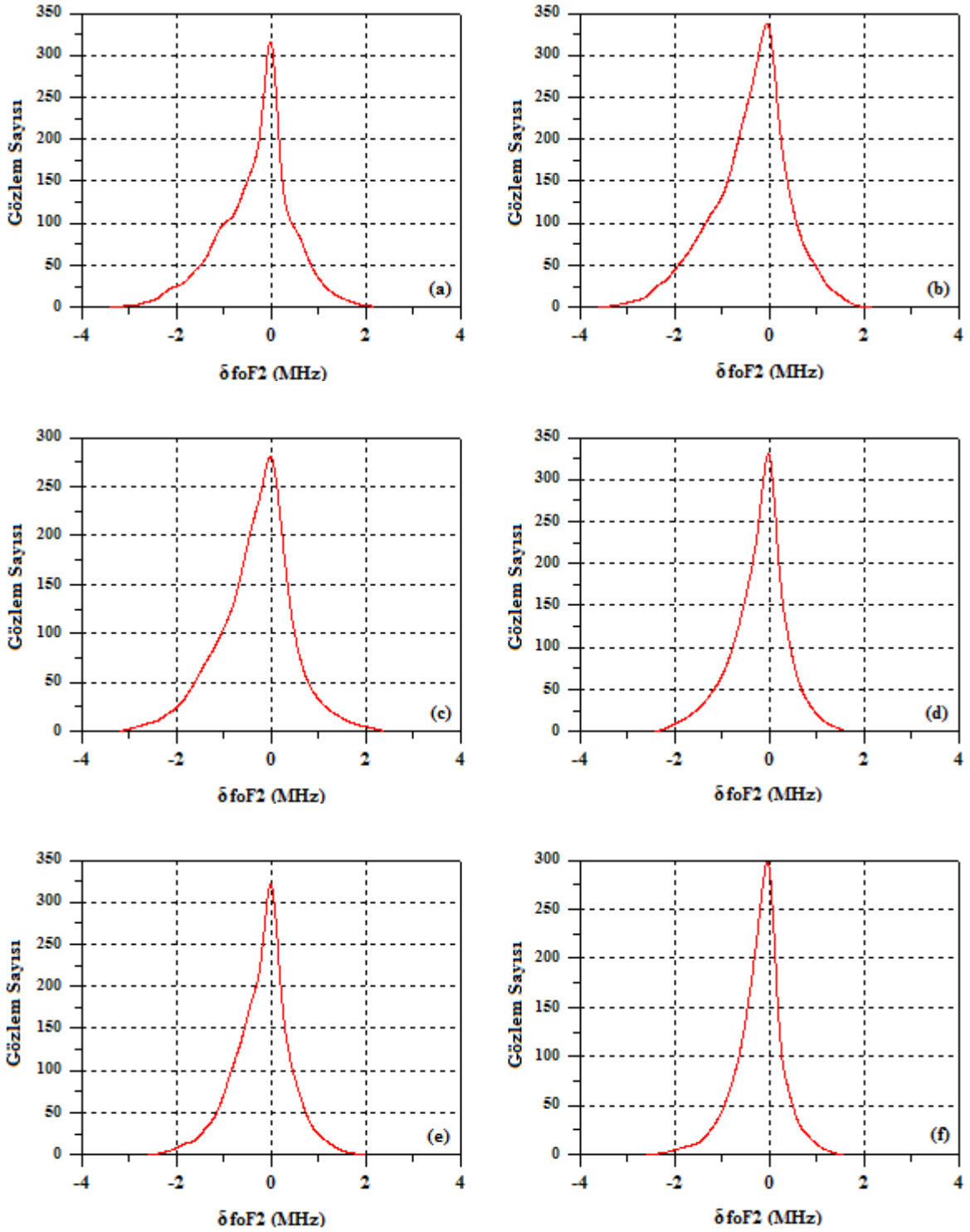
8.2.3. 23 Eylül Dönemi

Şekil 8.43, 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.43. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

Şekil 8.44, 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.44. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

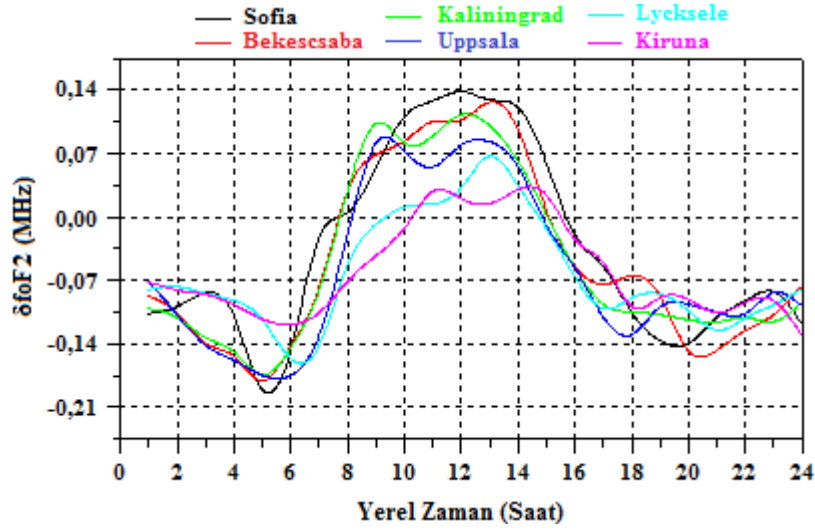
Tablo 8.7, 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.7. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	2.0 - 13.9	6.0	9.0	3.8	-3.6 - 2.2	0.0	0.75	-1.38
Bekescsaba	1.6 - 12.9	5.8	8.3	3.5	-3.5 - 2.1	0.0	0.68	-1.25
Kaliningrad	1.5 - 13.9	5.5	7.8	3.1	-3.3 - 2.3	0.0	0.60	-1.19
Uppsala	1.0 - 12.9	5.0	7.2	2.8	-2.5 - 1.7	0.0	0.50	-1.10
Lycksele	1.3 - 11.5	4.5	6.8	2.5	-2.6 - 1.8	0.0	0.58	-0.90
Kiruna	1.2 - 12.3	4.0	6.5	2.3	-2.4 - 1.5	0.0	0.43	-0.78

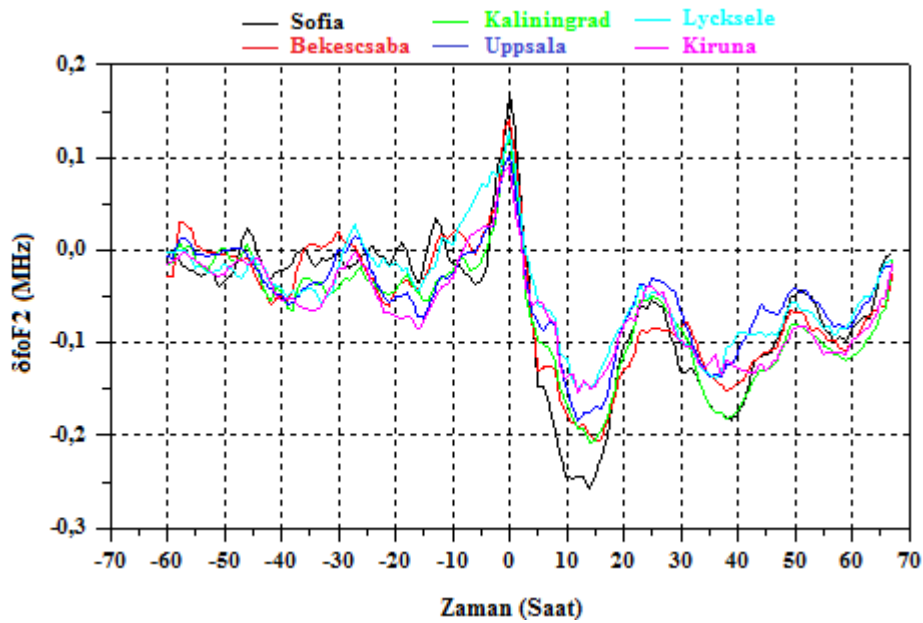
Şekil 8.43 (a-f) ve Tablo 8.7’den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 2,0-13,9 MHz, Bekescsaba için 1,6-12,9 MHz, Kaliningrad için 1,8-13,9 MHz, Uppsala için 1,0-12,9 MHz, Lycksele için 1,3-11,5 MHz ve Kiruna için 1,2-12,3 MHz arasında değerler almaktadır. foF2’nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerini incelediğimizde, Mart ve Haziran dönemlerine benzer şekilde tüm istasyonlar için 20. Güneş döngüsünün Eylül döneminden daha büyük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu, diğer mevsimlerde olduğu gibi 1982-1986 yılları için Güneş aktivitesinin, 1972-1976 yılları arasındaki Güneş aktivitesinden daha büyük değerlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. 20. Güneş döngüsünün Eylül dönemine benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, foF2’nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2’nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 8.44 (a-f) ve Tablo 8.7 incelendiğinde, tüm istasyonlar için δ foF2’nun mod değerlerinin aynı olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu, δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

Şekil 8.45, 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi manyetik aktivite artışı ile δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif, gece saatleri boyunca ise negatif sapma meydana gelmiştir.



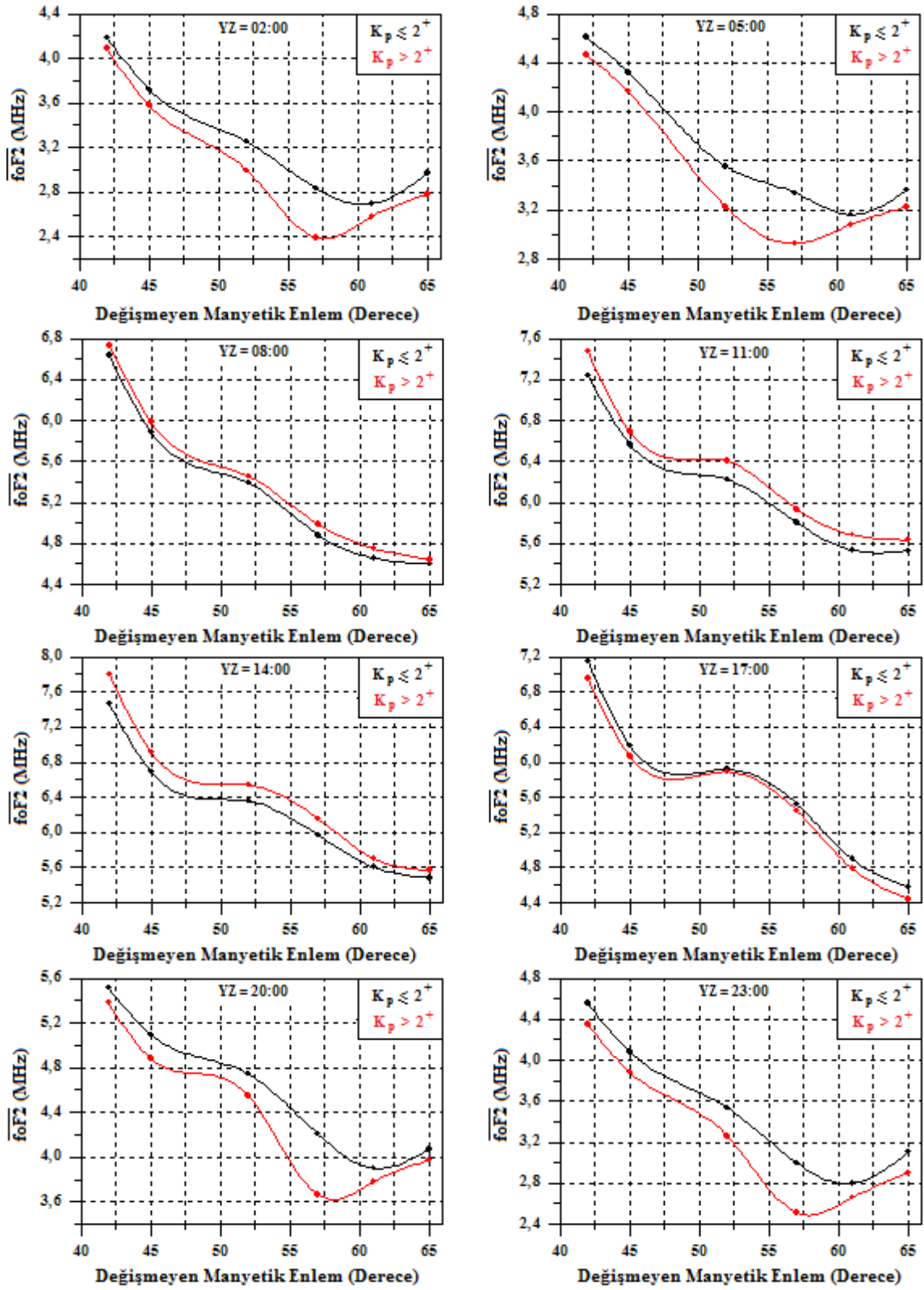
Şekil 8.45. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.46, Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 15 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 65 saat sonra denge durumuna ulaşmıştır.



Şekil 8.46. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

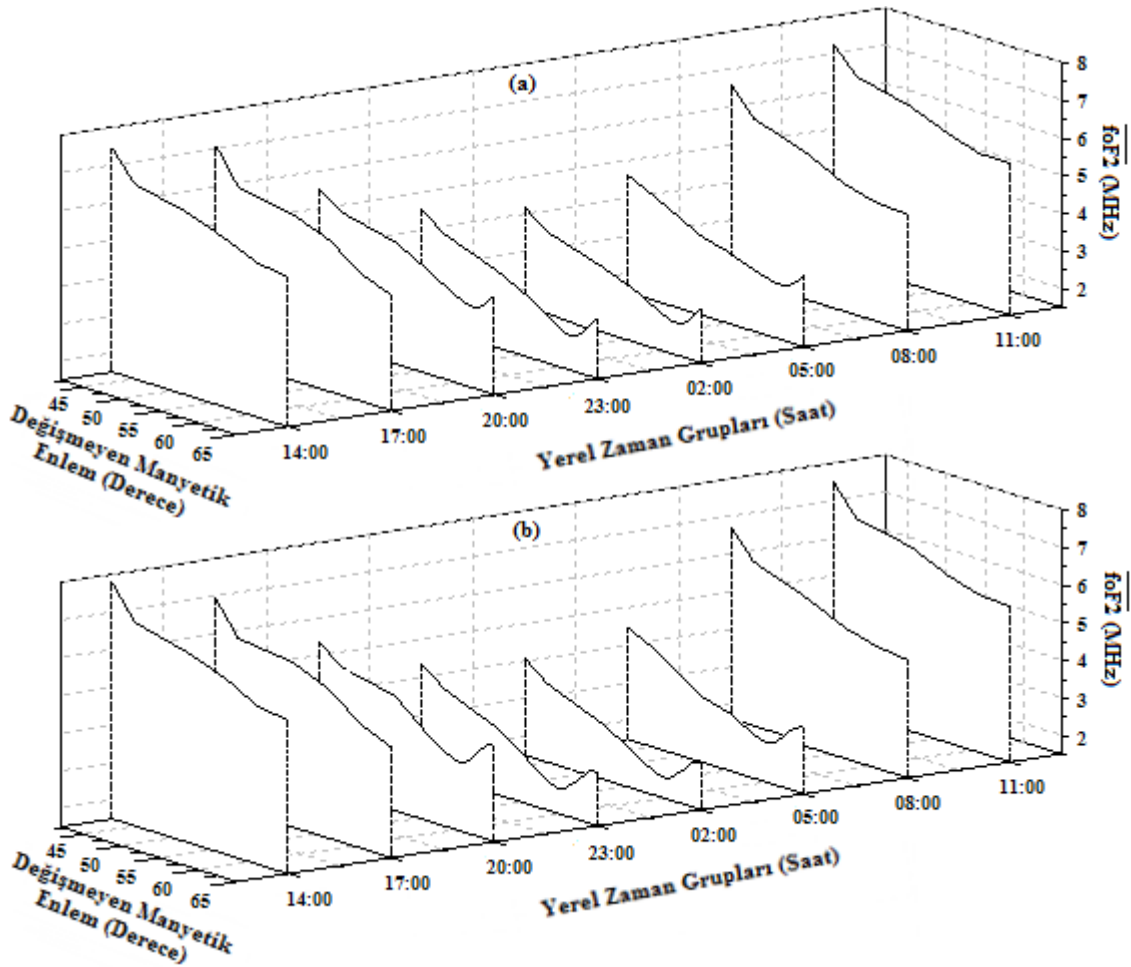
Şekil 8.47, 1982-1986 yıllarının Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.47. 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.47'den görüldüğü gibi, Mart dönemine benzer şekilde gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) içinde benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır.

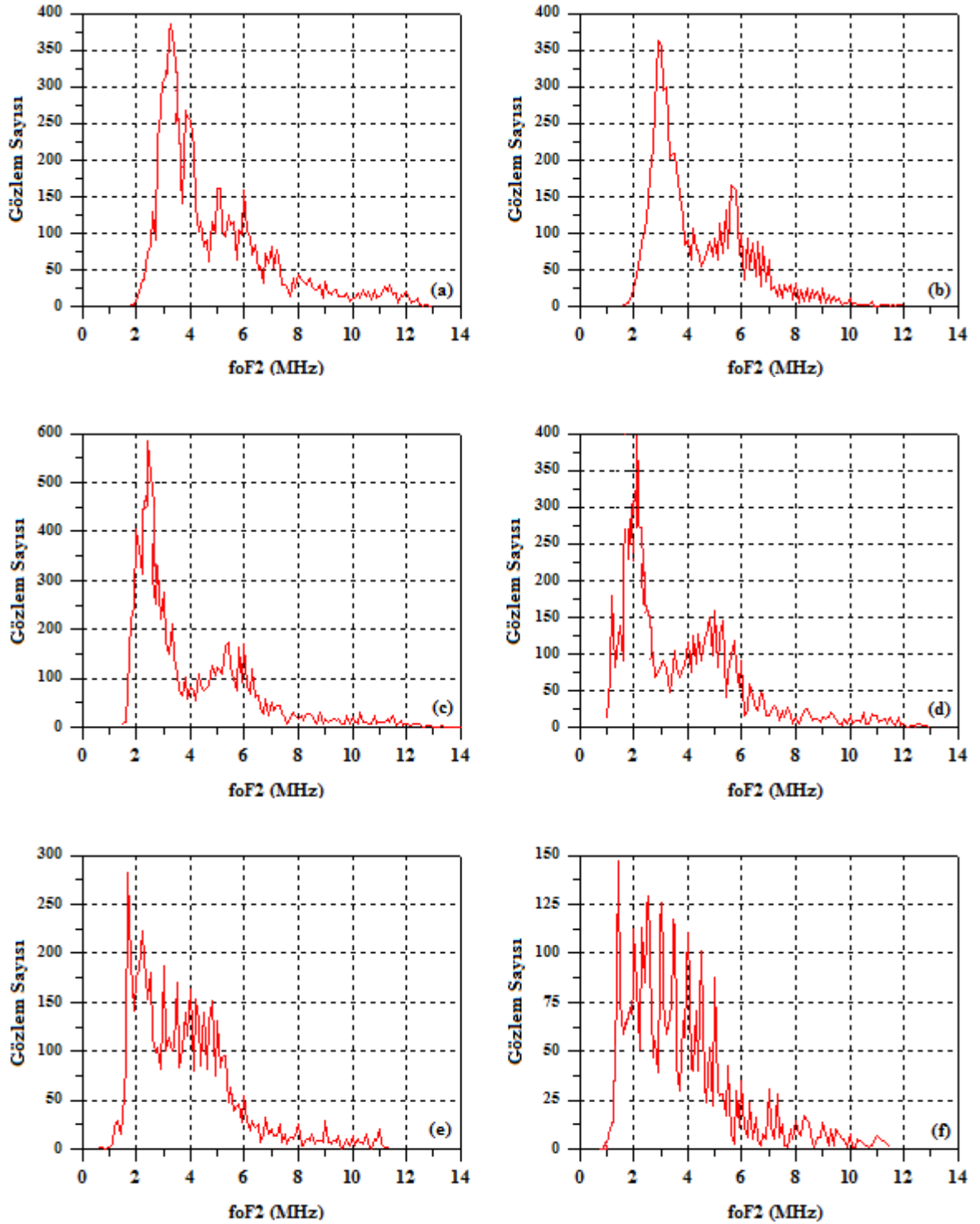
Şekil 8.48, 1982-1986 yıllarının 23 Eylül dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.48. 23 Eylül dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

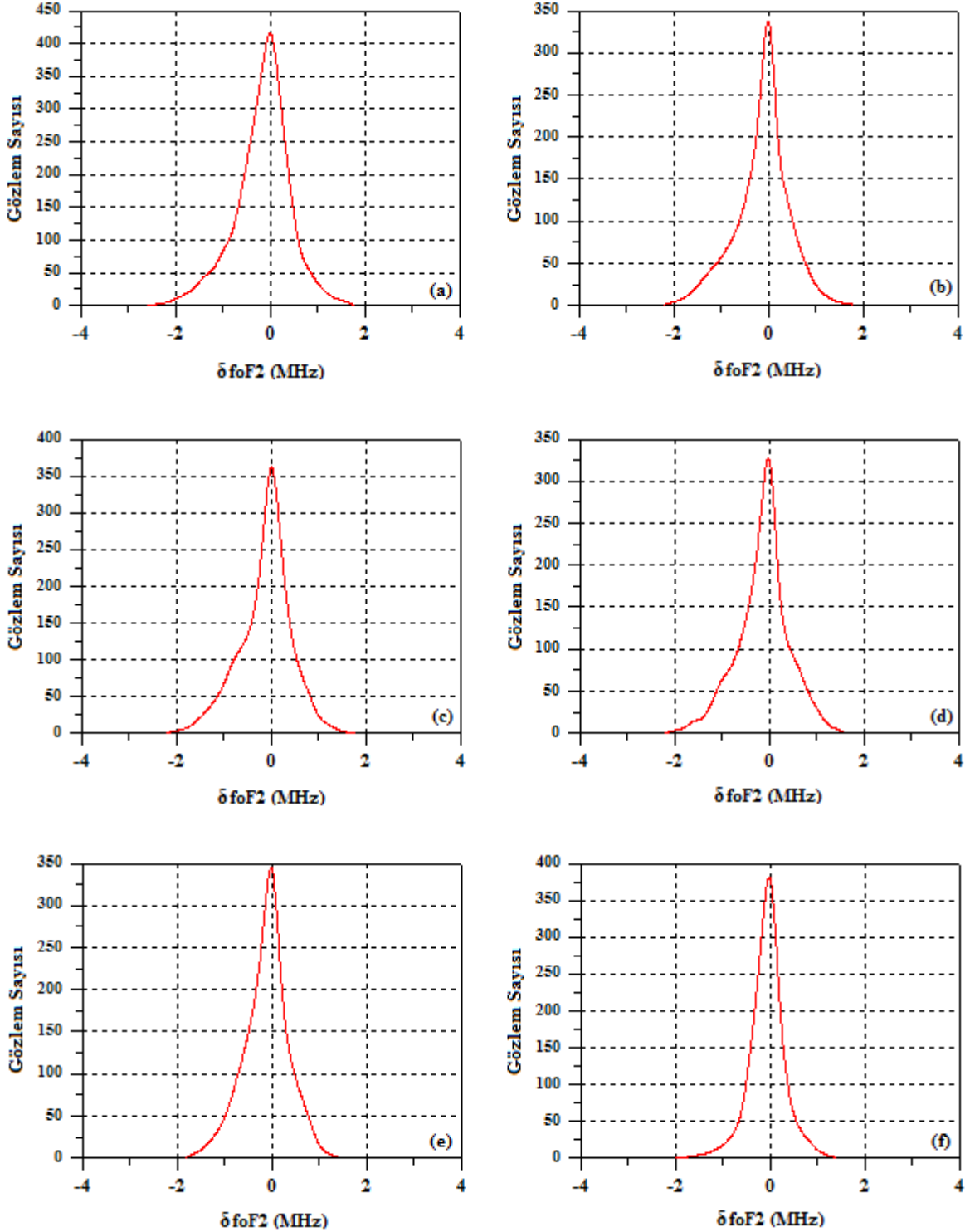
8.2.4. 21 Aralık Dönemi

Şekil 8.49, 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.49. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

Şekil 8.50, 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 8.50. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin dağılımları: (a) Sofia, (b) Bekescsaba, (c) Kaliningrad, (d) Uppsala, (e) Lycksele, (f) Kiruna

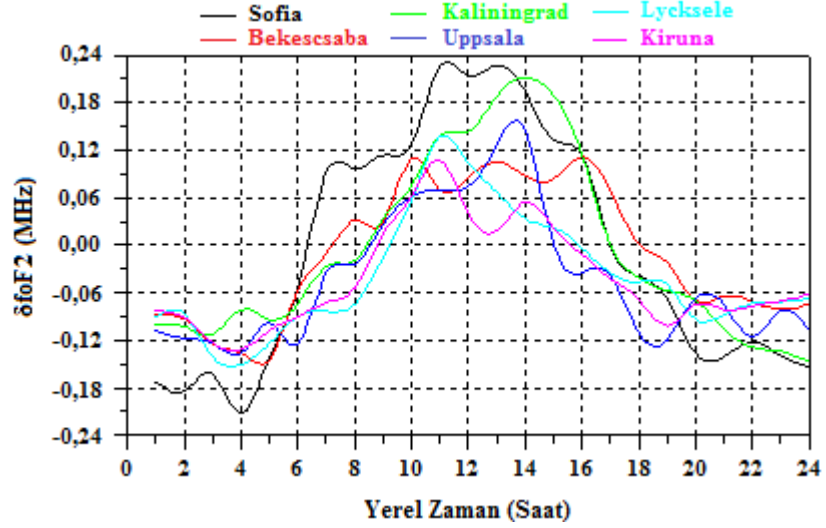
Tablo 8.8, 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonların foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçları göstermektedir.

Tablo 8.8. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için foF2 ve δ foF2 değerleri ile ilgili bazı istatistiksel sonuçlar

İstasyon Adı	foF2 (MHz)				δ foF2 (MHz)			
	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer	Uç Değerler	Mod	Üst Ondabirlik Değer	Alt Ondabirlik Değer
Sofia	1.8 - 13.0	3.3	7.6	3.3	-2.5 - 1.7	0.0	0.65	-0.73
Bekescsaba	1.6 - 12	3.0	7.3	3.1	-2.3 - 1.8	0.0	0.61	-0.68
Kaliningrad	1.5 - 13.5	2.4	6.8	2.6	-2.2 - 1.6	0.0	0.55	-0.65
Uppsala	1.0 - 13.0	2.1	6.4	2.2	-2.1 - 1.5	0.0	0.45	-0.60
Lycksele	0.6 - 11.4	1.8	6.0	1.9	-1.8 - 1.3	0.0	0.50	-0.55
Kiruna	0.4 - 11.5	1.6	5.4	1.7	-2.0 - 1.2	0.0	0.33	-0.45

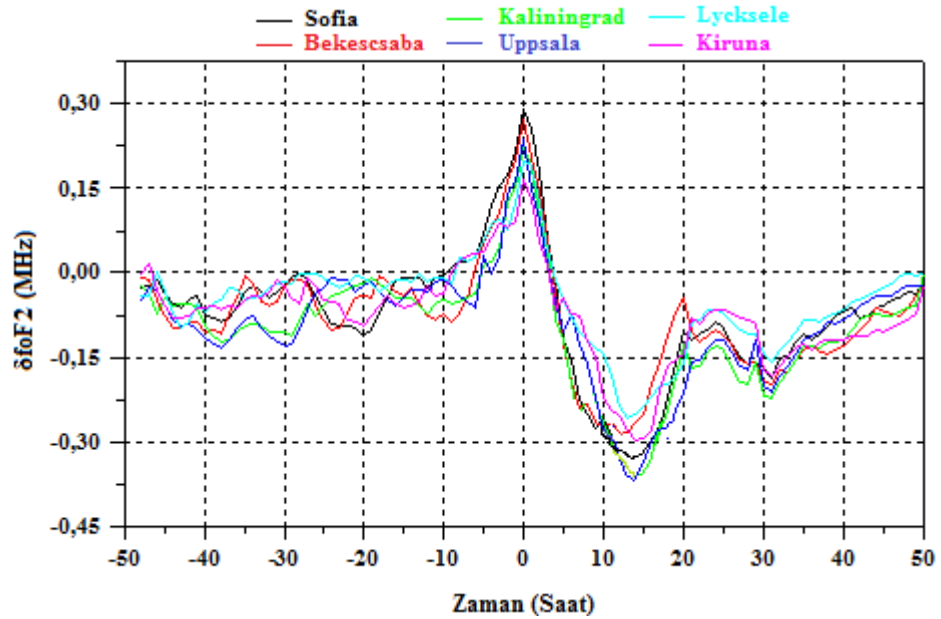
Şekil 8.49 (a-f) ve Tablo 8.8'den görüldüğü gibi, foF2, Sofia için 1,8-13,5 MHz, Bekescsaba için 1,6-12 MHz, Kaliningrad için 1,5-13,5 MHz, Uppsala için 1,0-13 MHz, Lycksele için 0,6-11,4 MHz ve Kiruna için 0,4-11,5 MHz arasında değerler almaktadır. Diğer mevsimlere benzer şekilde yüksek enlemlere doğru gidildikçe, Güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya ve Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlı olarak sırasıyla foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin ve Lycksele istasyonundaki sapma dışında δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Şekil 8.50 (a-f) ve Tablo 8.8 incelendiğinde, tüm istasyonlar için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı değere sahip olduğu ve üst-alt ondabirlik değerlerinin yaklaşık olarak simetrik değerler aldığı görülmektedir. Bu sonuçlar, tüm istasyonlar için δ foF2 değerlerinin yaklaşık normale yakın bir dağılım sahip olduğunu yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde meydana getirdiği pozitif ve negatif sapmaların benzer yapılar sergilediklerini göstermektedir.

Şekil 8.51, 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi için farklı istasyonlardan alınan saatlik foF2 değerlerinden hesaplanmış δ foF2 değerlerinin günlük değişimlerini göstermektedir. Tüm istasyonlar için δ foF2 değerlerinde genellikle gündüz saatleri boyunca pozitif yönde bir sapma, gece saatleri boyunca ise negatif yönde bir sapma meydana gelmiştir. Yani manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen bir değişimin, farklı enlemler için ölçülmüş foF2 değerlerinin günlük değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.



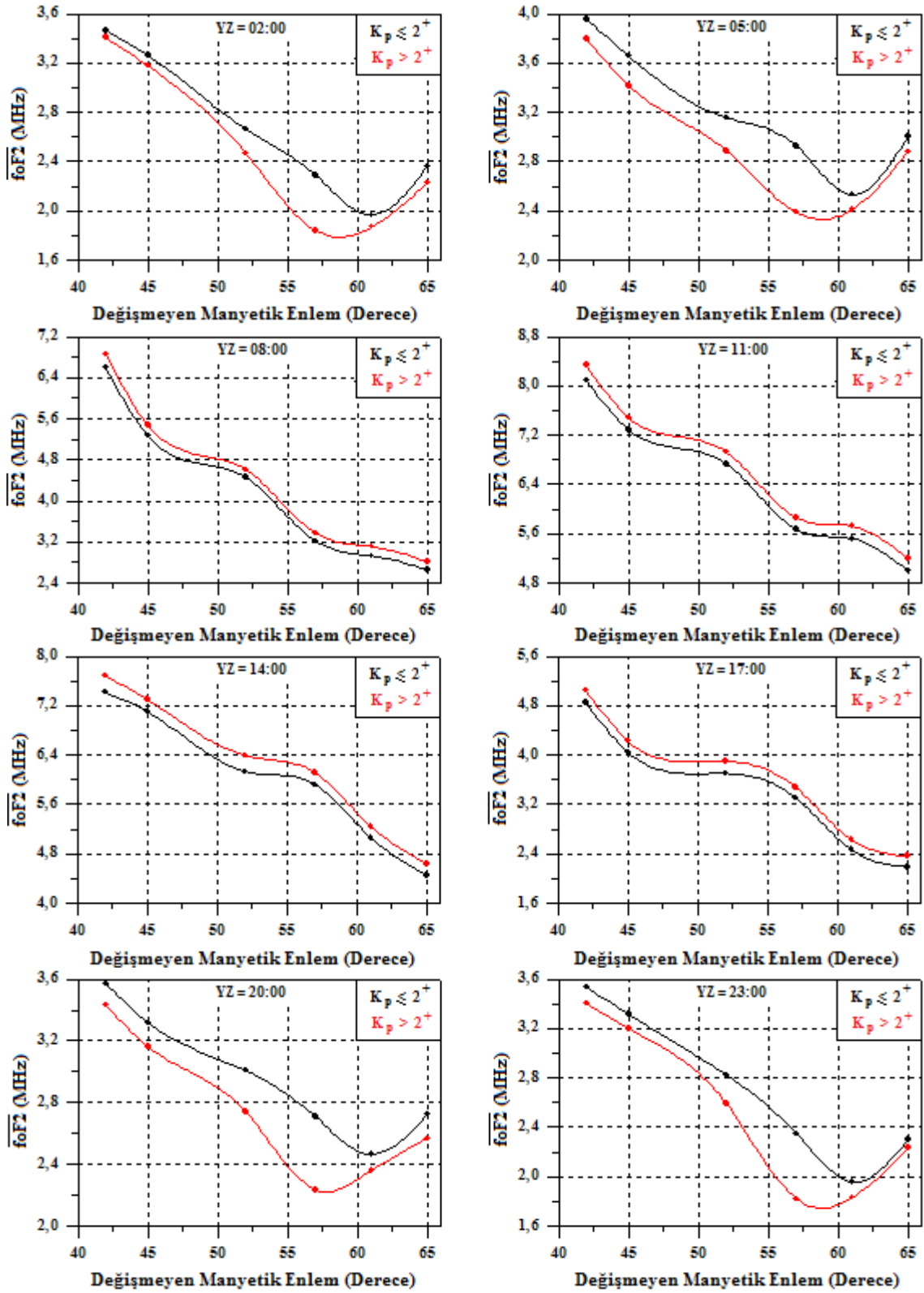
Şekil 8.51. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin günlük değişimleri

Şekil 8.52, Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimini göstermektedir. 0 zamanı, manyetik aktivite değerlerinin 2^+ dan büyük ($K_p > 2^+$) olduğu olay anıdır. Tüm istasyonlar için olay anı civarında $\delta foF2$ değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani, manyetik aktivite artışı olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirmiştir. Olay anından yaklaşık 15 saat sonra $\delta foF2$ minimum değerlerine ulaşmış ve yaklaşık 50 saat sonra denge durumuna gelmiştir.



Şekil 8.52. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı istasyonlar için üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış $\delta foF2$ değerlerinin zamana göre değişimleri

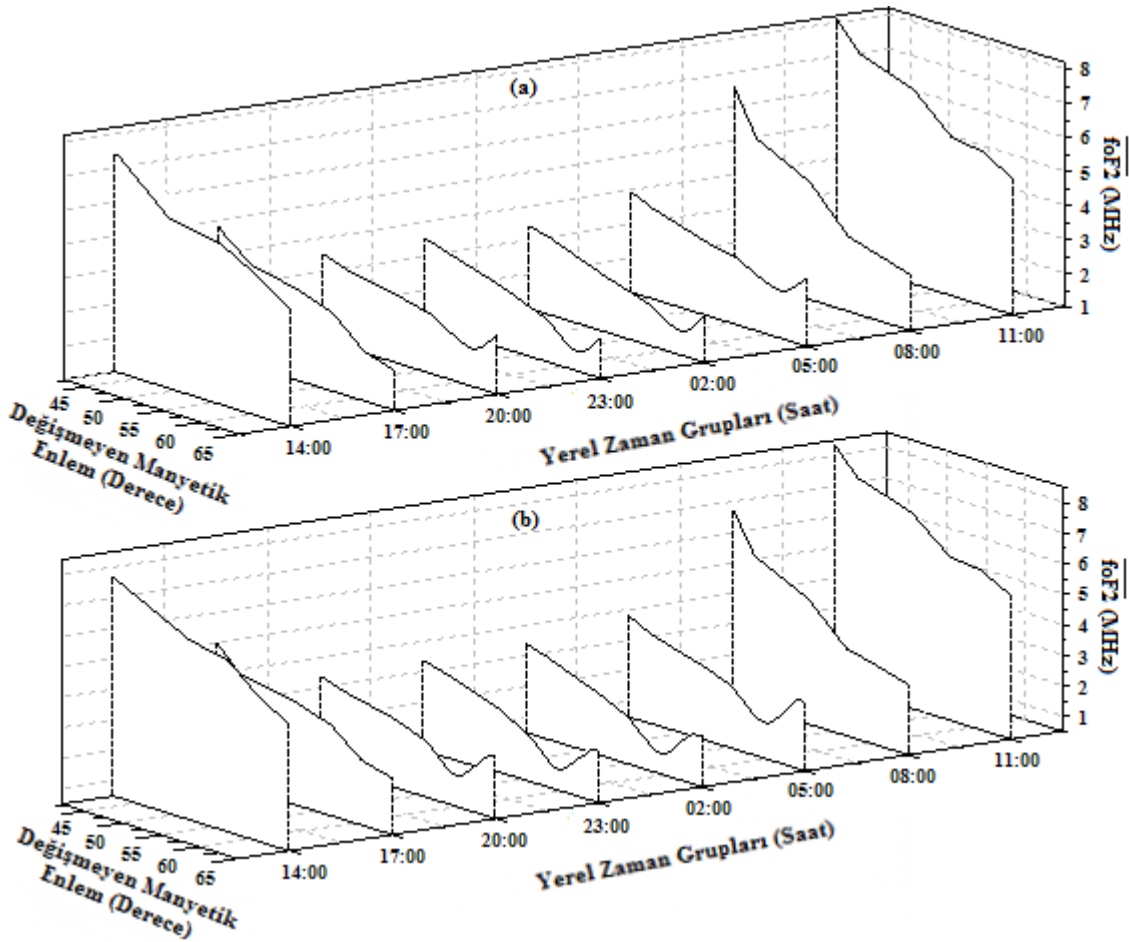
Şekil 8.53, 1982-1986 yıllarının Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerini göstermektedir.



Şekil 8.53. 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri

Şekil 8.53’de görüldüğü gibi, Mart ve Eylül dönemine benzer şekilde gündüz yerel zaman grupları için (08:00-17:00 arası) değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artışı ile ortalama foF2 değerlerinde düzenli bir azalma meydana gelmektedir. Manyetik enleme göre foF2 değerlerinde gözlemlenen bu değişimler, her iki manyetik aktivite durumu ($K_p \leq 2^+$, $K_p > 2^+$) içinde benzerlik göstermektedir. Gündüz yerel zaman gruplarından farklı olarak gece yerel zaman grupları için (20:00-05:00 arası) ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre değişimleri, hem manyetik sakin hem de manyetik aktif durumlar için çukura benzer bir yapı sergilemektedir. Ancak manyetik aktif durumda, çukura benzer yapılar daha net bir şekilde tespit edilmektedir. Ayrıca manyetik aktif durumda çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmektedir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır. Mart ve Eylül dönemiyle karşılaştırıldığında bu yapılar en net Aralık döneminde tespit edilmektedir.

Şekil 8.54, 1982-1986 yıllarının 21 Aralık dönemi boyunca farklı manyetik aktivite durumları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme değişimini göstermektedir.



Şekil 8.54. 21 Aralık dönemi boyunca farklı yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimi: (a) Manyetik sakin durum, (b) Manyetik aktif durum

9. SONUÇ

Bu çalışmada, 20. ve 21. güneş döngülerinde, güneş lekesi sayısının azaldığı 1972-1976 ve 1982-1986 dönemlerini kapsayan yıllar için orta enlem bölgesi olarak tanımlanan 30° - 70° Λ arasındaki 7 iyonsonda istasyonundan alınan saatlik foF2 verilerinin enleme ve zamana bağlı değişimleri, farklı jeomanyetik aktivite durumları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırılmış ve orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak adlandırılan yapının foF2 üzerindeki etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışma ile manyetik aktivite ve yaklaşık 550 km yükseklikte orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak tanımlanan iki fiziksel sürecin, HF haberleşmesi için çok önemli olan iyonosferik F2 tepe yüksekliklerindeki elektron yoğunluğu değişimi üzerindeki etkilerinin daha iyi tanımlanması amaçlanmaktadır. Bu fiziksel süreçlerin, orta enlem iyonosferindeki elektron yoğunluğu değişimi üzerindeki etkilerini inceleyen önceki çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, foF2 ve elektron yoğunlukları aşağıda belirtildiği gibi farklı yönlerden daha detaylı olarak incelenmiştir.

1. foF2 verileri, iki farklı güneş döngüsünün azalan dönemlerindeki 5'er yıllık periyotlar için geniş bir değişmeyen manyetik enlem bölgesi içinde yer alan 7 iyonsonda istasyonundan alınmıştır. Böylece, iyonosferdeki elektron yoğunluğu değişimine etki eden fiziksel süreçlerin etkileri, daha uzun bir dönem ve daha geniş bir enlem bölgesi için incelenmiştir. Ayrıca, farklı güneş döngüleri için elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak, değişen güneş aktivitesinin farklı mevsim, farklı yerel zaman ve farklı enlemler için foF2 üzerinde meydana getirdiği etki araştırılmıştır.
2. Doğrusal ara değer bulma yöntemi kullanılarak, 3 saatlik K_p değerlerinden saatlik K_p değerleri hesaplanmıştır. Böylece, manyetik aktivite değişiminin ve orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun foF2 üzerindeki etkisi daha doğru bir şekilde her bir yerel zaman için incelenmiştir.
3. Orta enlem bölgesinde jeomanyetik aktivite değişiminin foF2 üzerindeki etkisini incelemek için iki güneş döngüsünün her mevsimi boyunca tüm istasyonlardan alınan foF2 verilerinin ve foF2 verilerinden hesaplanan δ foF2 verilerinin dağılımlarına bakılmış ve bu dağılımların alt-üst ondabirlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca foF2 değerlerinin ölçüldüğü dönemler boyunca jeomanyetik aktivitenin iyonosfer üzerindeki etkisini daha iyi tanımlamak ve iyonosferin jeomanyetik aktivite değişimine karşı

verdiği tepkinin büyüklüğünü daha iyi ölçmek için üst üste binmiş dönem analizi uygulanmıştır.

4. Orta enlem elektron yoğunluğu çukuru ile ilgili şimdiye kadar yapılan çalışmalar genellikle 500 km yükseklik üzerinde ölçüm yapan uydu verileri ile sınırlıdır. Bu çalışmada, yaklaşık 250 km yükseklikten ölçülmüş foF2 verileri kullanılarak orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun daha düşük iyonosferik yüksekliklerdeki etkisi farklı mevsim, farklı yerel zaman ve farklı jeomanyetik aktivite durumları için daha detaylı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, 500 km üzerinde ölçülmüş elektron yoğunluğu sonuçları ile karşılaştırılarak elektron yoğunluğu çukurunun farklı yüksekliklerdeki davranışı ortaya konmuştur.
5. 20. Güneş döngüsünün Aralık dönemi boyunca çukurun gözlemlendiği gece saatleri için ortalama foF2 verileri ile ortalama elektron yoğunluğu verilerinin serpilme diyagramları çizdirilmiş ve her yerel zaman grubu için farklı yükseklikte ölçülmüş bu iki verinin korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Böylece, orta enlem bölgesinin iyonosferik F2 tepe yüksekliklerindeki elektron yoğunluğunun değişiminde etkili olan fiziksel parametreler daha iyi tanımlanabilir ve daha güvenilir foF2 sonuçları veren deneysel elektron yoğunluğu çukuru modelleri oluşturulabilir. Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

20. ve 21. güneş döngülerinin tüm mevsimleri için foF2'nun mod, üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerleri, değişmeyen manyetik enlemin artışı ile bir azalma eğilimi ortaya koymaktadır. foF2 değerlerinde gözlemlenen bu eğilim, yüksek enlemlere doğru gidildikçe güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya bağlı olarak iyonosferin elektron yoğunluğunda meydana gelen azalma ile ilişkilidir [101, 102].

Her iki güneş döngüsünün tüm mevsimleri için foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinde enlemsel olarak gözlemlenen bu azalmaya benzer şekilde, $\delta foF2$ 'nin üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin de yaklaşık $61^\circ \Lambda$ 'da bulunan Lycksele istasyonunun üst ondabirlik değerlerinde gözlemlenen sapma dışında, değişmeyen manyetik enlem değerlerinin artması ile azaldığı görülmektedir. $\delta foF2$ 'nin üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinde enlemsel olarak gözlemlenen bu azalma ise, Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki küçülmeye bağlıdır. Enlemsel olarak Yer'in manyetik alanının yatay bileşenindeki bu azalmanın sonucunda, iyonosferdeki yüklü parçacıklar üzerinde

etkili olan ve $\mathbf{V} = \frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2}$ ile ifade edilen sürüklenme hızının büyüklüğü azalmaktadır.

Böylece, yüksek enlem bölgesindeki elektromanyetik sürüklenmenin etkisi, orta enlem bölgesine göre daha az hissedilmektedir.

Yüksek enlemelere doğru gidildikçe manyetik aktivitenin foF2 üzerindeki etkisinde beklenen bu azalmanın Lycksele istasyonunda farklı bir yapı sergilemesi ise, bu istasyonun güneş fırtınaları boyunca yüksek enerjili parçacıkların iyonofere girmesi sonucu meydana gelen ve auroral oval olarak adlandırılan yapıya yakın bir konumda bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [103-110].

δ foF2 değerlerinin üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinde gözlemlenen bu enlemsel değişimlere ek olarak, her iki güneş döngüsünün tüm mevsimleri için δ foF2'nun mod değerlerinin aynı olduğu ve üst ondabirlik değerlerle karşılaştırıldığında alt ondabirlik değerlerin mod değerinden daha fazla uzaklaştığı görülmektedir. Bu, δ foF2 değerlerinin sola çarpık bir dağılım sergilediğini yani manyetik aktivite değişiminin δ foF2 üzerinde daha fazla negatif sapma meydana getirdiğini göstermektedir.

20. ve 21. güneş döngülerinde foF2 ve δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerleri arasında tespit edilen temel farklılık, 1982-1986 yılları için hesaplanan foF2 ve δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinin, 1972-1976 yılları için hesaplanan foF2 ve δ foF2'nun üst ondabirlik ve alt ondabirlik değerlerinden daha büyük olmasıdır. Bu farklılık, 1982-1986 yıllarındaki güneş lekeleri sayısının, 1972-1976 yılları arasındaki güneş lekeleri sayısından daha büyük değerlere sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bunun sonucunda, güneş fırtınalarından kaynaklı jeomanyetik aktivitenin Yer'in manyetosferi ve iyonosferi üzerindeki etkisi artarak, foF2 ve δ foF2'nun 1982-1986 yılları arasında daha büyük değerler almasına neden olmuştur.

Üst üste binmiş dönem analizi kullanılarak hesaplanmış δ foF2 değerlerinden, her iki güneş döngüsünün tüm mevsimleri için olay anı civarında δ foF2 değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu, manyetik aktivite artışının olay anlarında iyonosfer üzerinde pozitif bir etki meydana getirdiğini göstermektedir. Olay anından yaklaşık 10 ile 15 saat sonra δ foF2 minimum değerlerine ulaşmaktadır. δ foF2 değerlerinin denge durumuna gelmesi için geçen süre ise, Yer'in manyetik ekvatorunun Güneş'e göre konumundaki değişime bağlı olarak mevsimsel değişimler göstermektedir.

Ortalama foF2 değerlerinin enlemsel değişimlerinden elde edilen sonuçlar, farklı mevsim ve farklı jeomanyetik aktivite durumlarında gece ve gündüz yerel zaman grupları için foF2 değerlerinin Λ 'ya göre değişimlerinin birbirinden farklı davranışlar sergilediklerini göstermektedir. Her iki jeomanyetik aktivite durumu ve tüm mevsimler boyunca, gündüz yerel zaman gruplarındaki ortalama foF2 değerleri değişmeyen manyetik

enlemin artışı ile düzenli olarak azalan bir yapı sergilerken, gece yerel zaman grupları için ise çukura benzer bir yapıya sahiptir. Gece ve gündüz yerel zaman grupları için ortalama foF2 değerlerinin manyetik enleme göre ortaya koyduğu bu farklı davranış, gece ve gündüz saatlerindeki plazmasfer ve manyetosferin yapısı ile önemli benzerlikler göstermektedir. Gece saatleri boyunca plazmasfer ve manyetosfer sınırları arasındaki bölge daha geniş bir yapıda olduğundan dolayı, 40°-70° Λ arasında manyetik alan çizgilerinin sayısı azalmaktadır. Buna bağlı olarak, bu bölgenin plazma yoğunluğunda da büyük ve ani azalmalar meydana gelir. Bu durum çukurun neden gece saatleri boyunca gözlemlendiğini açıklamaktadır. Buna ek olarak, gündeğumundan (06:00) kısa bir süre sonra, ultraviyole ve X-ışınlarının iyonlaştırıcı etkisinin artmasına bağlı olarak çukurun elektronlar ile dolmasından kaynaklı gündüz saatleri boyunca çukur gözlemlenmemektedir.

Tüm mevsimler için manyetik aktif durumdaki çukurlar, daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmiştir ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymıştır. Jeomanyetik aktivite artışı ile tespit edilen bu durum, güneş rüzgârları ile Yer'in manyetik alanının etkileşimi sonucu oluşan elektrik alanının, plazmasfer bölgesinde meydana getirdiği sürüklenme hareketinden kaynaklanmaktadır. Bu elektrik alan, plazmasferdeki yüklü parçacıklar üzerinde $\frac{\mathbf{E} \times \mathbf{B}}{B^2}$ ile ifade edilen bir sürüklenme hızı (\mathbf{U}_p) meydana getirir. Bu sürüklenmenin yönü, gece tarafında Yer'e doğru iken gündüz tarafında Yer'den uzaya doğrudur. Bu sürüklenme hızı, plazmasferin sınırını ve konumunu belirleyen en önemli fiziksel parametredir. Jeomanyetik aktivite artışı ile bu hız vektörünün büyüklüğü artar ve plazmasfer sınırının gece tarafında daralmasına, gündüz tarafında da genişlemesine neden olur. Bunun sonucunda, jeomanyetik aktif koşullar altında gece saatleri için plazmasfer sınırı, iç manyetosfer bölgesinden daha fazla uzaklaşır ve plazmasfer sınırı daha düşük değişmeyen manyetik enlem değerlerine doğru kayar. Buna bağlı olarak, çukurlar daha düşük manyetik enlemler arasında meydana gelmekte ve çukurların minimum noktaları daha düşük enlemlere doğru kaymaktadır.

Ortalama foF2 değerlerinin Λ 'ya göre değişiminden tespit edilen çukura benzer yapıların oluşumu, mevsimlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Her iki güneş döngüsü için de çukura benzer yapıların en az gözlemlendiği mevsim Haziran dönemi iken, en fazla gözlemlendiği mevsim Aralık dönemidir. Mevsimler arasında gözlemlenen bu farklılık, Yer'in manyetik ekvatorunun Güneş'e göre konumundaki mevsimsel değişimlerden kaynaklanmaktadır.

20. Güneş döngüsünün Aralık dönemi boyunca çukurun gözlemlendiği gece saatleri için ortalama foF2 verileri ile ortalama elektron yoğunluğu verileri arasında yapılan istatistiksel analizlerden, veriler arasındaki en yüksek ilişkinin, korelasyon katsayı değerinin 0,95 olduğu 19:30 YZG için ölçülen ortalama elektron yoğunlukları ile 20:00 YZG için ölçülen ortalama foF2 değerleri arasında meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, elektron yoğunluğu ile foF2 verileri arasındaki ilişkinin, günbatımı saatinden gündeğümü saatine doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Korelasyon sabiti değerlerindeki bu azalma, günbatımından gündeğümüne doğru gidildikçe foF2 değerlerinin minimum noktalarındaki kaymanın, elektron yoğunluklarının minimum değerlerinde meydana gelen kaymadan daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum, yaklaşık 550 km yükseklikte günbatımı ile gündeğümü saatleri arasında plazmasfer sınırını belirleyen elektromanyetik sürüklenmenin düşük yüksekliklerde daha az etkili olmasından kaynaklanmaktadır. Korelasyon sabiti değerlerinin küçük olduğu, 01:30-02:00 ile 04:30-05:00 YZG için foF2 verilerinin minimum noktaları yaklaşık 5° Λ sola (daha düşük Λ değerine) kaydırıldığında, elektron yoğunluğu verileri ile foF2 verileri arasındaki ilişki en büyük değerine ulaşmaktadır. Korelasyon sabitinin en büyük değerine ulaştığı bu nokta, elektron yoğunluğu verilerinin minimum noktası ile foF2 verilerinin minimum noktasının çakıştığı manyetik enlem değeridir.

Bu sonuçlar, manyetik aktivite seviyesinde meydana gelen değişimlerin ve orta enlemlerin yaklaşık 550 km yüksekliklerinde manyetosferik plazma sınırı olarak adlandırılan yapının, iyonosferin daha düşük yüksekliklerdeki elektron yoğunluğunun değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu ve daha düşük yüksekliklerde ölçülen foF2 verilerinin farklı yerel zaman, farklı mevsim ve farklı jeomanyetik aktivite durumu için değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerinin, önemli benzerliklere sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılarak, elektron yoğunluğu çukuru ile ilgili ileride yapılabileceği düşünülen çalışmalar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Yarı deneysel modellerde çukur tanımı güncellenerek daha güvenilir foF2 tahminleri yapan modeller geliştirilebilir.
- Elektron yoğunluğu çukurunun gözlemlendiği orta enlem bölgesindeki iyonosferi tanımlayan fiziksel parametrelerin bu yapıya bağlı değişimleri incelenebilir.
- Jeomanyetik aktif durum için Ariel 4 uydusu verileri kullanılarak elektron yoğunluğu çukurunu inceleyen çalışmalar yapılmadığından dolayı, bu durum için elektron yoğunluğu çukuru incelenerek elde edilen sonuçlar foF2 verileri ile karşılaştırılabilir.

10. KAYNAKLAR

- [1] H. Rishbeth ve O. K. Garriott, *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York, 1969, 126-189.
- [2] M. Banks ve G. Kockarts, *Aeronomy Part A*, Academic Press, New York, 1973, 1-17.
- [3] M. C. Kelley, *The Earth's Ionosphere (Plasma Physics and Electrodynamics)*, Academic Press, New York, 1989, 300-350.
- [4] M. H. Rees, *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*, Cambridge University Press, 1989, 85-140.
- [5] O. Gökçöl, “*Interplanetary Magnetic Field and Its Possible Effects on the Ionospheric Critical Frequencies*”, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Turkey, 1991.
- [6] R. W. Schunk ve A. F. Nagy, *Ionospheres*, Cambridge University Press, New York, 2000, 134-150, 214-230, 314-364, 422-434.
- [7] G. W. Prölss, *Physics of the Earth's Space Environment*, Springer-Verlag Press, Berlin-Heidelberg-New York, 2004, 209-272.
- [8] D. B. Muldrew, *F-layer ionisation troughs deduced from Alouette data*, **J. Geophys. Res.**, 70, (1965), 2635-2650.
- [9] G. W. Sharp, *Mid-latitude trough in the night ionosphere*, **J. Geophys. Res.**, 71, (1966), 1345-1356.
- [10] 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.
- [11] Y. K. Tulunay, “*The Topside Ionosphere as Observed by the Satellite Ariel 3*”, PhD Thesis, Birmingham University, Department of Space Research, England, 1972.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Y. K. Tulunay, *Global electron density distributions from the Ariel 4 satellite at mid-latitudes during quiet magnetic periods*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 35, (1973), 233-254.

- [15] J. M. Grebowsky, Y. K. Tulunay ve A. J. Chen, *Temporal variations in the dawn and dusk mid-latitude trough position and plasmopause*, **Planet. Space Sci.**, 22, (1974), 1089-1099.
- [16] Y. K. Tulunay, *Mid-latitude ionosphere as observed by satellites Ariel-3 and Ariel-4*, **B. Am. Meteorolog. Soc.**, 55:6, (1974), 650-650.
- [17] Y. K. Tulunay ve J. M. Grebowsky, *Temporal variations in dawn and dusk mid-latitude trough positions*, **EOS Trans. American Geophys. Un.**, 56:3, (1975), 172-172.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Y. K. Tulunay ve O. Demir, *A comparison of the relative locations of the mid-latitude electron density trough and the scintillation boundary*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 38, (1975), 217-218.
- [21] 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.
- [22] J. M. Grebowsky, N. C. Maynard, Y. K. Tulunay, *Coincident plasma pause-troughs observations*, **EOS Trans. American Geophys. Un.**, 57:4, (1976), 299-299.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] M. Lockwood, *The bottomside mid-latitude ionospheric trough*, **J. Atmosph. Terr. Phys.**, 42, (1980), 605-615.
- [26] R. Crickmore, I. B. Jenkins ve G. J. Bailey, *Variations in the altitude of the F2 peak associated with trough-formation processes*, **Ann. Geophys.**, 14, (1996), 628-636,
- [27] L. Kersley, S. E. Pryse, I. K. Walker, J. A. T. Heaton, C. N. Mitchell, M. J. Williams ve C. A. Willson, *Imaging of electron density troughs by tomographic techniques*, **Radio Sci.**, 32(4), (1997), 1607–1621.
- [28] S. Werner ve G. W. Prölss, *The position of the ionospheric trough as a function of local time and magnetic activity*, **Adv. Space Res.**, 20, (1997), 1717–1722.

- [29] Y. Tulunay, H. Rothkaehl, G. Juchnikowski, Y. Laletas ve I. Stanislawska, *A Comparison Between the Ariel 4 Ambient Eelectron Density and Ionospheric Critical Frequency over COST 251 Area*, Proceedings of the 2nd COST 251 Workshop, 30-31 March 1998, Side-Antalya TURKEY.
- [30] H. Rothkaehl, I. Stanislawska, R. Leitinger ve Y. K. Tulunay, *Application of a trough model for telecommunication purposes*, **Phys. Chem. Earth**, 25:4, (2000), 315-318.
- [31] E. Tulunay, C. Özkaptan ve Y. Tulunay, *Temporal and spatial forecasting of the foF2 values up to twenty four hours in advance*, **Phys. Chem. Earth**, 25:4, (2000), 281-284.
- [32] Y. Tulunay, E. Tulunay ve E. T. Şenalp, *An attempt to model the influence of the trough on HF communication by using neural networks*, **Radio Sci.**, 35:5, (2001), 1027-1041.
- [33] J. C. Foster, P. J. Erickson, A. J. Coster, J. Goldstein ve F. J. Rich, *Ionospheric signatures of plasmaspheric tails*, **Geophys. Res. Lett.**, 29(13), (2002), 1623-1630.
- [34] E. M. Warrington ve A. J. Stocker, *Measurements of the Doppler and multipath spread of HF signals received over a path oriented along the midlatitude trough*, **Radio Sci.**, 35:5, (2003), 1080, doi:10.1029/2002RS002815.
- [35] A. T. Karpachev, *The dependence of the main ionospheric trough shape on longitude, altitude, season, local time, and solar and magnetic activity*, **Geomag. Aeronomy**, 43, (2003), 239–251.
- [36] Y. K. Tulunay, I. Stanislawska ve H. Rothkaehl, *Revisiting the Ariel trough work for HF telecommunication purposes*, **Cosmic Research Journal**, 41:4, (2003), 1-13.
- [37] Y. Tulunay, A. Karpachev ve E. Tulunay, *Spatial Prediction of foF2 in Modeling the Influence of Trough on HF Communication by Using Neural Networks*, 3rd COST 271 Workshop Proceedings CD web, Spetses , Greece, 2003.
- [38] R. Stamper, A. Belehaki, D. Buresová, L. R. Cander, I. Kutiev, M. Pietrella, I. Stanislawska, S. Stankov, I. Tsagouri, Y. K. Tulunay ve B. Zolesi, *Nowcasting, forecasting and warning for ionospheric propagation: tools and methods*, **Annals of Geophysics**, 47:2/3, (2004), 957-983.
- [39] E. Yizengaw, H. Wei, M. B. Moldwin, D. Galvan, L. Mandrake ve A. Mannucci, *The correlation between mid-latitude trough and the plasmapause*, **Geophys. Res. Lett.**, 32, (2005), L10102, doi:10.1029/2005GL022954.
- [40] H. Nilsson, T. I. Sergienko, Y. Ebihara ve M. Yamauchi, *Quiet-time mid-latitude trough: influence of convection, field-aligned currents and proton precipitation*, **Annales Geophysicae**, 23, (2005), 3277-3288.
- [41] E. Yizengaw ve M. B. Moldwin, *The altitude extension of the mid-latitude trough and its correlation with plasmapause position*, **Geophys. Res. Lett.**, 32, (2005), L09105, doi:10.1029/2005GL022854.

- [42] S. E. Pryse, L. Kersley, D. Malan ve G. J. Bishop, *Parameterization of the main ionospheric trough in the European sector*, **Radio Sci.**, 41, (2006), RS5S14, doi:10.1029/2005RS003364.
- [43] H. R. Middleton, S. E. Pryse, A. G. Wood ve R. Balthazor, *The role of the tongue of ionization in the formation of the poleward wall of the main trough in the European post-midnight sector*, **J. Geophys. Res.**, 113, (2008), A02306, doi:10.1029/2007JA012631.
- [44] A. Krankowski, I. I. Shagimuratov, I. I. Ephishov, A. Krypiak-Gregorczyk ve G. Yakimova, *The occurrence of the mid-latitude ionospheric trough in GPS-TEC measurements*, **Adv. Space Res.**, 43, (2009), 1721–1731.
- [45] J. M. Grebowsky, R. F. Benson, P. A. Webb, V. Truhlik ve D. Bilitza, *Altitude variation of the plasmopause signature in the main ionospheric trough*, **Journal Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, 71, (2009), 1669-1676.
- [46] I. Horvath ve B. C. Lovell, *Investigating the southern daytime mid-latitude trough's relation with the daytime Weddell Sea Anomaly during equinoxes*, **J. Geophys. Res.**, 115, (2010), A01302, doi:10.1029/2008JA014002.
- [47] M. He, L. Liu, W. Wan ve B. Zhao, *A study on the nighttime mid-latitude ionospheric trough*, **J. Geophys. Res.**, 116, (2011), A05315, doi:10.1029/2010JA016252.
- [48] I. T. Lee, W. Wang, J. Y. Liu, C. Y. Chen ve C. H. Lin, *The ionospheric mid-latitude trough observed by FORMOSAT-3/COSMIC during solar minimum*, **J. Geophys. Res.**, 116, (2011), A06311, doi:10.1029/2010JA015544.
- [49] T. F. Tascione, *Introduction to the Space Environment*, Orbit Book Company, Florida, 1988, 13-53.
- [50] National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/>
- [51] Teach Astronomy. <http://m.teachastronomy.com/>
- [52] Solar Science. <http://solarscience.msfc.nasa.gov/>
- [53] S. S. Sadeghi, “*Estimation of the Absorption of Extraterrestrial Radio Noise Using a Narrow Beam VHF Radar at 53.5 MHz in Andenes, Norway*”, PhD Thesis, Chalmers University, Sweden, 2008.
- [54] National Geophysical Data Center. <http://www.ngdc.noaa.gov>
- [55] Space Weather. <http://www.solarstorms.org/>
- [56] A. J. Kavanagh, “*Energy Deposition in the Lower Auroral Ionosphere Through Energetic Particle Precipitation*”, PhD Thesis, Lancaster University, England, 2002.

- [57] P. Sibanda, “*Particle Precipitation Effects on the South African Ionosphere*”, PhD Thesis, Rhodes University, South African, 2006.
- [58] C. T. Russell ve T. Mulligan, *The 22-Year Variation of Geomagnetic Activity: Implications for the Polar Magnetic Field of the Sun*, **Geophys. Res. Lett.**, 22, (1995), 3287-3288.
- [59] M. G. Kivelson, C. T. Russell, *Introduction to Space Physics*, Cambridge University Press, New York, 1995, 227-285.
- [60] Space Weather Prediction Center. <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/earths-magnetosphere/>
- [61] T. I. Gombosi, *Physics of the Space Environment*, Cambridge University Press, New York, 1998, 180-230.
- [62] A. K. Singh, R. P. Singh ve D. Singh, *State studies of Earth’s plasmasphere*, **Planet. Space Sci.**, 59, (2011), 810-834.
- [63] E. R. Young, D. G. Torr, P. Richards ve A. F. Nagy, *A computer simulation of the mid-latitude plasmasphere and ionosphere*, **Planet. Space Sci.**, 28 (2000), 881-893.
- [64] M. Spasojevic, J. Goldstein, D. L. Carpenter, U. S. Inan, B. R. Sandel, M. B. Moldwin ve B. W. Reinisch, *Global response of the plasmasphere to a geomagnetic disturbance*, **J. Geophys. Res.**, 108, (2003), A9, 1340.
- [65] E. Turan, “*Elektron Yoğunluğu ile Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişki*” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006.
- [66] G. K. Rangarajan, *Indices of geomagnetic activity*, Academic Press, London, 1989, 323–384.
- [67] Y. F. Sümer, “*Yapay Sinir Ağı Modeli İle İyonosferik Kritik Frekans Tahmini*” Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [68] World Data Center for Geomagnetism, Kyoto. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>
- [69] R. C. Whitten ve J. G. Poppoff, *Fundamentals of Aeronomy*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1971, 15-19.
- [70] S. Sağır, “*IRI-2001 Modeli İle Elde Edilen F2 Bölgesinin Maksimum Elektron Yoğunluğunun İncelenmesi*” Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2008.
- [71] Tracking Solar Flares Center. <http://solar-center.stanford.edu/>

- [72] M. Aydođdu, “*Ariel 4 Uydusuyla Elde Edilen Elektron Yoğunluğu Verilerinin 70°-80° D ve 60°-70° B Boylamları Arasında İncelenmesi*”, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Fakóltesi, İzmir, 1980.
- [73] S. Karatay, “*Deprem ile İyonküredeki Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Araştırılması*” Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2010.
- [74] S. Karatay, “*İyonkürenin Plazmasında Kış Anormalliği*”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2005.
- [75] B. S. Tonenbaum, Plasma Physics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1967, 361-370.
- [76] R. Thompson, Introduction to HF radio propagation, IPS Radio & Space Services, Sydney, 1997, 80-100.
- [77] G. H. Millward, H. Rishbeth, T. J. Fuller-Rowell, A. D. Aylward, S. Quegan ve R. J. Moffett, *Ionospheric F2-layer seasonal and semiannual variations*, **J. Geophys. Res.**, 101, (1996), 5149-5156.
- [78] K. Davies, Ionospheric radio propagation, U. S. Government Printing Office Washington, 1965, 159-160.
- [79] 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 Sci.**, 46, (2011), RS1004.
- [80] B. W. Reinisch, J. L. Scali ve D. M. Haines, *Ionospheric drift measurements with ionosondes*, **Annali Di Geofisica**, 41, (1998), 695-702.
- [81] B. M. Vyas ve R. Pandey, *Night-time F-region and daytime E-region ionospheric drifts measured at Udaipur during solar flares*, **Annales Geophysicae**, 20, (2002), 1837-1842.
- [82] F. Güler, Temel İstatistik, Der Yayınları, Türkiye, 2010, 75-85.
- [83] Space Pyhsics Interactive Data Resource. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr>
- [84] M. Karagöz, İstatistik Yöntemleri, Ekin Yayınları, Türkiye, 2013, 20-28.
- [85] Ö. Ünver, H. Gamgam, Uygulamalı Temel İstatistik Yöntemler, Seçkin Yayınları, Türkiye, 2006, 80-90.
- [86] Y. Özkan, Uygulamalı İstatistik 1, Sakarya Yayınları, Türkiye, 2002, 115-120.
- [87] S. Kılıçkaplan, İstatistiğe Giriş I, Gazi Kitabevi, Türkiye, 2012, 35-43.
- [88] R. S. Lockhart, Introduction to Statistics and Data Analysis for the Behavioral Sciences, Worth Publishers, Canada, 1998, 78.

- [89] D. C. Sheskin, Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures, CRC Press, New York, 2003, 10-11.
- [90] Y. Tulunay, *Interplanetary magnetic field and its possible effects on the mid-latitude ionosphere II*, **Annali Di Geofisica**, XXXVII:2, (1994), 193-200.
- [91] Y. Tulunay, *Variability of mid-latitude ionospheric foF2 compared to IMF-polarity inversions*, **Adv. Space Res.**,15:2, (1995), 35-44.
- [92] Y. Tulunay, *Interplanetary magnetic field and its possible effects on the mid-latitude ionosphere III*, **Annali Di Geofisica**, XXXIX:4, (1996), 853-862.
- [93] Y. Tulunay, A. Kaya ve Z. Kaymaz, *The possible effect of the IMF By and Bz components on the high latitude Cost 251 area*, **Adv. Space Res**, 20:9, (1997), 1723-1726.
- [94] T. Yapıcı, “Influences of Interplanetary Magnetic Field on the Variability of the Aerospace Media”, Master Thesis, Middle East Technical University, Turkey, 2007.
- [95] C. J. Davis, M. N. Vild, M. Lockwood ve Y. K. Tulunay, *Ionospheric and geomagnetic responses to changes in IMF B_z: a superposed epoch study*, **Annali Di Geofisica**, XXXIX:4, (1996), 853-862.
- [96] J. R. Taylor, M. Lester ve T. K. Yeoman, *A superposed epoch analysis of geomagnetic storms*, **Ann. Geophys.**, 12:4, (1994), 612-1624.
- [97] A. Grocott, J. A. Wild, S. E. Milan ve T. K. Yeoman, *Superposed epoch analysis of the ionospheric convection evolution during substorms: Onset latitude dependence*, **Ann. Geophys.**, 27, (2009), 591–600.
- [98] P. Aravindan ve K. N. Iyer, *Day-to-day variability in ionospheric electron content*, **J. Atmosph. Terr. Phys.** 55, (1993), 1565-1573.
- [99] National Geophysical Data Center. <http://www.ngdc.noaa.gov>
- [100] S. Kesmen, “Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun İyonosferik Kritik Frekanslarındaki İzinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Türkiye, 2013.
- [101] E. Feichter ve R. Leitinger, *A 22-year cycle in the F layer ionization of the ionosphere*, **Ann. Geophys.**, 15, (1997), 1015-1027.
- [102] Y. Q. Hao, H. Shi, Z. Xiao ve D. H. Zhang, *Weak ionization of the global ionosphere in solar cycle 24*, **Ann. Geophys.**, 32, (2014), 809-816.
- [103] A. D. Richmond ve Y. Kamide, *Mapping electrodynamic features of the high latitude ionosphere from localized observations: Technique*, **J. Geophys. Res.**, 93,(1998), 5741-5759.

- [104] J. W. Gjerloev, R. A. Hoffman, M. M. Friel, L. A. Frank ve J. B. Sigwarth, *Substorm behavior of the auroral electrojet indices*, **Ann. Geophys.**, 22, (2002), 2135–2149.
- [105] T. Moretto, N. Olsen, P. Ritter, G. Lu, *Investigating the auroral electrojets with low altitude polar orbiting satellites*, **Ann. Geophys.**, 20, (2002), 1049–1061.
- [106] G. Chen, W. Xu, Z. Wei, B. Ahn ve Y. Kamide, *Auroral electrojet oval*, **Earth Planets Space**, 55, (2003), 255-261.
- [107] Y. I. Feldstein, V. A. Popov, J. A. Cumnock, A. Prigancova, L. G. Blomberg, J. U. Kozyra, B. T. Tsurutani, L. I. Gromova ve A. E. Levitin, *Auroral electrojets and boundaries of plasma domains in the magnetosphere during magnetically disturbed intervals*, **Ann. Geophys.**, 24, (2006), 2243–2276.
- [108] J. A. Sobral, M. Abdu, W. D. Gonzalez, A. Gonzalez, B. Tsurutani, R. Silva, I. Barbosa, D. Arruda, C. Denardini, C. Zamlutti ve F. Guarnieri, *Equatorial ionospheric responses to high-intensity long-duration auroral electrojet activity (HILDCAA)*, **J. Geophys. Res.**, 111, (2006), 1022-1038.
- [109] S. E. Milan, J. Hutchinson, P. D. Boakes ve B. Hubert, *Influences on the radius of the auroral oval*, **Ann. Geophys.**, 27, (2009), 2913–2924.
- [110] J. W. Gjerloev ve R. A. Hoffman, *The large-scale current system during auroral substorms*, **J. Geophys. Res.**, 119, (2013), 4591-4606.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Erdinç TİMOÇİN

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya / 01.06.1980

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

E-Posta: ertim44@hotmail.com

Lisans: Mersin Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, MERSİN,
(2000-2005).

Yüksek Lisans: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı,
Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı, ELAZIĞ, (2008-2011).

Doktora: İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Enerji
ve Plazma Fiziği Bilim Dalı, MALATYA, (2011-).

Mesleki Deneyim: Türkiye İstatistik Kurumu Malatya Bölge Müdürlüğü, (2005-2011),
(Hanehalkı İşgücü Sektörü/ Kontrolör)

Yayın Listesi:

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

- **Erdinç TİMOÇİN**, Ali YEŞİL & İbrahim ÜNAL, *The Effect of the Geomagnetic Activity to the Hourly Variations of Ionospheric foF2 Values at Low Latitudes*, Arabian Journal of Geosciences, 7:4437-4442, 2013.
- Sema KESMEN, İbrahim ÜNAL, **Erdinç TİMOÇİN**, *The Investigation of Signature at Ionospheric Critical Frequencies of Mid-Latitude Electron Density Troughs*, e-Journal of New World Sciences Academy Physical Sciences (NWSAPS), ID:3A0075, 11:1, 1-9, 2016. <http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2016.11.1.3A0075>

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:

- **Erdinç TİMOÇİN**, İbrahim ÜNAL, Kerime AKSAÇ, *The Response of High Latitude Ionosphere to Geomagnetic Activity Changes*, 9th International Physics Conference of the Balkan Physical Union, 24-27 August 2015, İstanbul, TURKEY.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:

- İbrahim ÜNAL, Yurdanur TULUNAY, **Erdinç TİMOÇİN**, Sema KESMEN, *Elektron Yoğunluğu Çukurunun foF2 Yapısındaki Olası Özel İzi*, VI. URSI (Union Radio Science International)-Türkiye Bilimsel Kongresi, 02-05 Eylül 2012, Doğu Üniversitesi, İstanbul, TÜRKİYE.

- Ayşe İNCE, **Erdinç TİMOÇİN**, Ali YEŞİL, 21. *Güneş Döngüsü İçin Güneş Aktivite İndisleri İle Orta Enlem foF2 Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*, VII. URSI (Union Radio Science International)-Türkiye Bilimsel Kongresi, Bildiri Kitapçığı 239-241, 28-30 Ağustos 2014, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE.

Tezden Türetilen Yayınlar/Sunumlar:

- Yurdanur TULUNAY, İbrahim ÜNAL, **Erdinç TİMOÇİN**, Ersin TULUNAY, *Revisiting the Influence of the Mid-Latitude Electron Density Trough as the Ionospheric Projection of the Plasmopause at about 550 km Altitude on High Frequency Communication*, 12th European Space Weather Week, 23-27 November 2015, Oestende, BELGIUM (e-poster).
- **Erdinç TİMOÇİN**, İbrahim ÜNAL, *Pasif Güneş Aktivitesinde Orta Enlem foF2 Değerlerinin Enlemsel Değişiminin İstatistiksel Olarak İncelenmesi*, VII. URSI (Union Radio Science International)-Türkiye Bilimsel Kongresi, Bildiri Kitapçığı 236-238, 28-30 Ağustos 2014, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE.