

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

**YÜKSEK ENLEM  $f_0F_2$  DEĞERLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN JEOMANYETİK  
AKTİVİTEYE BAĞLILIĞI**

**KERİME AKSAÇ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
FİZİK ANABİLİM DALI**

**OCAK 2017**

Tezin Başlığı :Yüksek Enlem foF2 Değerlerindeki Değişimlerin Jeomanyetik Aktiviteye  
Bağlılığı

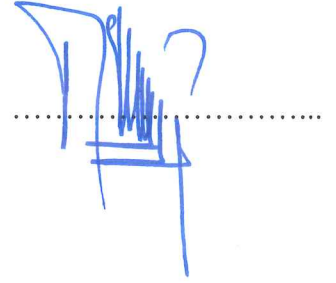
Tezi Hazırlayan :Kerime Aksaç

Sınav Tarihi :20/01/2017

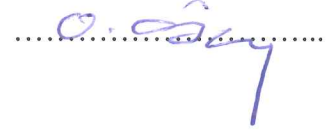
Yukarıda adı geçen tez, jürimizce değerlendirilerek Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans  
Tezi olarak kabul edilmiştir.

### Sınav Jüri Üyeleri

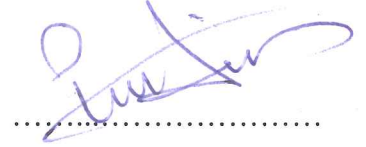
Tez Danışmanı: Doç. Dr. İbrahim ÜNAL  
İnönü Üniversitesi



Prof. Dr. Osman ÖZCAN  
Fırat Üniversitesi



Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL  
İnönü Üniversitesi



Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL  
Enstitü Müdürü

## ONUR SÖZÜ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduđum “Yüksek Enlem foF2 Deđerlerindeki Deđişimlerin Jeomanyetik Aktiviteye Bađlılıđı” bařlıklı çalıřmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı dűşecek bir yardıma bařvurmaksızın tarafımdan yazıldıđını ve yararlandıđım bűtűn kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yűntemine uygun biçimde gűsterilenlerden oluřtuđunu belirtir, bunu onurumla dođrularım.

**Kerime AKSAÇ**

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

## YÜKSEK ENLEM foF2 DEĞERLERİNDEKİ DEĞİŞİMLERİN JEOMANYETİK AKTİVİTEYE BAĞLILIĞI

Kerime AKSAÇ

İnönü Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Anabilim Dalı

53 sayfa+ix

2017

Danışman:  
Doç. Dr. İbrahim ÜNAL

Bu çalışmada, Aralık 1971-Eylül 1972 tarihleri arasında yüksek enlem bölgesi olarak tanımlanan  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$   $\Lambda$  arasındaki 7 iyonsonda istasyonundan alınan saatlik foF2 verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri, farklı jeomanyetik aktivite durumları için incelenmiştir. Sonuçlar, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırılmıştır. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre, gündüz saatlerindeki foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin, gece saatlerindeki değerlerden büyük olduğu, ayrıca bu saatlerde foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin manyetik enlem artışı ile  $68^{\circ}$ - $72^{\circ}$  manyetik enlemleri arasındaki artış dışında azaldığı tespit edilmiştir. Gece saatlerinde ise foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin yaklaşık  $69^{\circ}$ - $70^{\circ}$  manyetik enlemleri arasında arttığı, bu enlemlerden daha büyük ve daha küçük enlemlerde ise foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin azalarak çukur oluşturduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mevsimsel ve jeomanyetik aktivite değişimlerinin, foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin enlemsel değişimleri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir. Jeomanyetik pasif durumdaki ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerleri, jeomanyetik aktif durumdaki ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Özellikle jeomanyetik aktif durumdaki Aralık döneminde, polar cap ve polar oval bölgeleri daha belirgin ve enlemsel olarak daha geniş bir yapıya sahiptir.

ANAHTAR KELİMELER: Yüksek enlem iyonosferi, polar cap, polar oval, manyetosfer, jeomanyetik aktivite, kritik frekans.

## ABSTRACT

### THE DEPENDENCE ON THE GEOMAGNETIC ACTIVITY OF CHANGES IN THE foF2 VALUES AT THE HIGH LATITUDES

Master Thesis

Kerime AKSAÇ

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

53 pages+ix

2017

Supervisor:  
Assoc. Prof. Dr. İbrahim ÜNAL

In this study, changes according to invariant magnetic latitude ( $\Lambda$ ) of the hourly foF2 data that are taken from seven ionosondes stations are situated at between  $60^\circ$ - $90^\circ$  invariant magnetic latitude as known high latitude region are investigated for different geomagnetic activity conditions during December 1971-September 1972. The results are compared with electron density data measured by Ariel 4 satellites at about 550 km. According to the results obtained from the analyzes, it was found that the values of foF2 and electron density in the daytime are larger than those in the nighttime, and the values of foF2 and electron density in these hours decreases with the increasing of the magnetic latitude the except for the magnetic latitude region between about  $68^\circ$  and  $72^\circ$ . At night time, it was observed that the foF2 and electron density values increases between about  $69^\circ$  and  $70^\circ$  latitudes, while the foF2 and electron density values decreases at larger and smaller latitudes than these latitudes. It is also observed that seasonal and geomagnetic activity changes have a significant influence on the latitudinal changes of the foF2 and electron density values. The foF2 and electron density values in the geomagnetic quiet condition are larger than the foF2 and electron density values in the geomagnetic active conduction. Especially in the geomagnetic active conduction of the December period, the polar cap and polar oval zones are more prominent and have a larger latitudinal structure.

**KEYWORDS:** High latitude ionosphere, polar cap, polar oval, magnetosphere, geomagnetic activity, critical frequency.

## TEŐEKKÖR

Bu alıőmanın her aőamasında değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile her zaman bana yol gősterici ve destek olan, sonsuz özveri ve hoőgörülerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, bana her alanda yeni bir bakıőı açısı kazandıran değerli hocam ve danıőmanım Doç. Dr. Sayın İbrahim ÜNAL'a teőekkürlerimi, saygılarımı sunarım.

Çalıőma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini ve fikirlerini her zaman benimle paylaőan arkadaőım Dr. Erdiņ TİMOÇİN'e teőekkürü bir borç bilirim.

Çalıőma süresince sabırla, tüm zorlukları benimle gőęsleyen ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli eőim Mehmet AKSAÇ'a ve sevgili kızım Zeynep AKSAÇ'a sevgilerimi sunar, teőekkürler ederim.

Ayrıca her zaman desteklerini hissettiğim kıymetli ve kadirőinas aileme sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

**Kerime AKSAÇ**

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vi
TABLolar LİSTESİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. YERE YAKIN UZAY HAVASI: GÜNEŞ-YER ETKİLEŞİMİ .....	4
2.1. Güneş- Manyetosfer İlişkisi .....	4
2.2. Yüklü Parçacıkların Yer'in Manyetik Alanındaki Hareketi .....	7
2.2.1. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki Helis Hareketi .....	7
2.2.2. Yüklü Parçacıkların Yer'in İki Manyetik Kutbu Arasındaki Salınım Hareketleri .	9
2.2.3. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki Sürüklenme Hareketi .....	11
2.3. Manyetosfer İyonosfer Etkileşimi .....	11
2.3.1. Yüksek Enlem İyonosferinin Karakteristiği .....	11
2.3.2. Manyetosferik Elektrik Alanlar ve Plazma Konveksiyonu .....	13
2.3.3. Yüksek Enlemlerde İyonosferik İletim ve Akımlar .....	15
2.4. İyonosferik Kritik Frekans ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri .....	16
2.4.1. Kritik Frekans (foF2) .....	16
2.4.2. Jeomanyetik Aktivite İndisleri .....	17
2.4.2.1. K İndisi ve Gezegenel K (K <sub>p</sub> ) İndisi .....	18
2.4.2.2. Auroral Elektrojet İndisi (AE) .....	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	20
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	24
4.1. foF2 Değerlerinin Mevsimsel Değişimi .....	24
4.1.1. 21 Mart Dönemi .....	24
4.1.2. 21 Haziran Dönemi .....	28
4.1.3. 23 Eylül Dönemi .....	32
4.1.4. 21 Aralık Dönemi .....	36

4.2.	Elektron Yoğunluğu Değerlerinin Mevsimsel Değişimi .....	40
4.2.1.	21 Mart Dönemi .....	40
4.2.2.	21 Haziran Dönemi .....	42
4.2.3.	21 Aralık Dönemi .....	44
5.	SONUÇ .....	46
6.	KAYNAKLAR .....	49
	ÖZGEÇMİş .....	53



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Güneş rüzgârı-Yer'in manyetik alan ilişkisi .....	5
Şekil 2.2. Yer manyetosferinin şematik gösterimi .....	6
Şekil 2.3. Yüklü parçacıkların Yer'in manyetik alanındaki hareketleri .....	7
Şekil 2.4. $V_{  } = 0$ için düzgün bir manyetik alandaki pozitif ve negatif parçacık hareketi .	8
Şekil 2.5. $V_{  } \neq 0$ için, düzgün bir manyetik alandaki parçacığın helis hareketi .....	9
Şekil 2.6. Yüklü parçacığın alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyan) sahip düzgün olmayan bir manyetik alandaki hareketi .....	10
Şekil 2.7. Yüklü parçacıkların Yer'in dipol manyetik alanındaki salınım hareketi .....	10
Şekil 2.8. Yüklü parçacıkların farklı yönlerdeki sürüklenme hareketi .....	11
Şekil 2.9. Polar cap ve polar ovalin yapısı .....	12
Şekil 2.10. Dünya çevresindeki elektrik ve manyetik alanları ile plazma akımları yönlerinin gösterilimi .....	13
Şekil 2.11. Yüksek enlem iyonosferindeki elektrik alanlar ve plazma sürüklenmeleri .....	14
Şekil 2.12. Yüksek enlem iyonosferindeki elektrik akımları .....	15
Şekil 2.13. Dikey ve eğik gönderilen dalganın iyonosferden yansıması .....	17
Şekil 3.1. Saatlik foF2 verilerinin alındığı iyonosonda istasyonları .....	20
Şekil 3.2. Ariel 4 uydusunun Yer'e göre yörüngesi .....	21
Şekil 4.1. 1972 yılı 21 Mart döneminde $K_p$ indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için .....	25
Şekil 4.2. 1972 yılı 21 Mart döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için .....	26
Şekil 4.3. 1972 yılı 21 Mart boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) $K_p \leq 2^+$ için, (b) $K_p > 2^+$ için, (c) $AE \leq 200$ için, (d) $AE > 200$ için .....	27

- Şekil 4.4. 1972 yılı 21 Haziran döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için ..... 29
- Şekil 4.5. 1972 yılı 21 Haziran döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için ..... 30
- Şekil 4.6. 1972 yılı 21 Haziran boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için ..... 31
- Şekil 4.7. 1972 yılı 23 Eylül döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için ..... 33
- Şekil 4.8. 1972 yılı 23 Eylül döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için ..... 34
- Şekil 4.9. 1972 yılı 23 Eylül boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için ..... 35
- Şekil 4.10. 1971 yılı 21 Aralık döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için ..... 37

Şekil 4.11. 1971 yılı 21 Aralık döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için .....	38
Şekil 4.12. 1971 yılı 21 Aralık boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) $K_p \leq 2^+$ için, (b) $K_p > 2^+$ için, (c) $AE \leq 200$ için, (d) $AE > 200$ için .....	39
Şekil 4.13. 1972 yılı 21 Mart döneminde $K_p$ indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	40
Şekil 4.14. 1972 yılı 21 Mart döneminde AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	41
Şekil 4.15. 1972 yılı 21 Haziran döneminde $K_p$ indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	42
Şekil 4.16. 1972 yılı 21 Haziran döneminde AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	43
Şekil 4.17. 1971 yılı 21 Aralık döneminde $K_p$ indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	44
Şekil 4.18. 1971 yılı 21 Aralık döneminde AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için .....	45

## TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki .....	18
Tablo 2.2. K değerlerinden elde edilen kesirli $K_p$ değerleri .....	18
Tablo 3.1. foF2 verilerinin alındığı istasyonların enlem ve boylam değerleri .....	21

## 1. GİRİŞ

Atmosfer, yerküreyi çevreleyen bir tabaka olup, sıcaklığa, yapısındaki kimyasal bileşenlerine ve meydana gelen fiziksel olaylara göre çeşitli bölgelere ayrılır. Sıcaklığa göre troposfer, stratosfer, mezosfer ve termosfer olmak üzere dört bölgeye ayrılır [1]. Fiziksel olaylara göre ise, yeryüzüne yakın yüksekliklerde meydana gelen çok karmaşık olayların etkisi altındaki bölge, her gazın kendi ağırlığına göre yerçekiminin etkisi altında ayrı ayrı hareket ettiği difüzyon bölgesi ve yer manyetik alanının yüklü paçacıkları etkisi altına aldığı manyetosfer bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılır [2].

Atmosferin yeryüzünde yaşayan canlı varlıkları Güneş'in zararlı etkilerinden koruması, Güneş ışınlarını absorbe etmesiyle olur. Böylece, Güneş ışınları ve kozmik ışınlar tarafından atmosfer atom ve moleküllerinin bazılarının iyonize edilerek, iyonize gazların üretiminin sağlanmasıyla elde edilen atmosfer bölgesine ionosfer adı verilir [1, 2].

İyonosfer atmosferin iyonlaşmış kısmı olmasına rağmen elektriksel olarak nötrdür. Bu özelliğinden dolayı ionosfer doğal bir plazma olarak kabul edilir. Dolayısıyla bu plazma bölgesi, her türlü elektrik ve manyetik değişimlerden etkilenmektedir. Bu nedenle bu bölgedeki elektron yoğunluğu, Yer'den yükseklik, enlem, mevsim ve yerel zaman ile değişiklik gösterir [3]. İyonosferin oluşumunda en büyük etki Güneş tarafından oluşturulmakla birlikte, her bölgenin kimyasal yapısı ve bileşenleri farklı olduğundan, Güneş'ten gelen farklı dalga boyuna sahip ışınlar farklı yapıda bölgelerin oluşmasını sağlar. Yer'den yaklaşık 50 km yükseklikte başlar ve üst sınırı kesin olmamakla birlikte,  $He^+$  ve  $H^+$  gibi hafif iyonların  $O^+$  iyonu gibi iyonlara baskın olmaya başladığı yükseklikte bittiği kabul edilir [1, 4, 5]. Gün boyunca bu bölgede D, E, F1 ve F2 olarak adlandırılan dört bölge olabilir. Bu bölgelerin yaklaşık yükseklik aralıkları aşağıdaki gibidir [4]:

D Bölgesi : 60-100 km

E Bölgesi : 100-150 km

F1 Bölgesi : 150-250 km

F2 Bölgesi : 250 km nin üzeri.

D bölgesindeki günlük elektron yoğunluğunda büyük ölçekte değişimler görülür. Gece saatlerinde bu bölgedeki elektron yoğunluğu büyük miktarda azaldığından, bu saatlerde D bölgesinin varlığından bahsedilmez [6]. D bölgesinde gündüz saatlerinde en fazla  $O_2^+$  ve  $NO^+$  iyonları mevcuttur. E bölgesinde  $O_2^+$  ve  $NO^+$ , F bölgesinde  $O^+$  en önemli iyondur. Elektron yoğunluğu bakımından ionosferin en zengin ve kararlı bölgesi F2 bölgesidir. Elektron yoğunluğunun en yüksek değere ulaşması, F2 bölgesini telekomünikasyon sistemleri

açısından önemli bir bölge yapar. F2 bölgesinin yüksek frekanslı radyo dalgalarının yayılımında en önemli bölge olmasının nedenleri [7, 8]:

- Günün 24 saati mevcuttur,
- Büyük yüksekliklerdeki yansımalarla, çok uzak mesafeler ile haberleşmeye izin verir,
- Genellikle HF (3-30 MHz) aralığındaki en yüksek frekansları yansıtır [9].

İyonosferik plazma, yüksek frekans bandındaki radyo dalgalarını uzak mesafelere kadar yansıttığından dolayı atmosferin önemli bir bölgesidir. Radyo dalgalarını yansıtma özelliği olduğundan, haberleşmenin sağlıklı olarak yapılabilmesi için iyonosferin hangi parametrelere karşı nasıl değiştiğini ortaya koymak gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, iyonosferdeki iyonlaşma ve kimyasal süreçler ile gece-gündüz ve değişik enlemlerdeki elektron yoğunluğu profillerinin ve iyonosferin radyo dalgalarına karşı gösterdiği davranışların iyi bilinmesi gerekmektedir.

İyonosferin farklı enlemlerdeki elektron yoğunluğu profilleri incelendiğinde, enlemsel olarak büyük değişiklikler gösterdiği anlaşılmıştır. Bu değişikliklere farklı fiziksel süreçlerin neden olduğu görülmüştür. Bu nedenle iyonosfer, coğrafik olarak düşük, orta ve yüksek enlem iyonosferi şeklinde üç farklı enlem bölgesine ayrılarak incelenmektedir [4].

Özellikle yüksek enlem iyonosferindeki iyonlaşmada, Güneş ışınlarının iyonlaştırma etkisinin yanında manyetosferik etki de çok önem taşımaktadır. Bu manyetosferik etkileşim sonucunda meydana gelen, elektrik alanlar, parçacık yağışı, alan boyunca akımlar, ısı akışı ve sürtünme gibi atmosferik süreçler, yüksek enlemlerdeki üst atmosfer-alt atmosfer sistemini güçlü bir şekilde birbirine bağlamaktadır.

Yüksek enlem iyonosferindeki büyük ölçekli hareketlerin sebebi manyetosferik kökenli elektrik alanlar olup, bu da elektron yoğunluğu yapısını etkiler. Plazma nötr moleküller içerisinde sürüklenirken, iyon-nötr sürtünme ısısı (çarpışmalar) nedeniyle iyon sıcaklığı artar. İyon sıcaklığı yükseldikten sonra iyon kimyasal reaksiyon oranları, üst atmosferdeki plazma ölçek yükseklikleri ve iyon bileşimi değişir. Aynı zamanda auroral ovaldeki parçacık yağışı, iyon-elektron yoğunluklarını ve sıcaklıklarını etkilemesiyle iyonlaşma oranlarının artmasına ve elektron sıcaklıklarının yükselmesine sebep olur. Bu iyonosferik değişimler, sırası ile termosferik yapı, termosferik dolaşım ve termosferik bileşimde önemli bir etki meydana getirmektedir. Özellikle jeomanyetik aktif koşullar altında meydana gelen iyonosferik ve termosferik bu değişimler, yüksek enlem manyetosferine enerji girişinin daha fazla olmasından kaynaklı olarak daha etkili ve daha karmaşıktır. Bu fiziksel süreçlere bağlı olarak yüksek enlem bölgesindeki elektron yoğunluklarında ani ve tahmin

edilmez büyük değişimler meydana gelmektedir [4]. Jeomanyetik aktiviteye bağlı olarak elektron yoğunluğunda meydana gelen bu değişimler, orta ve düşük enlemlere göre yüksek enlem bölgesindeki yüksek frekanslı haberleşmelerde daha farklı bir etki meydana getirmektedir [10-15]. Bundan dolayı, yüksek enlemlerdeki iyonosferik parametreler üzerine jeomanyetik aktivite değişimlerinin etkilerini anlamak oldukça önem taşımaktadır [16, 17].

Bu çalışmada genel olarak, yüksek enlem bölgesindeki elektron yoğunluğu değerlerindeki değişimlerin jeomanyetik aktiviteye bağlılığı incelenmiştir. Bunun için 40°-100° batı boylamlarındaki ve yüksek enlemlerdeki (60°-90° kuzey enlemleri) 7 iyonsonda istasyonundan llen F2 tepesi elektron yoğunluğunun bir ölçüsü olan iyonosferik kritik frekans (foF2) verileri manyetik enlemin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Bu inceleme farklı jeomanyetik durumlar için, farklı jeomanyetik indisler kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca bu veriler, 1971 yılında bilimsel amaçlar için yaklaşık 550 km de yörüngeye yerleştirilen Ariel 4 uydusunun ölçtüğü elektron yoğunluğu verilerinin manyetik enleme göre gösterdiği davranışlarla farklı jeomanyetik durumlar için karşılaştırılmıştır.

## 2. YERE YAKIN UZAY HAVASI: GÜNEŞ-YER ETKİLEŞİMİ

Yere Yakın Uzay Havası denilince akla Güneş-gezegenlerarası uzay ve gezegenlerin kendi arasındaki uzay gelir. Bu alandaki araştırmalar, gezegenlerarası ve gezegensel çevrelerin ve bunları etkileyen Güneş ve Güneş dışı dalgalanmaların durumunu anlamayı ve tahmin etmeyi konu edinir. Bu bölümde Güneş-Yer arasındaki etkileşim ele alınacaktır.

Güneş, Yer'e en yakın yıldız olup, Yer atmosferinin iyonlaşma ve ısı kaynağıdır. Güneş, iyonize olmuş bir plazma yapısında olup, patlamalar sonucu çok yüksek hızlarla elektron, proton ve daha ağır iyonları uzaya salmaktadır. Uzaya salınan bu yüklü parçacıkların bir kısmı Yer atmosferine ulaşmaktadır. Salınan parçacıkların yeryüzüne ulaşmasını manyetosfer tabakası engellemektedir. Başka bir deyişle Yer, Güneş rüzgârı kökenli enerji yüklü parçacıklardan kendini manyetosfer tabakası ile bir manyetik kalkan oluşturarak korumaktadır. Manyetosfere giren parçacıklar farklı dinamik süreçlerden geçerler. Manyetosferi oluşturan manyetik alan çizgilerinin kutup bölgesinde yoğunlaşması, o bölgede farklı atmosferik olayların oluşmasına yol açmaktadır. Yüksek enlem bölgesi olarak adlandırılan bu bölge atmosferinde, alan boyunca elektrik akımları, elektrojet akımları, iyonosferik plazma iletimleri, termosferik fırtınalar ve aurora gibi önemli olaylar meydana gelmektedir.

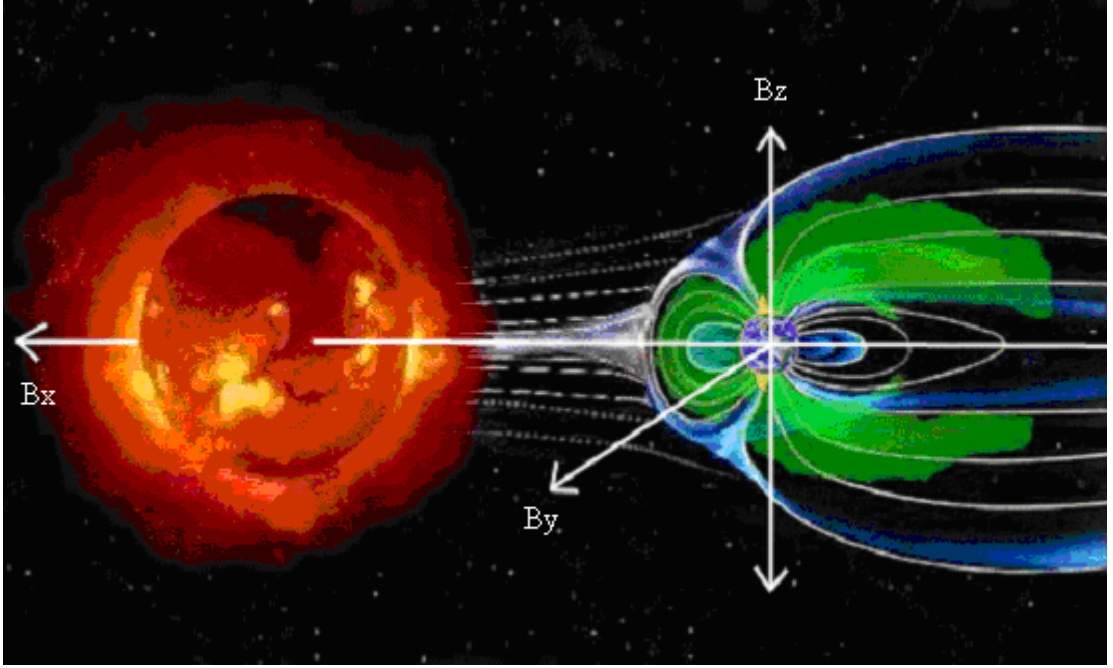
Bu bölümde, Güneş-Yer etkileşimi içerisinde genel olarak, Güneş-manyetosfer ilişkisi, manyetosfer içerisindeki yüklü parçacıkların hareketleri, bu hareketlerin yüksek enlemdeki yansımaları, polar oval ile polar cap bölgelerinin oluşumu ve özellikleri, iyonosferik kritik frekansların nasıl etkilendiği ve elektron yoğunluğu değişimleri konu edilecektir.

### 2.1. Güneş-Manyetosfer İlişkisi

Güneş atmosferinin bir tabakası olan koronadan, plazmanın aralıksız bir şekilde dışa akması Güneş rüzgârları olarak bilinmektedir. Gezegenlerarası uzayı dolduran bu plazma (Güneş rüzgârı), ağırlıklı olarak Güneş'in yerçekiminden kurtulacak kadar enerjiye sahip proton ve elektronlardan oluşmaktadır. Ayrıca küçük oranda alfa parçacıklarını ve daha ağır bazı çekirdekleri de içermektedir. Güneş rüzgârları, Güneş'ten saniyede yaklaşık 4,5 milyar kilogram kütleli uzaya taşımaktadır [4, 5, 18]. Şekil 2.1, gezegenlerarası ortamda ilerleyen Güneş rüzgârlarını göstermektedir.

Gezegenlerarası manyetik alan (IMF), Güneş rüzgârları tarafından gezegenlerarası uzaya taşınan, Güneş'in genişleyen manyetik alanıdır. IMF, Güneş rüzgâr plazmalarının içinde bulunduğundan dolayı, gezegenlerarası ortamda seyahat ederler [4, 5, 19, 20].



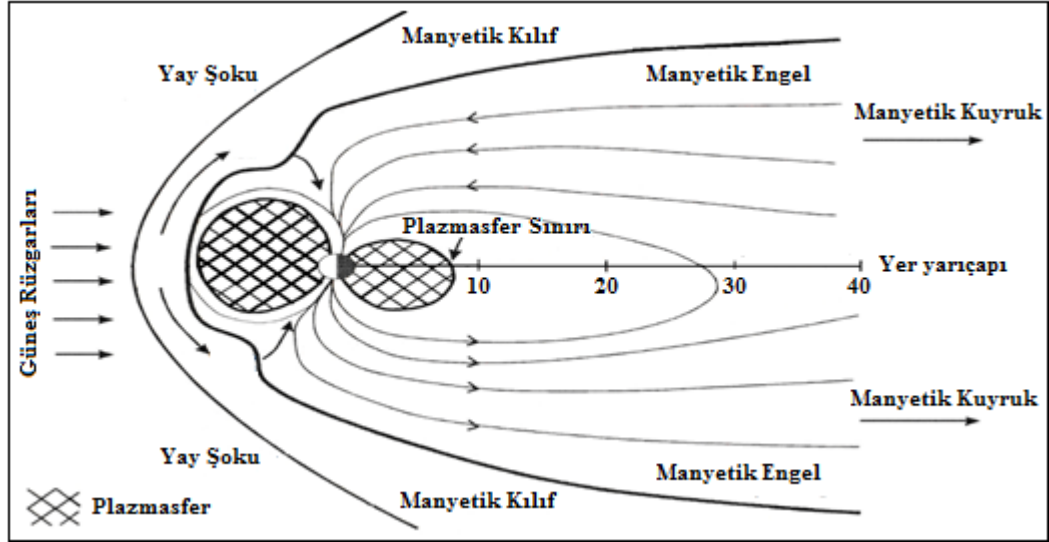


Şekil 2.1. Güneş rüzgârı-Yer'in manyetik alan ilişkisi [21]

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 yönünde pozitif,  $\mathbf{B}_y$  bileşeni, gündeğümü (06:00)-günbatımı (18:00) doğrultusunda ve gündeğümü 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, 20, 22].

Güneş rüzgârları ile taşınan yüklü parçacıklar, Yer'in dipolar manyetik alanı ile etkileşir, fakat manyetosfer içerisinden geçip Yer'in alt atmosferine kolayca giremez. Şekil 2.2'de gösterildiği gibi Güneş rüzgârları, jeomanyetik alanın değişiminin temel sebebidir ve Yer'in manyetik alanını manyetosfer olarak adlandırılan sınırlı bir hacme hapseder [4, 22, 23].

Süpersonik Güneş rüzgârları, Yer'in manyetik alanıyla etkileştiğinde yay şoku (bow shock) olarak adlandırılan bir şok dalgası oluşturmaktadır. Şok bölgesi, manyetosferik iç basıncın Güneş rüzgârlarının dinamik basıncını dengelediği bölgedir. Yer çevresindeki şok yüzey perdesinin şekli ve yönelimi, Güneş rüzgâr hızı ve gezegenlerarası manyetik alanın yönü ile değişir. En yakın şok yüzeyi Yer yüzeyinden  $12 R_E$  mesafededir [4, 5, 20, 24, 25].



Şekil 2.2. Yer manyetosferinin şematik gösterimi [26]

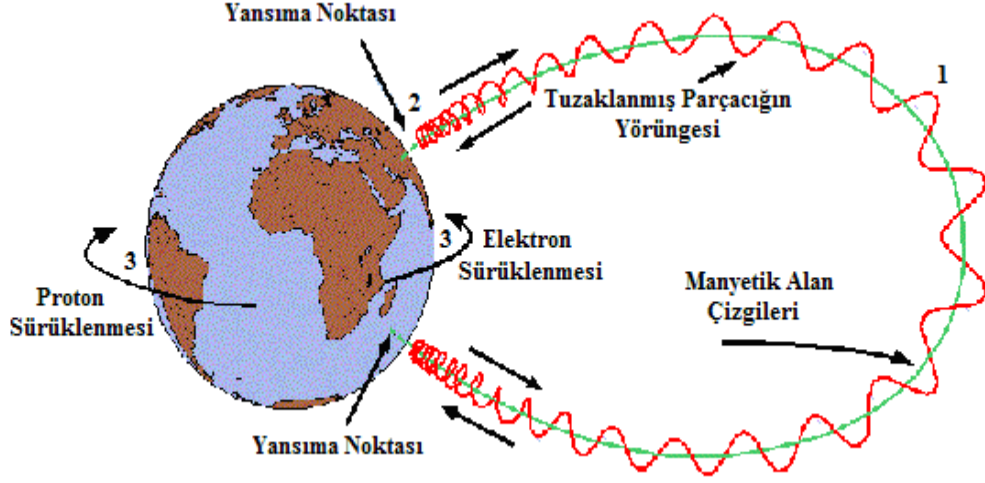
Yay şoku içinden geçen Güneş rüzgârlarının manyetik kılıf (magnetosheath) denilen bir bölgeye girmesi sonucunda, yönü değişir, hızı azalır ve sıcaklığı artar. Manyetik kılıf kalınlığı  $3 R_E$  kadardır. Manyetik engel (magnetopause) olarak adlandırılan sınır tabakası ise, manyetik kılıf içinde manyetize olan Güneş rüzgâr plazması ile Yer'in manyetik alanını ayırır ve yavaşlatılan Güneş rüzgâr plazması bu bölgede tekrar ivmelenir. Bunun sonucunda manyetik engel boyunca yoğun bir akım oluşur. Bu akımlar, Güneş rüzgârındaki manyetik alanın jeomanyetik alandan ayrılmasını sağlamaktadır. Manyetik engel genellikle çok ince olup, Güneş rüzgârlarının dinamik basıncı ile manyetosferik iç basınç arasındaki denge tarafından  $\sim 100$  km genişliğindeki bir bölgedir [4, 5, 20, 24, 25].

Güneş rüzgârının bir kısmı manyetik engelden geçerek, manyetosfere girmektedir. Manyetosfer, Yer'in manyetik kalkanı olarak da bilinmektedir. Bu büyük bölge, uzay ve Güneş rüzgârı kökenli enerji yüklü parçacıklar ve termal plazma ile doludur. Güneş rüzgâr plazmasının manyetosfere girişi, gündüz tarafında polar bölgeye yakın bir uç bölgede (cusp) meydana gelir. Bu uç bölgesi içindeki Güneş rüzgâr parçacıkları, jeomanyetik alan boyunca taşınır ve üst atmosfere enerjili parçacıklar olarak depo edilir [4, 5, 20, 24, 25].

Ayrıca Güneş rüzgârlarının meydana getirdiği basınç, Yer'in Güneş'e bakmayan yönündeki yani gece tarafındaki manyetik alanını uzayın çok uzak mesafelerine kadar bir kuyruk biçiminde uzatır. Bu açık manyetik alan çizgilerinin bir kısmı, manyetosferik elektrik alanın etkisiyle Yer'e doğru bir  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  sürüklenmesine maruz kalır. Ekvator düzlemine doğru sürüklenen bu manyetik alan çizgileri, uzak manyetosferik kuyrukta yeniden birleşerek kapanır. Yer'e doğru sürüklenen bu yüksek enerjili parçacıklar, iç manyetosferdeki Van Allen kuşaklarının ve plazmosfer tabakasının oluşmasına neden olur [4, 5, 20, 24, 25].

## 2.2. Yüklü Parçacıkların Yer'in Manyetik Alanındaki Hareketi

Enerjilerine göre manyetosferin farklı bölgelerine tuzaklanan Güneş rüzgârının taşıdığı yüksek enerjili parçacıklar, Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, Yer'in manyetik alanında üç tür hareket yapmaktadırlar [4, 5, 20, 26].



Şekil 2.3. Yüklü parçacıkların Yer'in manyetik alanındaki hareketleri [18]

Bunlar;

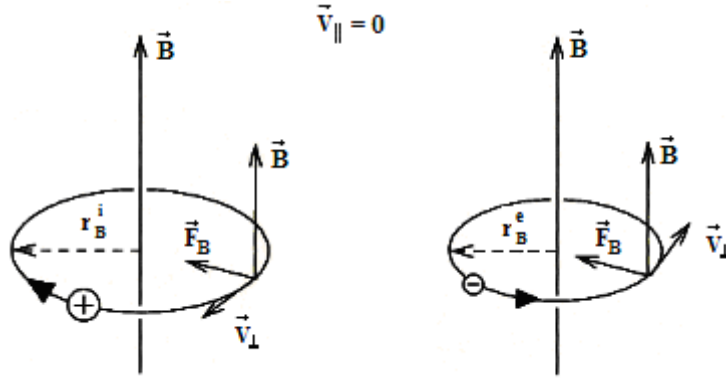
1. Elektronların ve protonların, manyetik alan çizgileri etrafındaki helis hareketleri,
2. Yüklü parçacıkların Yer'in iki manyetik kutbu arasındaki salınım hareketleri,
3. Protonların batı yönünde, elektronların ise doğu yönünde Yer'in manyetik alanı içindeki sürüklenme hareketleridir [4, 5, 20, 25].

### 2.2.1. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki 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 [5].

$$m \frac{d\mathbf{V}_{\perp}}{dt} = q(\mathbf{V}_{\perp} \times \mathbf{B}) \quad (2.1)$$

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 2.4'te gösterildiği gibi, manyetik alana yatay hız bileşenleri olmayan ( $\vec{V}_{\parallel} = 0$ ) pozitif yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönü, negatif yüklü parçacıklar için dairesel hareketin yönünün tam tersi yöndedir.

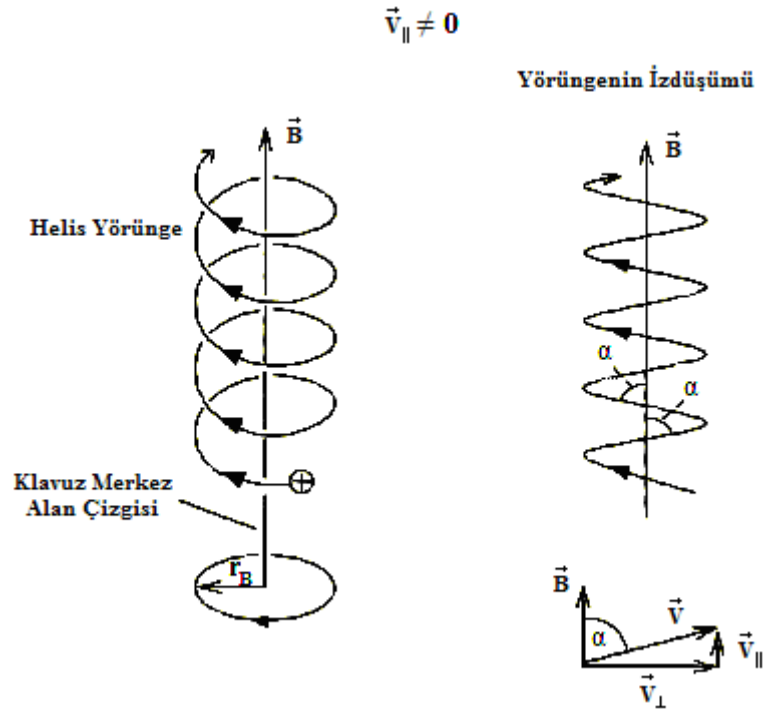


Şekil 2.4.  $\vec{V}_{\parallel} = 0$  için düzgün bir manyetik alandaki pozitif ve negatif parçacık hareketi [5]

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;

$$V_{\parallel} = V \cos \alpha, \quad V_{\perp} = V \sin \alpha \quad (2.2)$$

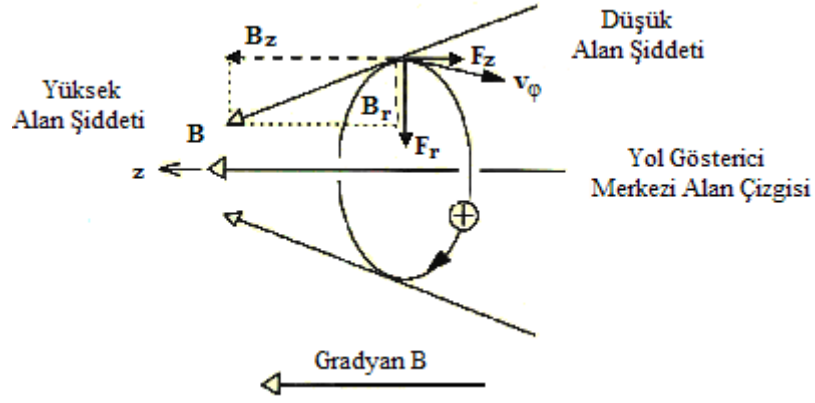
şeklindedir.  $\alpha$ , parçacığın hız vektörü ile manyetik alan arasındaki açının ölçüsüdür. Parçacığın manyetik alana dik bileşeni, parçacığın manyetik alan etrafında belirli bir yörüngede dairesel hareket yapmasına neden olur iken, paralel bileşen, manyetik alandan etkilenmez ve parçacığın manyetik alan boyunca sabit hızlı hareket yapmasına neden olur. Parçacık Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, bu iki hareketin bileşeni boyunca manyetik alan etrafında helis hareketi yapar [5, 20, 25].



Şekil 2.5.  $\vec{v}_{\parallel} \neq 0$  için, düzgün bir manyetik alandaki parçacığın helis hareketi [5]

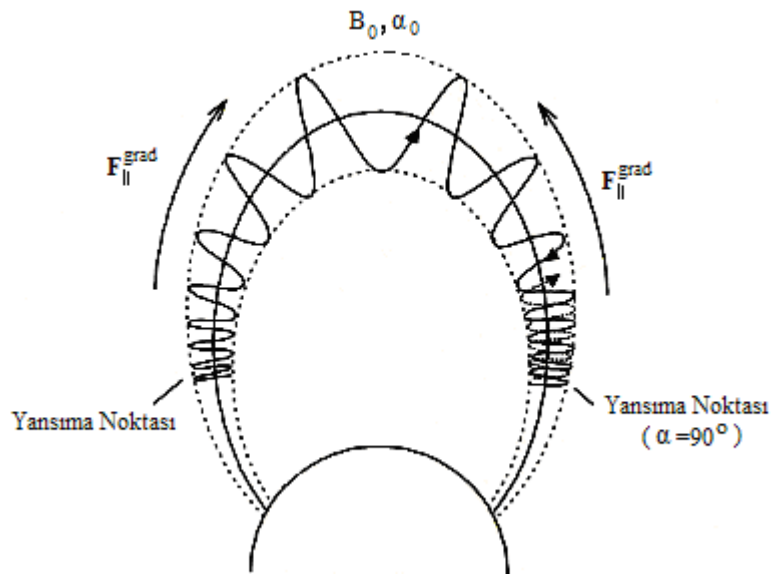
### 2.2.2. Yüklü Parçacıkların Yer'in İki Manyetik Kutbu Arasındaki Salınım Hareketleri

Burada, alan çizgileri boyunca şiddet değişimi (gradyan) 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. Şekil 2.6, 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 [5].



**Şekil 2.6.** Yüklü parçacığın alan çizgileri yönünde bir değişime (gradyan) sahip düzgün olmayan bir manyetik alandaki hareketi [5]

Alan şiddetinin artması ile (alan çizgilerinin yakınsaması) manyetik gradyan kuvveti, alan çizgilerine paralel tüm enerjisi tüketip merkez alan yönündeki hareketi durdurana kadar parçacığın yavaşlaması için etki eder. Bu noktada  $\alpha$  açısı  $90^\circ$ 'ye ulaşmıştır ve parçacığın tüm kinetik enerjisi onun dönme hareketine dönüşmüştür. Yalnızca dönme enerjisine bağlı olan (paralel enerji bileşenine bağlı olmayan) gradyan 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 [5]. Yer'in dipol manyetik alanında meydana gelen bu durum Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

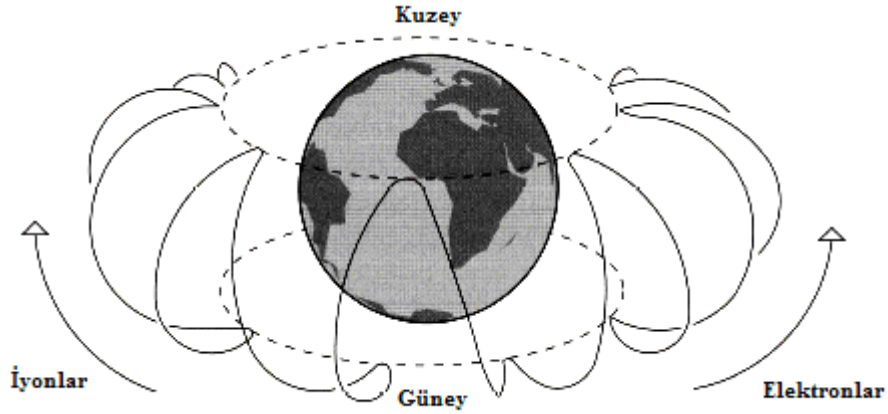


**Şekil 2.7.** Yüklü parçacıkların Yer'in dipol manyetik alanındaki salınım hareketi [5]

### 2.2.3. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alandaki Sürüklenme Hareketi

Güneş rüzgârları yüksek derecede iletken bir plazmadır. Bundan dolayı manyeto hidrodinamik denklemler ile tanımlanabilir. Güneş rüzgârları Yer'in manyetik alanı ile karşılaştığı zaman, Yer'in çevresinde  $\mathbf{E} = -\mathbf{U}_{GR} \times \mathbf{B}$  ifadesi ile verilen bir elektrik alan meydana getirir. Burada  $\mathbf{U}_{GR}$ , Güneş rüzgârının hız vektörüdür [4, 20].

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 2.8, elektrik alanın etkisinde yüklü parçacıkların sürüklenme yönlerini göstermektedir [5, 20, 25]. Bu sürüklenme hareketi kuzey ve güney yarımküredeki polar oval arasındaki bölgede gerçekleşmektedir.



Şekil 2.8. Yüklü parçacıkların farklı yönlerdeki sürüklenme hareketi [5]

### 2.3. Manyetosfer İyonosfer Etkileşimi

Manyetosfer ile Güneş rüzgârlarının karşılıklı etkileşimi, manyetosfer ve yüksek enlem iyonosferinde oluşan elektrik alanları, plazma hareketleri, akımlar, elektrojetler ve aurora gibi önemli fiziksel süreçlerin temel kaynağıdır. Bu olaylar, manyetosfer ile yüksek enlem iyonosferini güçlü bir şekilde birbirine bağlamaktadır [4, 5].

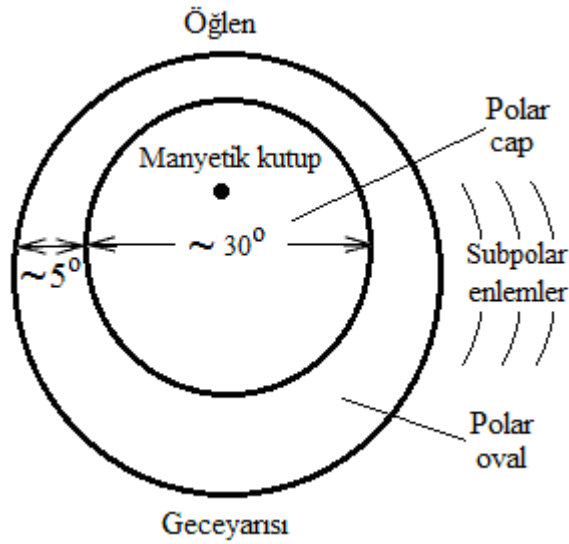
#### 2.3.1. Yüksek Enlem İyonosferinin Karakteristiği

Yüksek enlem; polar cap, polar oval ve subpolar enlemler olmak üzere 3 bölgeye ayrılmıştır. Polar cap bölgesi, manyetik kutbun etrafını saran yaklaşık 30° çapa sahip dairesel bir bölgedir. Gezegenlerarası manyetik alan ve jeomanyetik alanın etkileşimi sonucu birleşen alan çizgileri polar cap bölgesinde açıktır. Bu bölgenin merkezi, manyetik kutuptan geceye

doğru birkaç derece kaymaktadır. Polar oval, polar capin etrafını saran ve birkaç derece enlemsel genişliği olan halka şeklindeki bir bölgedir. Bu bölgedeki manyetik alan çizgileri dipolar bir yapıya sahiptir. Polar ovalin ekvator tarafındaki sınırında alan çizgileri, kapalıdır ve manyetosferik kuyruğun uzak mesafelerine doğru uzanmaktadır. Subpolar enlemler, polar ovalden ekvatora kadar uzanan bölgedir [4, 5].

Şekil 2.9’da gösterilen bu bölgeleri, aşağıdaki řu fiziksel süreçler belirlemektedir.

- Bölgelerdeki elektrik alanlar
- Akım ve sürüklenme ilişkileri
- Parçacık yağış yoğunluğu
- Üst atmosferik düzensizlikler
- Manyetosferdeki parçacık yoğunluğu



Şekil 2.9. Polar cap ve polar ovalin yapısı [5]

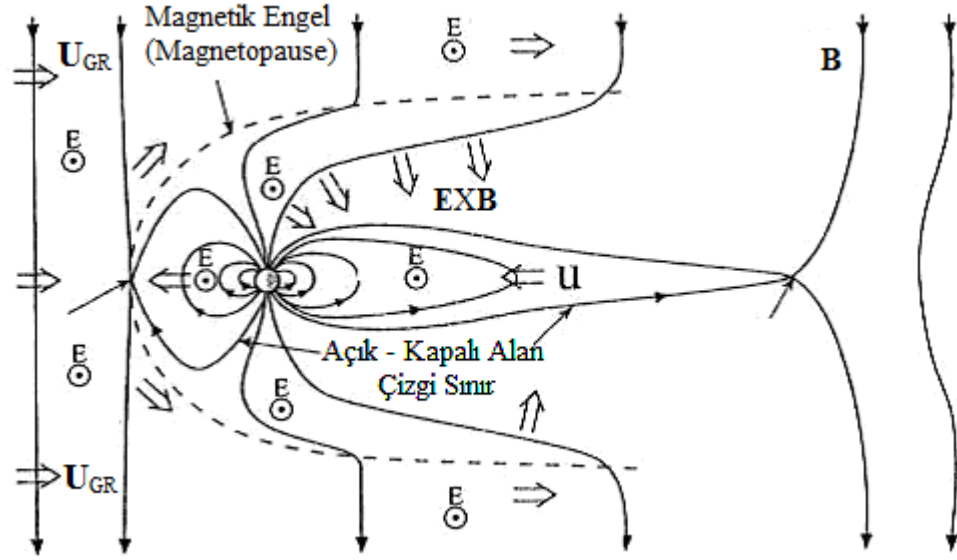
Polar cap, manyetik alan çizgileriyle gece tarafındaki manyetik engele bağlıdır. Polar oval ise, gece tarafında plazma tabakası (plasma sheet) kuyruğuna ve gündüz tarafında ise uç bölge ile manyetosferik sınır katmanına bağlıdır [4].

Polar oval ve polar capin boyutu evrensel zaman değişimine bağlıdır. Ancak evrensel zamana göre değişimine ek olarak jeomanyetik etki de önemlidir. Jeomanyetik aktif durumdaki her iki bölgenin boyutu, jeomanyetik sakin duruma göre daha geniş bir yapıya sahiptir [5].



### 2.3.2. Manyetosferik Elektrik Alanlar ve Plazma Konveksiyonu

Yüksek enlemlerde manyetosfer, iyonosfer ve termosfer elektrodinamiksel süreçlerle birbirine bağlanmıştır. Bu bağlantı, Yer'in manyetik alanı ile manyetize olmuş Güneş rüzgârlarının etkileşimi sonucu ortaya çıkar. Güneş rüzgârı yüksek derecede iletken, çarpışmasız ve manyetize olmuş plazmadır. Dolayısıyla, Güneş rüzgârındaki elektrik alan  $\mathbf{E} = -\mathbf{U}_{GR} \times \mathbf{B}$  ilişkisiyle ifade edilebilir. Burada,  $\mathbf{U}_{GR}$  Güneş rüzgârının hızıdır. Güney yönlü  $\mathbf{B}_z$  bileşenine sahip rüzgârlar ile Yer'in manyetik alanı etkileştiği zaman, bu etkileşim polar cap boyunca gün doğumundan gün batımı yönüne doğru bir elektrik alan oluşturur [4, 5].

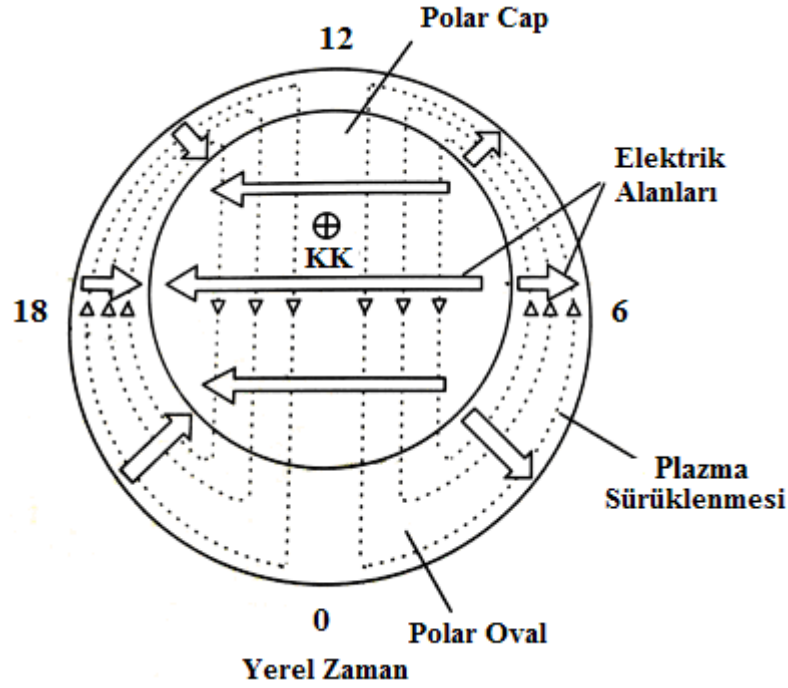


Şekil 2.10. Dünya çevresindeki elektrik ve manyetik alanları ile plazma akımları yönlerinin gösterilimi [4].

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi  $\mathbf{B}$ 'ye dik olarak yönelmiş bu elektrik alan, jeomanyetik alan çizgileri boyunca daha düşük iyonosferik yüksekliklere taşınır. İyonosferdeki bu elektrik alan, polar cap içerisinde Güneş'e zıt yönde bir  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  plazma sürüklenmesine neden olur. Dünyadan çok daha uzakta açık polar cap alan çizgileri üzerindeki plazma, ekvator düzlemine doğru  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  yönünde sürüklenir [4].

Polar cap boyunca bir elektrik alanın varlığı, açık ve kapalı manyetik alan çizgileri arasındaki sınırın yüklenmesi anlamına gelir. Bu elektrik alan, şafak tarafını pozitif, gün batımı tarafını negatif yükler. Polar cap sınırındaki bu yüklenme, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, polar captaki elektrik alanına zıt yönde olan polar ovalde indüklenmiş elektrik alan

oluşturur. Polar capteki elektrik alanında olduğu gibi polar ovaldeki elektrik alanlarda iyonosferik yüksekliklere doğru iner ve Güneş yönünde bir  $E \times B$  plazma sürüklenmesine neden olur [4, 5].



Şekil 2.11. Yüksek enlem iyonosferindeki elektrik alanlar ve plazma sürüklenmeleri [5]

Sakin durumlarda polar capte elektrik alan şiddeti 10 mV/m iken, polar oval içerisinde elektrik alan şiddeti 30 mV/m'dir. Subpolar bölgede elektrik alan şiddeti 5 mV/m'den küçüktür [5].

Polar cap ve polar oval içindeki elektrik alanlar, yüklü parçacıkların iki hücreli bir yapıya sahip ambipolar (iki kutuplu) sürüklenmesine neden olmaktadır. İyonosferdeki bu sürüklenme yönü, Şekil 2.12'de gösterilen manyetosferik elektrik alan ile ilişkilidir ve polar capte Güneş'e ters yönde, polar ovalde ise Güneş'e doğrudur. Polar oval içerisinde iyonosferik plazma, gün batımı sektöründe saat yönünde, gün doğumu sektöründe ise saatin ters yönünde sürüklenir. Plazma sürüklenmesi her yerde elektrik alana dik yönelmiştir. Sürüklenme hızı elektrik alan şiddetiyle doğru orantılıdır [4, 5].

Şekil 2.11'de gösterilen elektrik alan oluşumu ve plazma sürüklenmesi olayları, doğrudan IMF'ye bağlıdır [5].

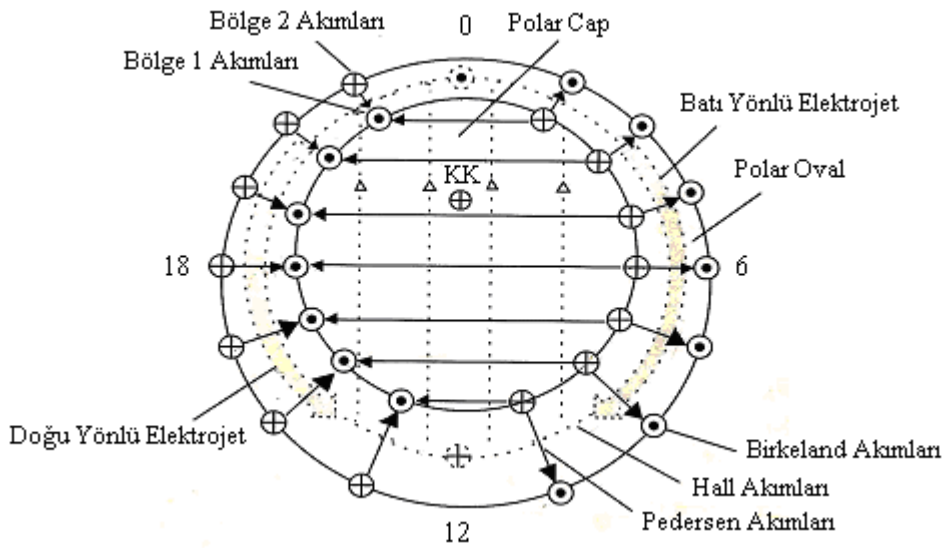
### 2.3.3. Yüksek Enlemlerde İyonosferik İletim ve Akımlar

İyonosferde bulunan iletim elektrik alanlarının etkileri, yüksekliğe bağlıdır. İyonosferik F bölgesi yüksekliklerinde, yüklü parçacıklar ile nötral gaz parçacıklarının çarpışma frekansı, yüklü parçacıkların siklotron frekansından çok daha küçüktür ve bundan dolayı pozitif iyonlar ve elektronlar bu yüksekliklerde  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  yönünde sürüklenirler [4, 5].

Diğer taraftan, pozitif iyon-nötr parçacık çarpışma frekansları, düşük yüksekliklerde (E bölgesi) siklotron frekanslarından daha büyüktür. Bunun sonucunda pozitif iyonlar elektrik alan yönünde sürüklenerek, bu yüksekliklerde yatay iyonosferik akımları meydana getirirler. Çarpışma frekanslarının yükseklikle azalması sebebiyle, iyon sürüklenme hızı yükseklik arttıkça tekrar  $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$  yönüne doğru döner [4, 5].

Bu bölgelerde elektrik alana paralel akan akımlar Pedersen akımları, elektrik alana dik akan akımlar Hall akımları ve manyetik alan boyunca akan akımlar ise Birkeland akımları olarak tanımlanmaktadır [4, 5]. Birkeland akımları manyetik alana tuzaklanmış elektronların akımı olduğundan, bu akımlar parçacık yağışı olarak ta tanımlanır. Birkeland akımları, iyonosfer ve manyetosfer arasında akar. Akım yönü, gün doğumu tarafında manyetosferden iyonosfere doğru ve gün batımı tarafında ise iyonosferden manyetosfere doğrudur.

Elektrik alan yönündeki akımları takip ettiğimizde Pedersen akımları, polar capte gün doğumundan gün batımına doğrudur ve polar ovalde radyaldır. Pedersen akımları polar oval sınırında Birkeland akımları üzerinden akar. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, polar ovalin kutup tarafındaki akımlar bölge 1 akımları, ekvator tarafındaki akımlar ise bölge 2 akımları olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 2.12. Yüksek enlem iyonosferindeki elektrik akımları [5]

Bölge 1 akımları, bölge 2 akımlarından daha güçlüdür. Polar ovalde elektrik alana dik olarak akan Hall akımı da plazma konveksiyonu ile ilişkilidir ve akım akış yönü sürüklenme hareketine zıt yöndedir. Hall akımı polar cap içinde Güneş yönünde, polar oval içinde ise Güneş'e ters yönde akar [4, 5].

Polar ovalde akan Hall akımları, güçlü elektrik alanlarından ve yüksek iyonosferik iletkenliklerden dolayı bu bölgede çok güçlüdür. Bu güçlü akımlar, polar veya auroral elektrojet olarak da bilinmektedir. Bu akım jetleri, gün doğumu sektöründe batıya doğru, gün batımı sektöründe doğuya doğru akar. Ayrıca gün batımı sektöründe doğuya doğru olan elektrojet, jeomanyetik alanın yatay bileşenini güçlendirirken, gün doğumu sektöründe batıya doğru doğru olan elektrojet, jeomanyetik alanın yatay bileşenini zayıflatmaktadır [4, 5].

Polar cap ve polar oval içerisinde akan bu akımların yoğunlukları, elektrik alanın şiddetine ve iyonosferik iletkenliğin büyüklüğüne bağlıdır. İyonosferik iletkenliğin büyüklüğü uzaysal ve bölgesel çeşitlilik sergiler. Örneğin, polar cap bölgesinin iletkenliği, kışın Güneş'in etkisi azaldığı için daha düşüktür. Buna bağlı olarak akım yoğunluğu da düşüktür. Polar ovalde ise iletkenlik mevsimsel değişime daha az duyarlıdır. Çünkü iyonlaşma yoğunluğu öncelikle enerjili elektron yağışı ile ilişkilidir [4, 5].

## **2.4. İyonosferik Kritik Frekans ve Jeomanyetik Aktivite İndisleri**

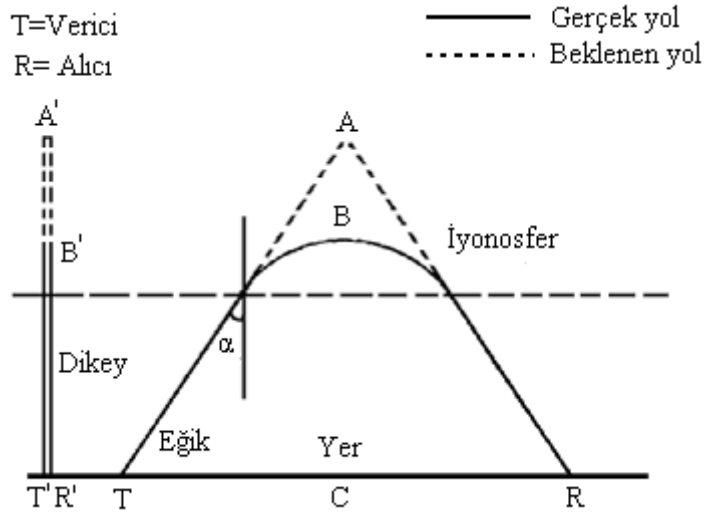
### **2.4.1. Kritik Frekans (foF2)**

İyonosfer, Güneş ışınları ve kozmik ışınlar ile iyonize olmuş gazlardan oluşan, serbest elektronların ve iyonların içerisinde bulunduğu, elektriksel olarak nötr olan atmosferin bir üst bölgesidir. Bu özelliğinden dolayı iyonosfer doğal bir plazmadır. İyonosfer, farklı yüksekliklerde farklı dalga boyuna sahip ışınların emilimi ve iyonlaşma farklılıkları nedeniyle D, E, F1 ve F2 olarak adlandırılan tabakalara ayrılmıştır. Bu tabakaların yükseklikleri ve elektron yoğunlukları, günlük ve mevsimsel olarak değişmektedir. Ayrıca iyonosfer atmosferdeki dinamik süreçlerle bir yerden bir yere taşınabilmektedir. İyonosfer tabakası yüksek frekanslı (HF) radyo dalgalarını uzak mesafelere yansıtma özelliğinden dolayı haberleşme için son derece önemlidir [2, 4, 5].

İyonosferde ilerleyen herhangi bir elektromanyetik dalga, kırma indisi büyük olan bölgeden kırma indisi küçük olan bölgeye geçerken, normal doğrultusundan uzaklaşacak şekilde kırılmaya uğrar. Elektron yoğunluğu yükseklikle birlikte artarken, ortamın kırılma indisi ise buna bağlı olarak azalır.

Şekil 2.13, iyonosfere dikey ve  $\phi_0$  açısı ile eğik gönderilen dalganın iyonosferden yansımalarını göstermektedir. A veya A' noktası, dalganın yansıtacağı tahmini yükseklik veya

sanal yüksekliktir. Bu yükseklik  $h'F2$  ve bu yükseklikte yansıyabilecek en büyük dalga frekansı yani kritik frekans ise sıradan dalga için  $f'oF2$  olarak tanımlanmaktadır [8].



Şekil 2.13. Dikey ve eğik gönderilen dalganın iyonosferden yansıması [8]

B veya B' noktası ise, dalganın yansıdığı gerçek yüksekliktir. Bu yükseklikte elektron yoğunluğu maksimumdur. Bu yükseklik, tepe yüksekliği olarak adlandırılıp  $h_mF2$  şeklinde sembolize edilir ve bu yükseklikten yansıyan dalganın frekansı,  $f_oF2$  olarak tanımlanmaktadır. Bu yükseklik yılın tüm günlerinde ve saatlerinde Güneş ışınlarının geliş açısı ve dolayısıyla elektron yoğunluğuna göre değişiklik gösterir. İyonosferden en fazla yansıyabilecek dalga, elektron yoğunluğunun en fazla olduğu F2 tepesinden yansıyacak dalga olduğu için bu dalganın frekansı F2 tabakasının kritik frekansı ( $f_oF2$ ) olarak da tanımlanmaktadır [8, 27, 28].

Kritik frekans değerlerinin ölçüldüğü istasyonlara iyonsonda istasyonları denilmektedir. Bu istasyonlarda her saat için kritik frekans ölçümleri yapılmaktadır.

#### 2.4.2. Jeomanyetik Aktivite İndisleri

Güneş'te meydana gelen aktiviteler, Yer'in manyetik alanını etkilemektedir. 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 [20, 27, 29-31].

### 2.4.2.1. K İndisi ve Gezegenel K ( $K_p$ ) 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 2.1'de verilmiştir [29].

**Tablo 2.1.** K indisi ile manyetik alanın yatay bileşeni arasındaki ilişki [29]

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

$K_p$  indisi, Yer üzerindeki gözlemlerinden elde edilen K değerlerinden, kullanışlı basit bir gezegenel (global) indis elde etmek için türetilmiştir.  $K_p$  indisi, Yer üzerindeki 13 gözlemevinden elde edilen K değerlerinin ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Bu indis, günlük, enlemsel ve mevsimsel özelliklere bağlı değildir.  $K_p$  değerleri, K değerlerinin 1/3'lük birimlere (0, 1/3, 2/3, ....., 9) bölünmüş 28 kesirli değerden meydana gelmektedir [32]. Bu değerler Tablo 2.2'de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** K değerlerinden elde edilen kesirli  $K_p$  değerleri [29]

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

#### **2.4.2.2. Auroral Elektrojet İndisi (AE)**

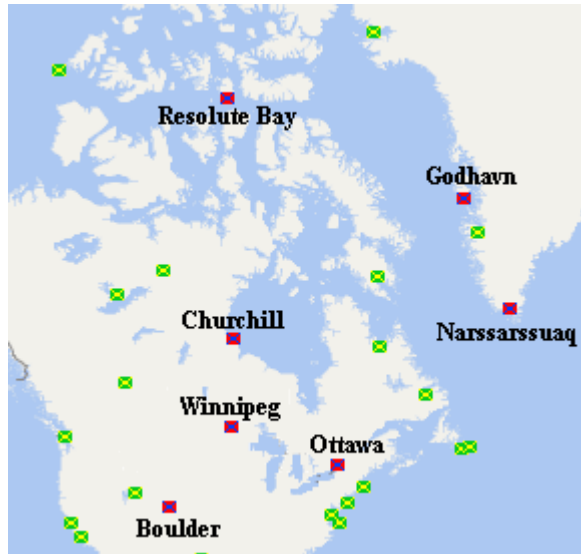
Auroral elektrojet indeksi (AE), 1966'da Davis ve Sugiura tarafından, kutup enlemlerinde manyetik aktiviteyi tarif etmek için tanımlanmıştır. Bu indis, auroral bölgede elektrojet aktivitesinin bir ölçüsüdür. AE indisi ölçümleri diğer jeomanyetik aktivite indislerinde olduğu gibi sadece Yer'in manyetik alanının yatay bileşeni dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Bu indis, yerel zaman ve enleme göre değişik şekilde (kuzey yarımküre auroral bölgede) konumlanmış istasyonlar tarafından elde edilmektedir. Her istasyonda kuzey-güney manyetik düzensizlik değeri olan H (Yer'in manyetik alanının yatay bileşeni) evrensel zamanın bir fonksiyonu olarak kaydedilir. Doğuya doğru akan elektrojetin Yer'in manyetik alanının yatay bileşeninde meydana getirdiği sapma AU olarak, batıya doğru akan elektrojetin Yer'in manyetik alanının yatay bileşeninde meydana getirdiği sapma ise AL olarak tanımlanmıştır. AU ve AL indisleri arasındaki fark ise, doğu ve batı elektrojet akımlarının toplam maksimum genliğini veren AE indisini verir. Yüksek enlemlerde manyetik aktivitenin zamana ait değişimini bu indis oldukça iyi gösterir [20, 27, 29-34].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, 1971 Aralık-1972 Eylül tarihleri için yüksek enlemlerdeki iyonsonda istasyonlarından elde edilen foF2 verileri ile Ariel 4 uydusunun ölçtüğü elektron yoğunluklarının farklı jeomanyetik aktivite durumları için değişmeyen manyetik enlem değişimleri incelenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın bu tarihler için yapılmasının nedeni, Ariel 4 uydusundan alınan elektron yoğunluğu verilerinin bu tarihler arasında olmasından kaynaklanmaktadır.

Manyetik aktivite değişimlerinin foF2 üzerindeki etkisini incelemek için foF2 verilerinin alındığı aynı zaman dilimlerindeki küresel manyetik aktivite durumunu veren 3 saatlik  $K_p$  verileri ile auroral elektrojet indisi olan saatlik AE verileri kullanılmıştır. Saatlik foF2 verileri,  $40^\circ$  K ile  $74,7^\circ$  K coğrafik enlemleri arasında ve  $45,4^\circ$  B ile  $105,3^\circ$  B coğrafik boylamları arasında bulunan 7 iyonsonda istasyonundan alınmıştır. Şekil 3.1 istasyonların konumlarını gösterirken, Tablo 3.1’de bu istasyonların coğrafik enlem ve boylam değerlerinin yanısıra değişmeyen manyetik enlem değerleri de verilmiştir.



Şekil 3.1. Saatlik foF2 verilerinin alındığı iyonsonda istasyonları [35]

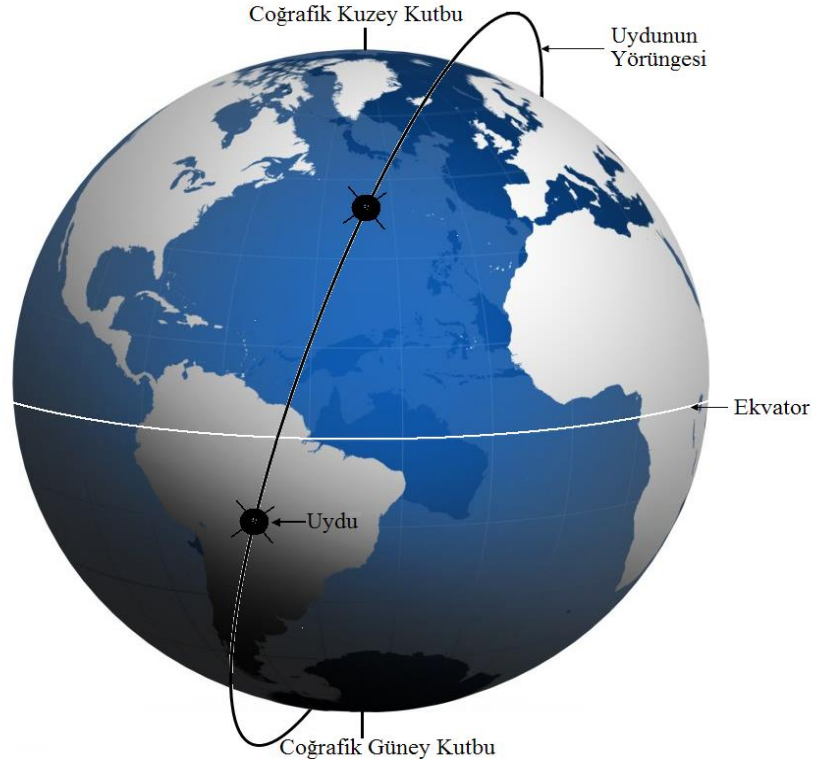
Saatlik foF2 verileri ve 3 saatlik  $K_p$  verileri, uzay fiziği etkileşim veri kaynağı (Space Physics Interactive Data Resource) merkezinden elde edilmiştir [35]. Saatlik AE verileri, jeomanyetik auroral elektrojet (AE) indisi sayfası (Geomagnetic Auroral Electrojet (AE) Index Home Page) veri servisinden alınmıştır [36].



**Tablo 3.1.** foF2 verilerinin alındığı istasyonların enlem ve boylam değerleri [35-37]

İstasyon Adı	Coğrafi Enlem	Coğrafi Boylam	Değişmeyen Manyetik Enlem
Boulder	40° K	254.7° D	52.5° K
Ottawa	45.4° K	284.1° D	58.7° K
Winnipeg	49.8° K	295.6° D	63.4° K
Narssarssuaq	61.2° K	314.6° D	69° K
Churchill	58.8° K	265.8° D	70° K
Godhavn	69.3° K	306.5° D	79.5° K
Resolute Bay	74.7° K	265.1° D	84.3° 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 eğimi) 83° dir. Uydu bir turunu yaklaşık 95 dakikada tamamlamaktadır ve Yer etrafındaki bir dolanımı boyunca yaklaşık 24° coğrafi 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 coğrafi enlemden bulunmaktadır [38]. Şekil 3.2'de, uydunun Yer'e göre yörüngesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Ariel 4 uydusunun Yer'e göre yörüngesi [39]

Yüksek enlem iyonosferik foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini, tüm saatlere, tüm mevsimlere ve farklı manyetik aktivite durumlarına göre inceleyebilmek için;

1. Coğrafik olarak yüksek enlem ( $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ) içerisinde ve II. boylam bölgesi ( $45,4^{\circ}$  B- $105,3^{\circ}$  B) içerisinde olan 7 iyonsonda istasyonu belirlenmiştir [40].
2. Doğrusal ara değer bulma (linear interpolation) yöntemi kullanılarak 3 saatlik  $K_p$  değerlerinden saatlik  $K_p$  değerleri hesaplanmıştır. Böylece manyetik aktivitenin foF2 üzerindeki etkisi her bir evrensel zaman için incelenebilmiştir.
3. Saatlik AE indisi verileri alınarak düzenlenmiştir.
4. İyonosferdeki mevsimsel değişimlerin etkisini görebilmek için saatlik foF2,  $K_p$  ve AE verileri ekinoks (21 Mart, 23 Eylül) ve gündönümü (21 Haziran, 21 Aralık) tarihlerinin 42 gün öncesini ve 42 gün sonrasını kapsayan ( $\pm 42$  gün) 85 günlük 4 mevsime ayrılmıştır [40].
5. 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 [40].
6. Mevsimlere ayrılan foF2 verileri, auroral elektrojet indisinin manyetik sakin ( $AE \leq 200$ ) ve manyetik aktif ( $AE > 200$ ) olduğu saatlere göre yeniden sınıflandırılmıştır [41]. Böylece yüksek enlemlerde manyetik aktivite değişimlerinin foF2 üzerindeki etkisi incelenmiştir.
7. Her bir mevsim için her bir jeomanyetik aktivite ( $K_p \leq 2^+$ ,  $K_p > 2^+$ ,  $AE \leq 200$ ,  $AE > 200$ ) durumuna göre sınıflandırılmış foF2 verilerinin saatlik ortalama değerleri hesaplanmıştır.
8. Evrensel zamana göre alınan ve analizi yapılan kritik frekans ve jeomanyetik indis verileri, yerel zamana (YZ) göre yeniden düzenlenmiştir.
9. Her istasyonun her mevsim için ve her jeomanyetik aktivite durumu için hesaplanan ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre grafikleri 3'er saatlik periyotlar (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00) için çizdirilmiştir. Ayrıca tüm yerel zamanlardaki foF2 değerlerinin enlemsel davranışı görmek için ortalama foF2 değerlerinin yerel zamana ve değişmeyen manyetik enleme göre eşyüzey eğrileri çizdirilmiştir. Böylece manyetik aktivite değişiminin foF2 üzerindeki etkisi, enlemsel olarak tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yüksek enlemlerde jeomanyetik aktivite değişiminin farklı yüksekliklerdeki etkisini görebilmek için foF2 analizlerine ek olarak, ortalama 550 km'de ölçülen elektron

yoğunluğunun değişmeyen manyetik enlemlere, mevsimlere ve farklı manyetik aktivite durumlarına göre değişimini inceleyebilmek için;

1. 21 Aralık 1971, 21 Mart 1972 ve 21 Haziran 1972 dönemlerine ait elektron yoğunluğu verileri incelenmiştir. 23 Eylül zamanına ait Ariel 4 uydu verisi olmadığı için incelenememiştir.

2. Belirlenen enlem ve boylam bölgesinden geçen uydudan elde edilen elektron yoğunluğu verileri  $K_p \leq 2^+$ ,  $K_p > 2^+$ ,  $AE \leq 200$  ve  $AE > 200$  durumları için sınıflandırılmıştır.

3. Sınıflandırılan elektron yoğunluğu verilerinin aktif ve pasif duruma göre ortalamaları alınmıştır.

4. Ortalamaları alınan verilerin değişmeyen manyetik enleme göre aktif ve pasif jeomanyetik durumlarda yaklaşık gece yarısı YZ saat 00:00 ve öğlen YZ saat 12:00 için grafikleri çizdirilmiştir.

Güney yarımküre için foF2 verilerini ölçen istasyon olmadığı için güney yarımküre yüksek enlemleri çalışılamamıştır.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, 3. bölümde verilen materyal ve metot kullanılarak, ortalama foF2 değerlerinin ve elektron yoğunluklarının değişmeyen manyetik enlemlere göre değişimi, jeomanyetik indislerin pasif ( $K_p \leq 2^+$ ,  $AE \leq 200$ ) ve aktif ( $K_p > 2^+$ ,  $AE > 200$ ) durumlarına göre ayrı ayrı incelenerek, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

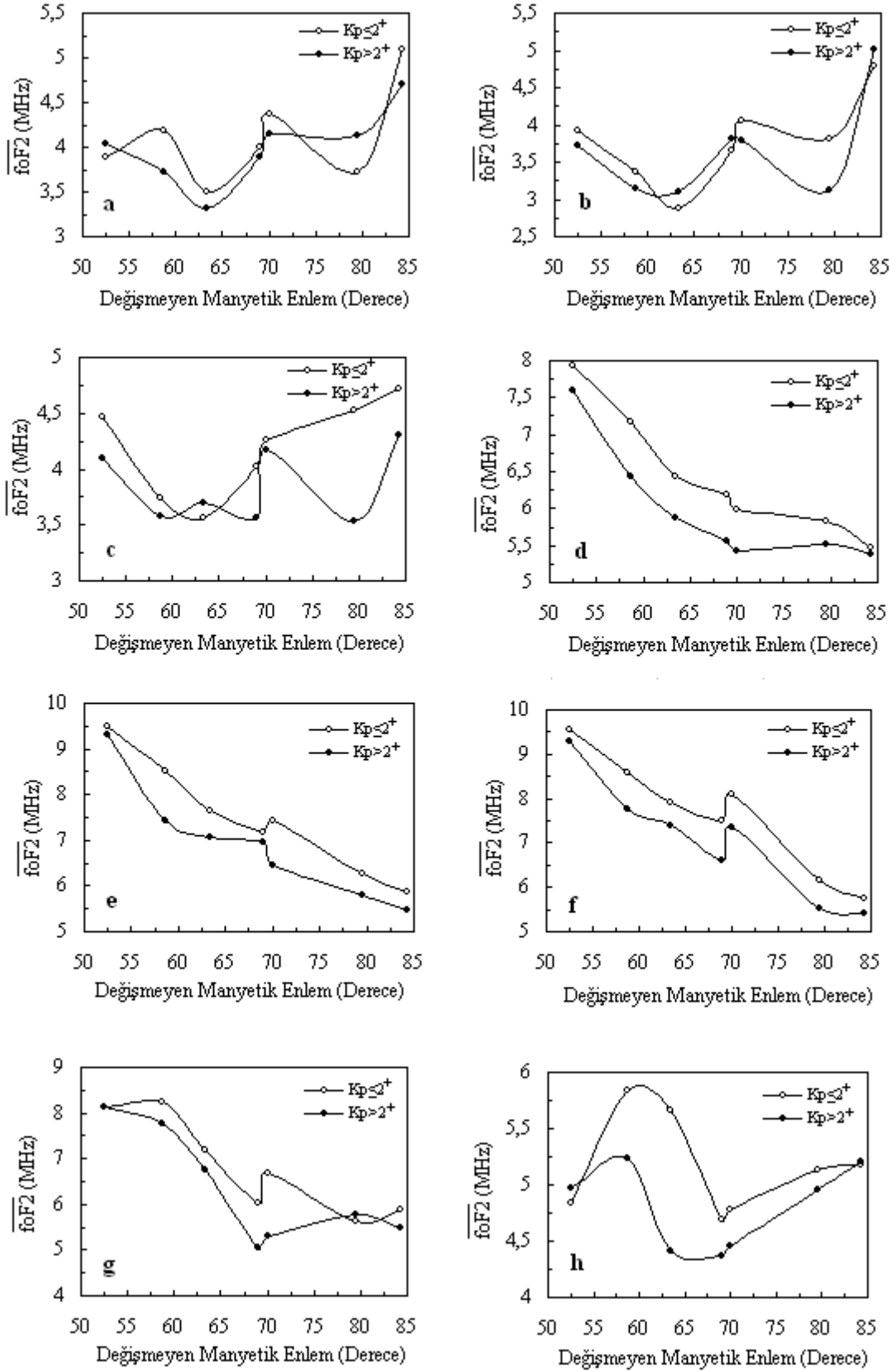
### 4.1. foF2 Değerlerinin Mevsimsel Değişimi

#### 4.1.1. 21 Mart Dönemi

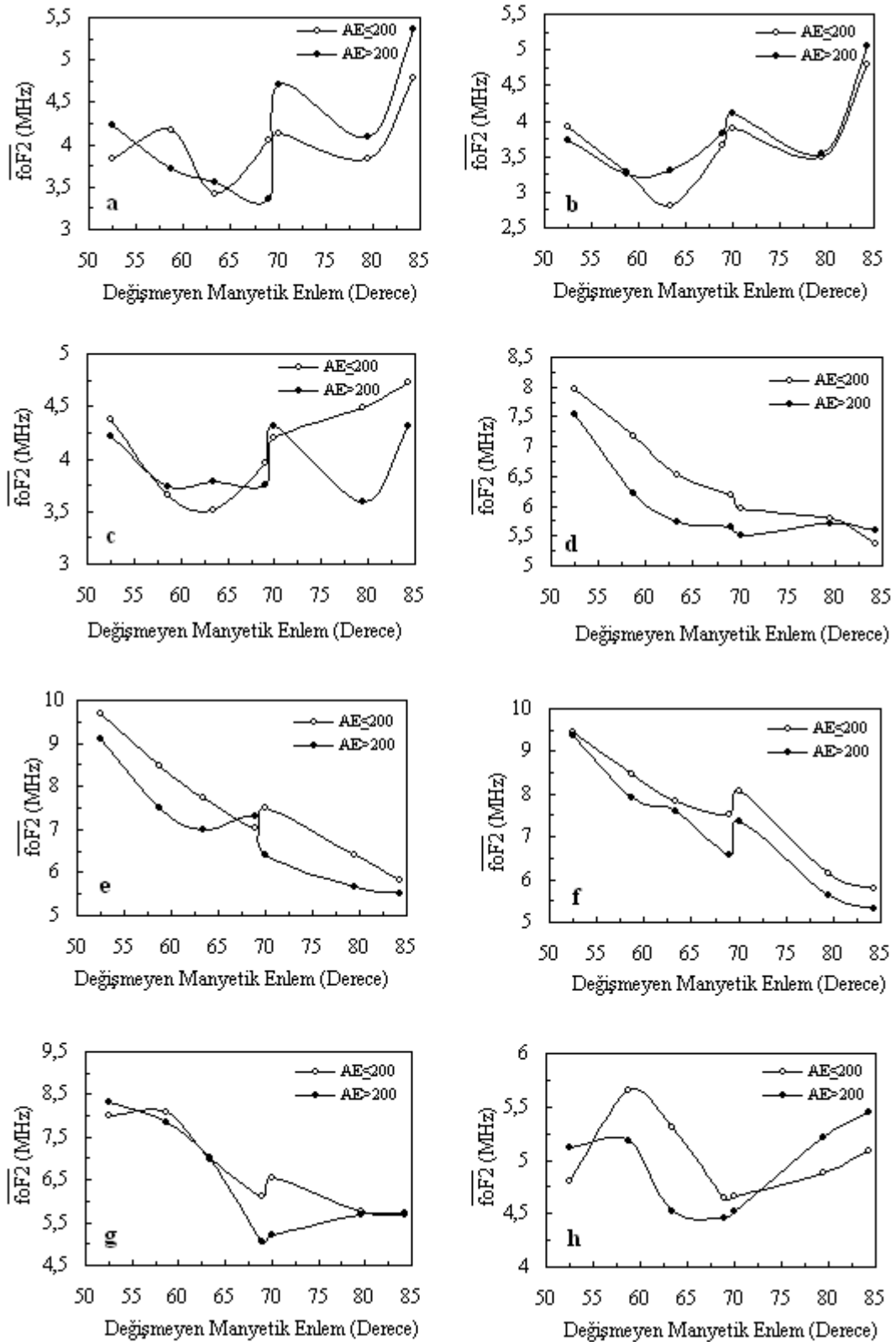
Şekil 4.1, 1972 yılı 21 Mart dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Genel olarak gündüz saatlerindeki foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri, aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca hem aktif hem de pasif durumlar için manyetik enlem arttıkça gündüz saatlerinde foF2 değerlerinde azalma görülürken, yaklaşık  $69^\circ$  ile  $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 4.2, 1972 yılı 21 Mart dönemi için auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir.  $K_p$  indisindeki duruma benzer şekilde, gündüz saatlerindeki foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri, aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca hem aktif hem de pasif durumlar için manyetik enlem arttıkça gündüz saatlerinde foF2 değerlerinde azalma görülürken, yaklaşık  $69^\circ$  ile  $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

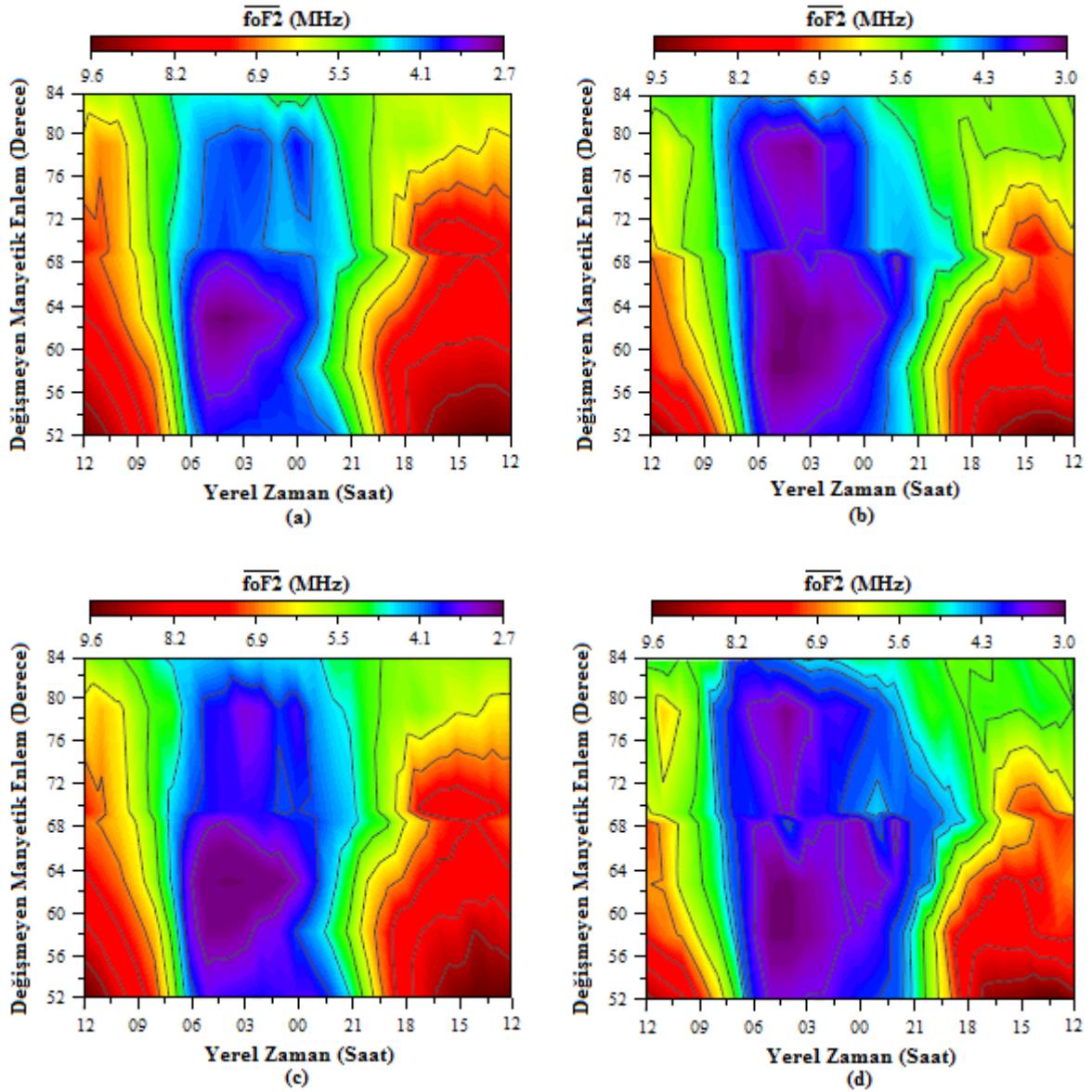
$K_p$  ve AE indisleri için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlemlere göre değişimleri (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) benzer özellikler göstermektedir.



**Şekil 4.1.** 1972 yılı 21 Mart döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.2.** 1972 yılı 21 Mart döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: **(a)** YZ 00:00 için, **(b)** YZ 03:00 için, **(c)** YZ 06:00 için, **(d)** YZ 09:00 için, **(e)** YZ 12:00 için, **(f)** YZ 15:00 için, **(g)** YZ 18:00 için, **(h)** YZ 21:00 için



**Şekil 4.3.** 1972 yılı 21 Mart boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için

Şekil 4.3, 1972 yılı 21 Mart dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  ve auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin 24 saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekle göre, gündüz saatlerinde aktif ve pasif durumlar için foF2 değerleri manyetik enleme göre azalma eğilimindedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturmuştur.

#### 4.1.2. 21 Haziran Dönemi

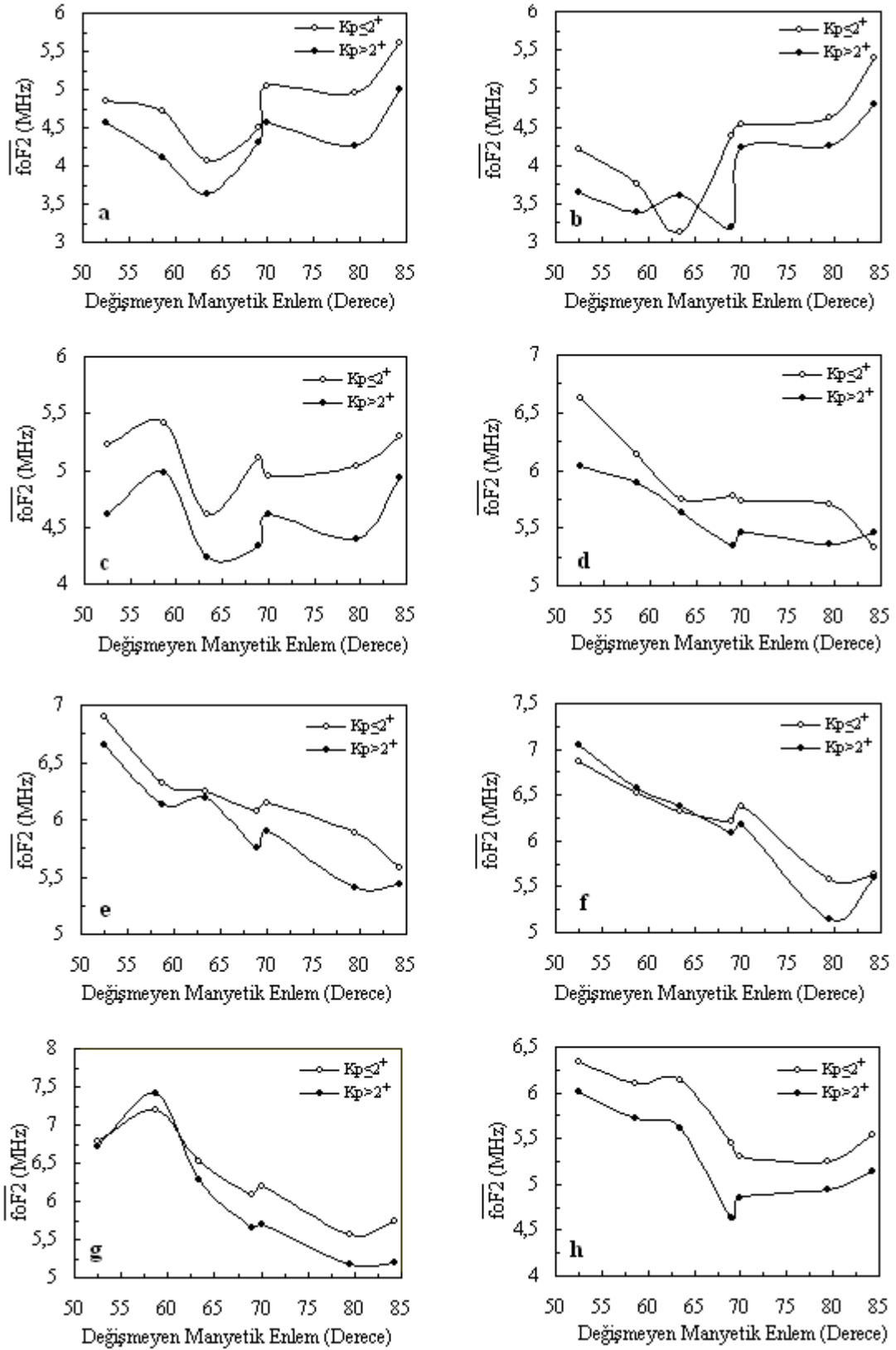
Şekil 4.4, 1972 yılı 21 Haziran dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Genel olarak tüm saatler için, gündüz saatlerindeki foF2 değerleri gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Hem aktif hem de pasif durumlar için gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça foF2 değerleri azalırken, yaklaşık  $69^\circ-70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ayrıca gece saatlerinde de aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ-70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ancak bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 4.5, 1972 yılı 21 Haziran dönemi için auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Genel olarak gündüz saatlerindeki foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri, aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Hem aktif hem de pasif durumlar için gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça foF2 değerleri azalırken, yaklaşık  $69^\circ-70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ayrıca gece saatlerinde de aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ-70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Ancak bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

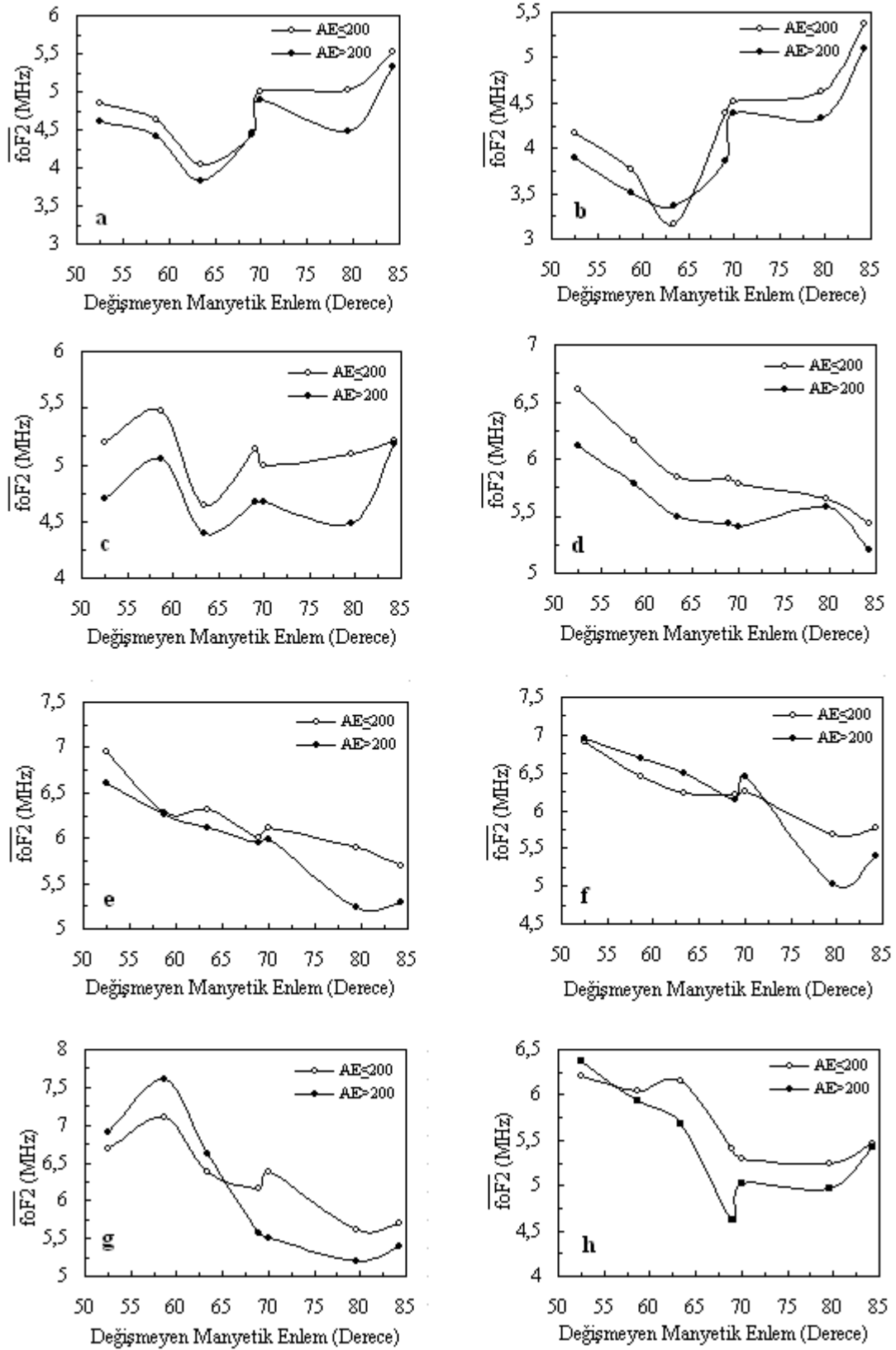
Ancak gece saatleri için oluşan bu çukursal yapıların Mart dönemine göre daha az belirgin olduğu görülmektedir.

Ayrıca Haziran döneminde de  $K_p$  ve AE indisleri için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlemlere göre değişimleri (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) benzer bir yapı sergilemektedirler.

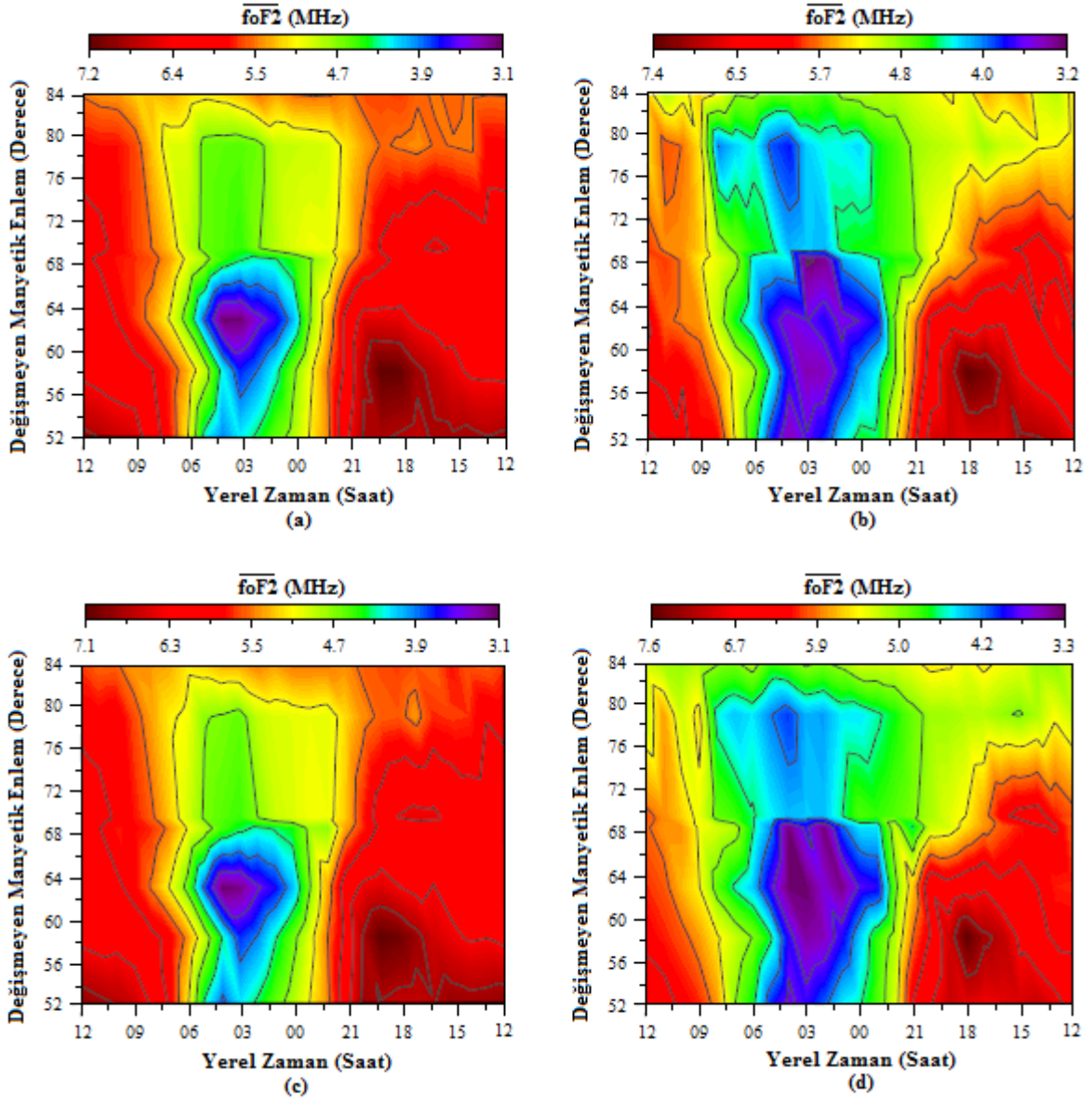




**Şekil 4.4.** 1972 yılı 21 Haziran döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: **(a)** YZ 00:00 için, **(b)** YZ 03:00 için, **(c)** YZ 06:00 için, **(d)** YZ 09:00 için, **(e)** YZ 12:00 için, **(f)** YZ 15:00 için, **(g)** YZ 18:00 için, **(h)** YZ 21:00 için



**Şekil 4.5.** 1972 yılı 21 Haziran döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.6.** 1972 yılı 21 Haziran boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için

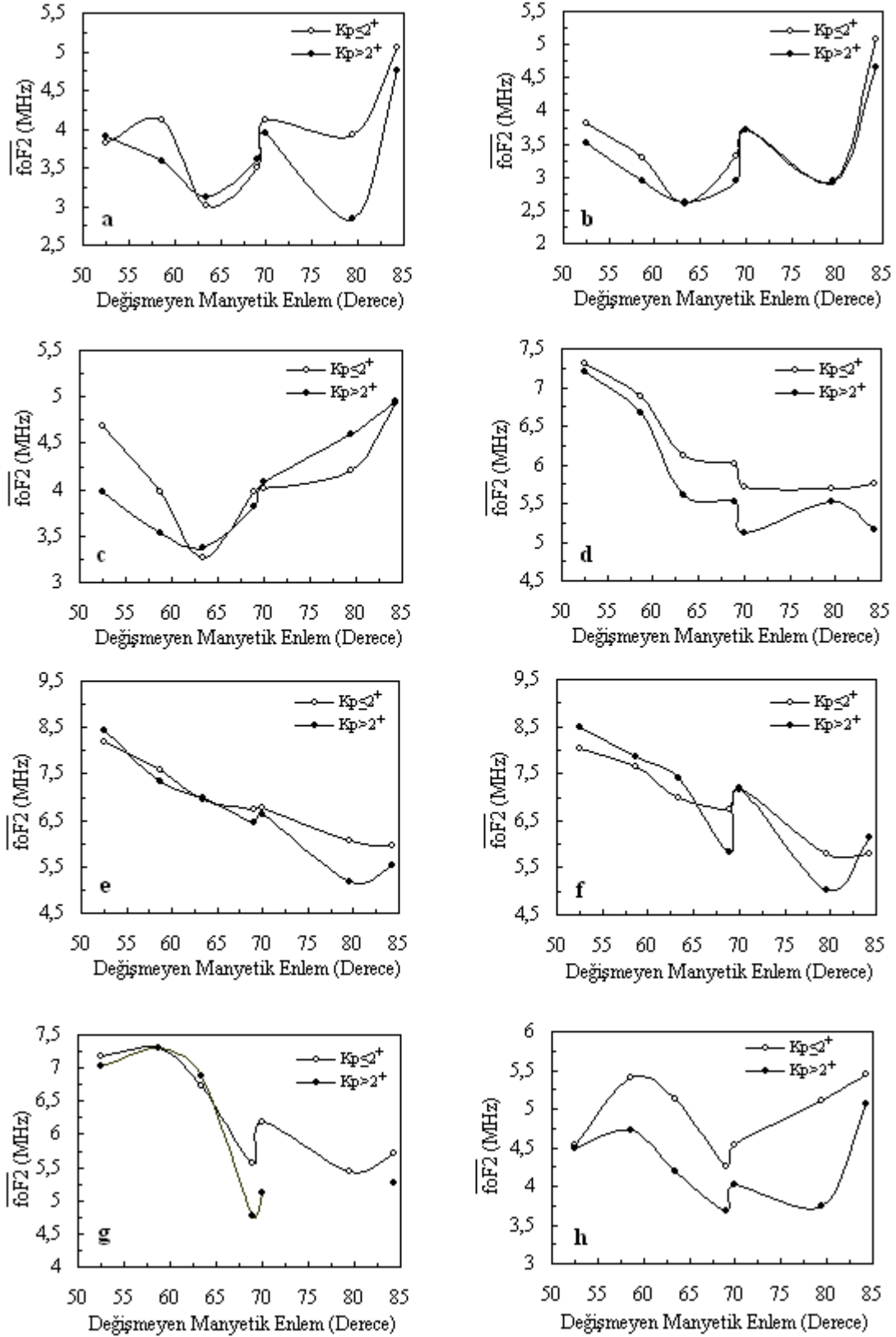
Şekil 4.6, 1972 yılı 21 Haziran dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  ve auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin 24 saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekle göre, gündüz saatlerinde aktif ve pasif durumlar için foF2 değerleri, manyetik enlem artışına karşı genel olarak azalma eğilimindedir. Gece saatlerinde ise, foF2 değerleri pasif durumlar için yaklaşık  $62^\circ$  manyetik enlemden sonra artarken, aktif durumlar için ise sadece yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasında artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlemlerde foF2 değerlerinin azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

#### 4.1.3. 23 Eylül Dönemi

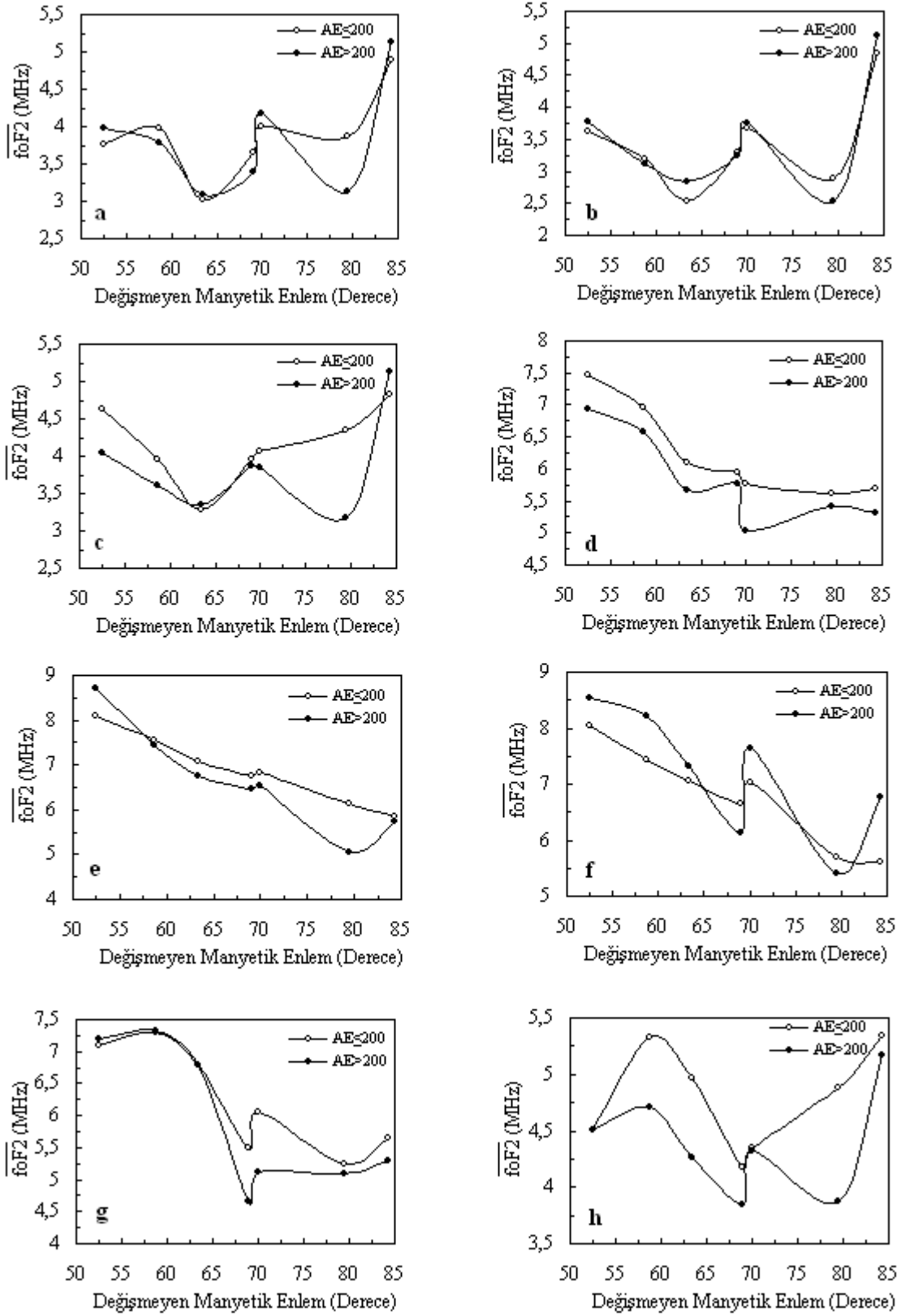
Şekil 4.7, 1972 yılı 23 Eylül dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Genel olarak, gündüz saatlerindeki foF2 değerleri gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri de aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Hem aktif hem de pasif durumlar için gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça foF2 değerlerinde azalma görülmektedir. Ancak yaklaşık  $69^\circ$  ile  $70^\circ$  manyetik enlem arasındaki foF2 değerlerinin artışı dikkat çekmektedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 4.8, 1972 yılı 23 Eylül dönemi için auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Gündüz saatlerindeki foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden büyüktür. Genel olarak, pasif durumda ortalama foF2 değerleri aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinden daha büyüktür. Hem aktif hem de pasif durumlar için gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça foF2 değerlerinde azalma görülmektedir. Ancak yaklaşık  $69^\circ$  ile  $70^\circ$  manyetik enlem arasındaki foF2 değerlerinin artışı dikkat çekmektedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlar için yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artmıştır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerindeki foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

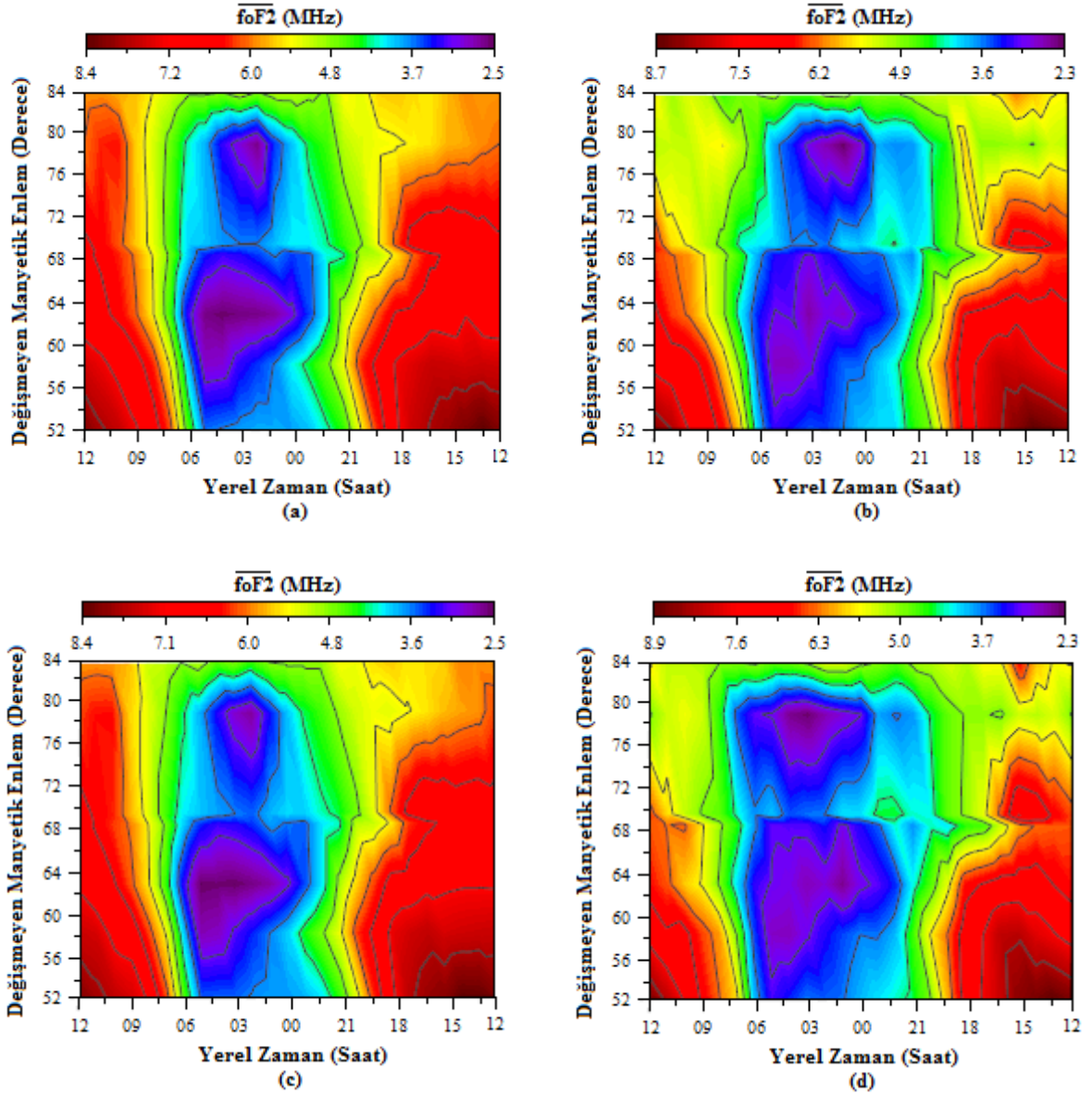
$K_p$  ve AE indisleri için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlemlere göre değişimleri diğer mevsimlerde olduğu gibi (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8) benzer özellikler göstermektedir.



**Şekil 4.7.** 1972 yılı 23 Eylül döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.8.** 1972 yılı 23 Eylül döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.9.** 1972 yılı 23 Eylül boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için

Şekil 4.9, 1972 yılı 23 Eylül dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  ve auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin 24 saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekle göre, gündüz saatleri için pasif durumdaki foF2 değerleri, manyetik enlem arttıkça azalırken, aktif durumlarda yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasındaki foF2 değerleri artışı dikkat çekmektedir. Gece saatlerinde ise, aktif ve pasif durumlarda yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasında foF2 değerleri artmaktadır. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerinde foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturmuştur.

#### 4.1.4. 21 Aralık Dönemi

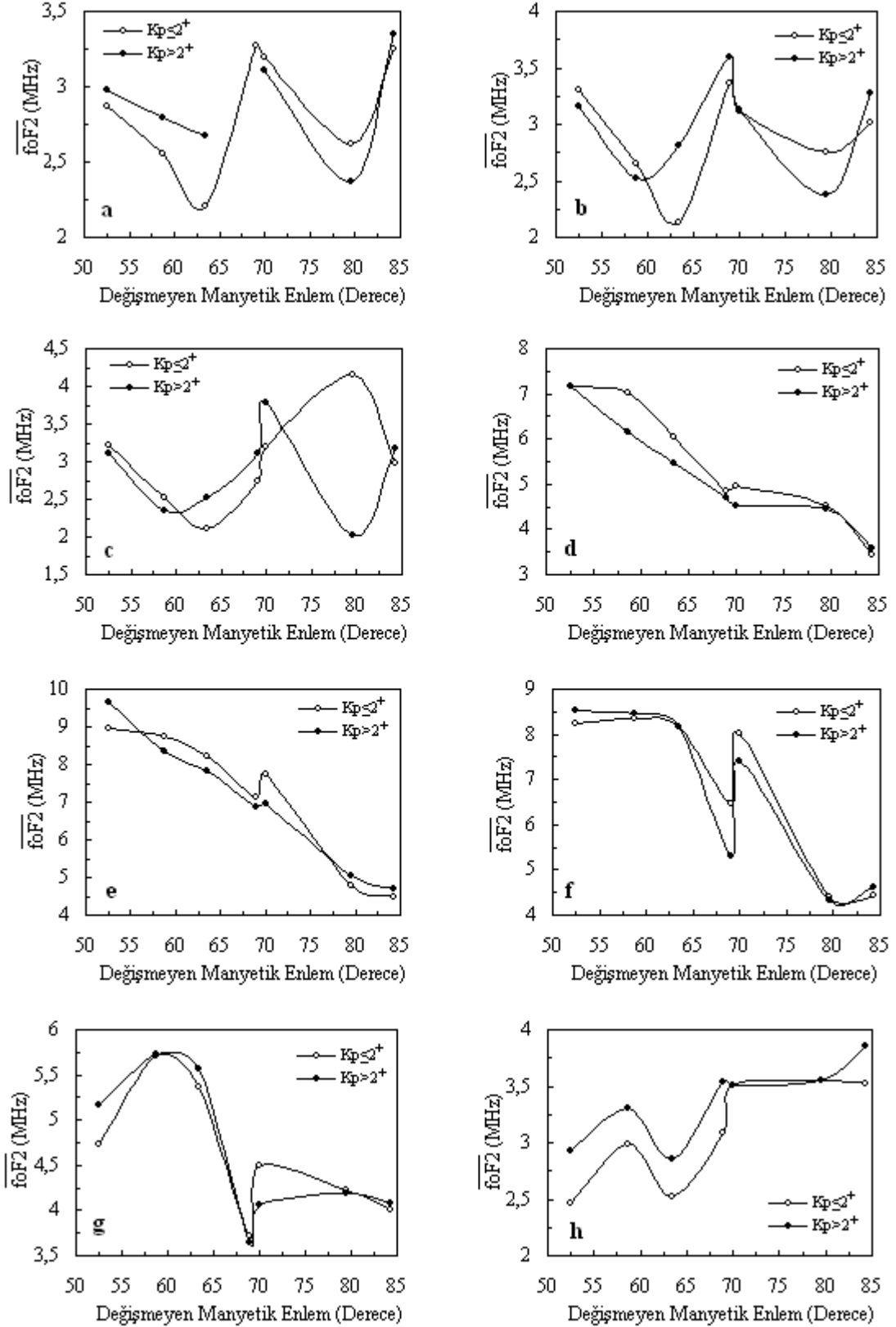
Şekil 4.10, 1971 yılı 21 Aralık dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Genel olarak, gündüz saatlerindeki foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden ve pasif durumdaki foF2 değerleri de aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Ayrıca gündüz saatlerinde hem aktif hem de pasif durumlar için manyetik enlem arttıkça foF2 değerlerinde azalma görülürken, yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerinde azalma görülmektedir. Gece saatlerinde ise yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerinde azalma görülmektedir. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlemlerde foF2 değerlerinin azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür. Diğer mevsimlerde genel olarak tüm saatlerde bu enlem değerlerinde artış görülürken, Aralık için gece saatlerindeki düşüş dikkat çekmektedir.

Şekil 4.11, 1971 yılı 21 Aralık dönemi için auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin her üç saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Gündüz saatlerindeki ortalama foF2 değerleri, gece saatlerindeki foF2 değerlerinden büyüktür. Ayrıca genel olarak pasif durumdaki foF2 değerleri aktif durumdaki foF2 değerlerinden daha büyüktür. Gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça hem aktif hem de pasif durumlar için ortalama foF2 değerlerinde azalma görülürken, her iki durumda da yaklaşık  $69^\circ$  ile  $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerinin arttığı görülmektedir. Gece saatlerinde ise yaklaşık  $69^\circ$ - $70^\circ$  manyetik enlem arasında foF2 değerlerinde azalma görülmektedir. Bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlemlerde foF2 değerlerinin azalarak bir çukur oluşturduğu görülmüştür.

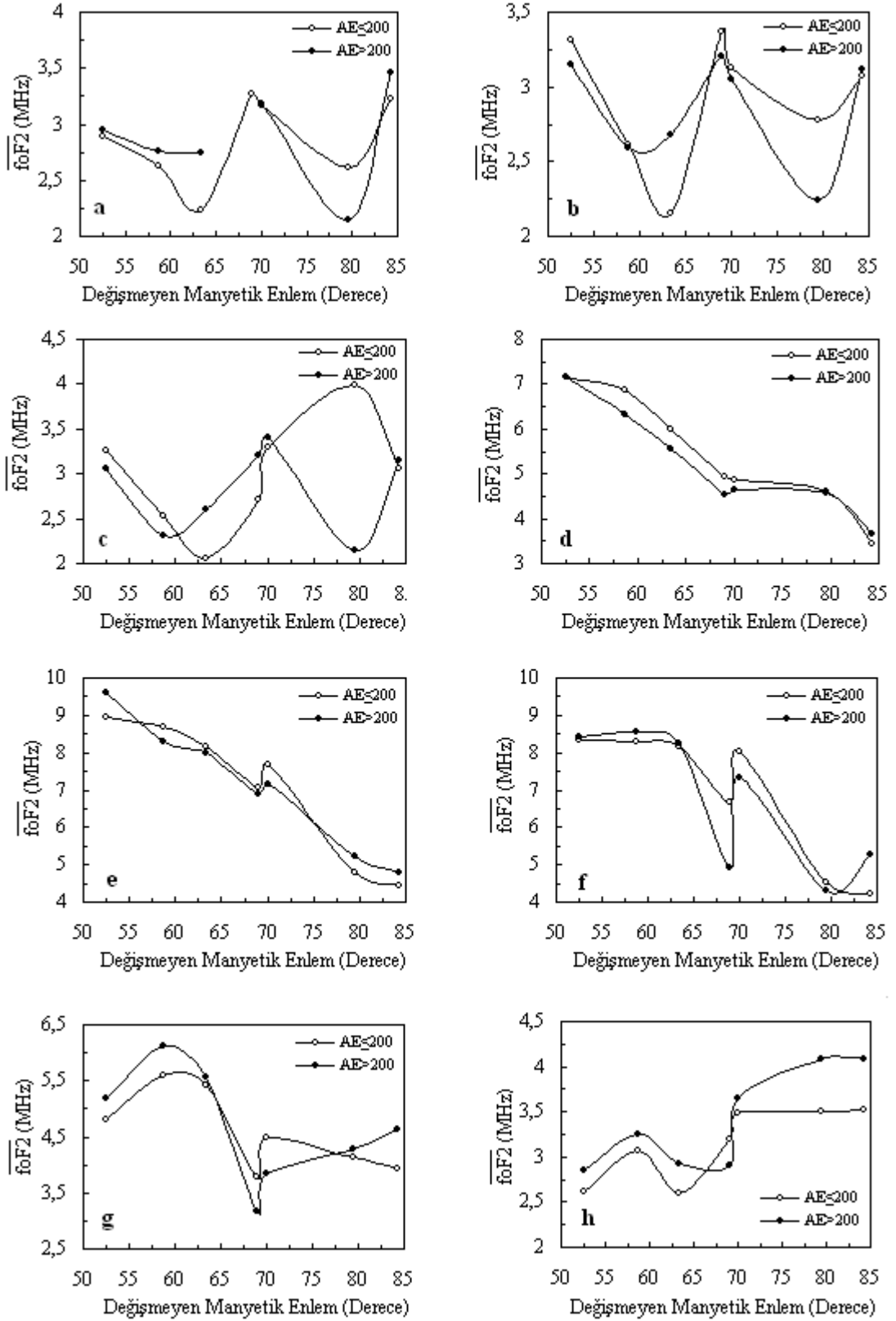
Oluşan bu çukurların diğer mevsimlere göre çok daha belirgin bir yapıda olduğu dikkat çekmektedir.

$K_p$  ve AE indisleri için ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlemlere göre değişimleri (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) benzer özellikler göstermektedir.

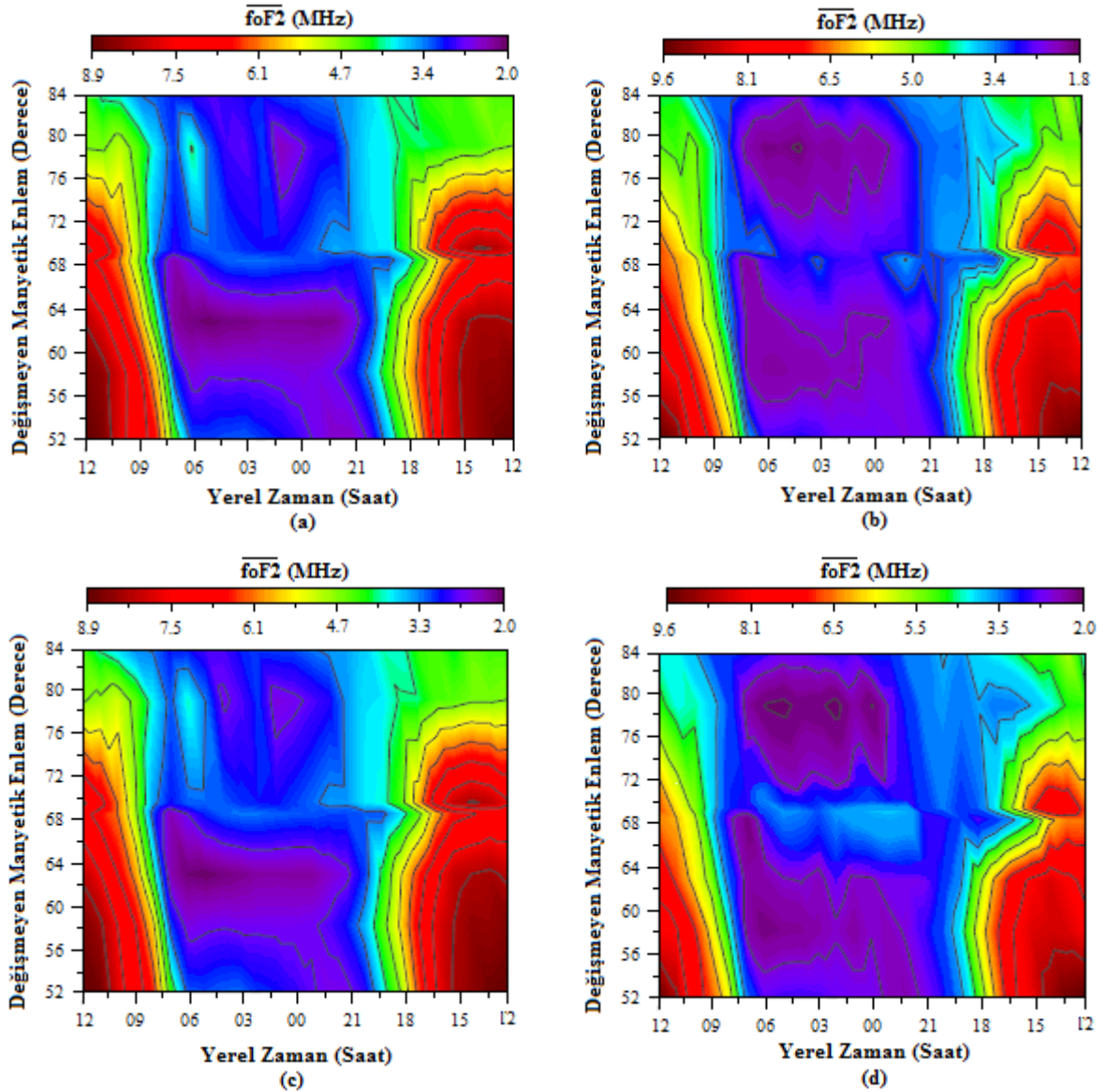




**Şekil 4.10.** 1971 yılı 21 Aralık döneminde  $K_p$  indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.11.** 1971 yılı 21 Aralık döneminde AE indisinin pasif ve aktif durumlar için farklı istasyonlardan alınan saatlik ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a) YZ 00:00 için, (b) YZ 03:00 için, (c) YZ 06:00 için, (d) YZ 09:00 için, (e) YZ 12:00 için, (f) YZ 15:00 için, (g) YZ 18:00 için, (h) YZ 21:00 için



**Şekil 4.12.** 1971 yılı 21 Aralık boyunca 24 saat için hesaplanmış ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enlem ile değişimi: (a)  $K_p \leq 2^+$  için, (b)  $K_p > 2^+$  için, (c)  $AE \leq 200$  için, (d)  $AE > 200$  için

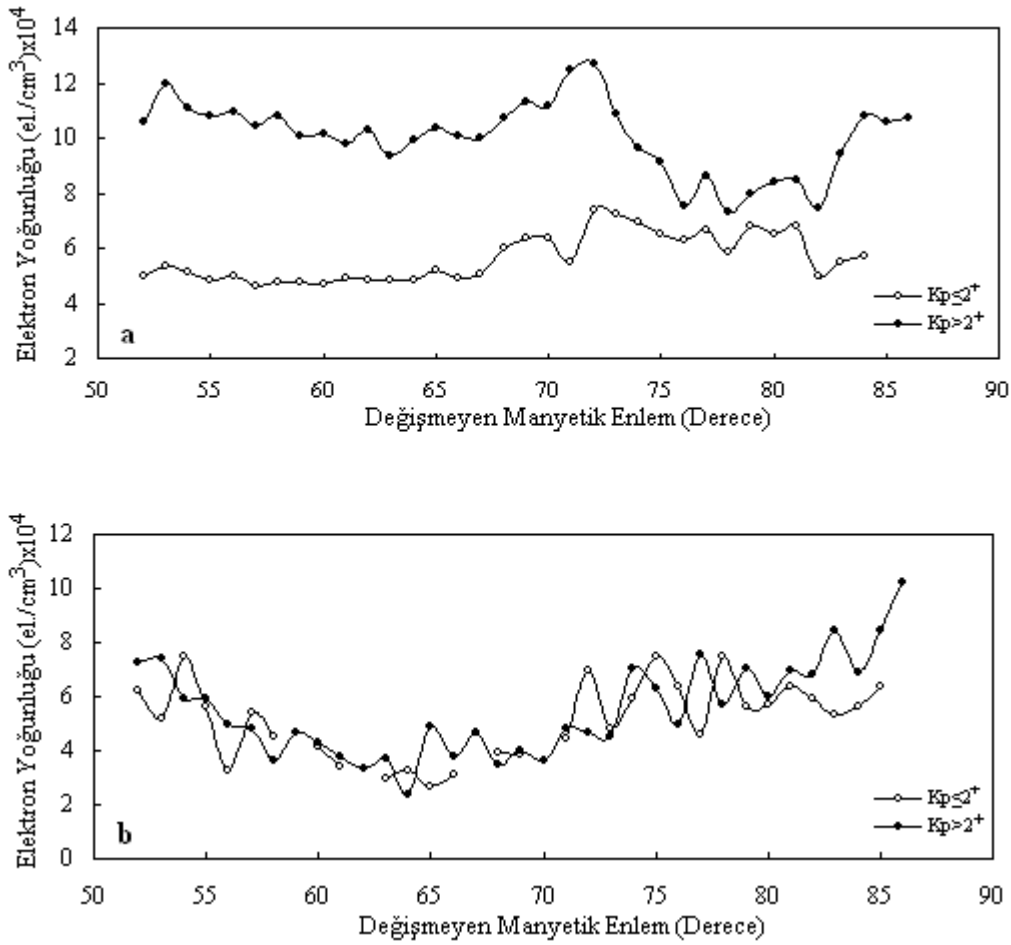
Şekil 4.12, 1971 yılı 21 Aralık dönemi için gezegensel jeomanyetik aktivite indisi  $K_p$  ve auroral elektrojet indisi AE göz önüne alınarak, pasif ve aktif durumdaki ortalama foF2 değerlerinin 24 saat için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Şekle göre, gündüz saatlerinde aktif ve pasif durumlar için foF2 değerleri manyetik enlem artışı ile genel olarak azalma eğilimi gösterirken, yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasında foF2 değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Bu artma, aktif durumlarda daha net bir şekilde görülmektedir. Gece saatlerinde ise, pasif durumlar için yaklaşık  $68^\circ$ - $72^\circ$  manyetik enlemleri arasında foF2 değerleri artmaktadır. Bu artma aktif durumlarda, özellikle AE indisine bağlı değişimlerde, daha iyi görülmektedir ve artmanın görüldüğü enlem bölgesi genişlemektedir.

Ayrıca, bu enlemlerden daha düşük enlem ve daha büyük enlem değerlerinde foF2 değerleri azalarak bir çukur oluşturmuştur. Bu çukurlar, kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha belirgin hale gelmiştir.

## 4.2. Elektron Yoğunluğu Değerlerinin Mevsimsel Değişimi

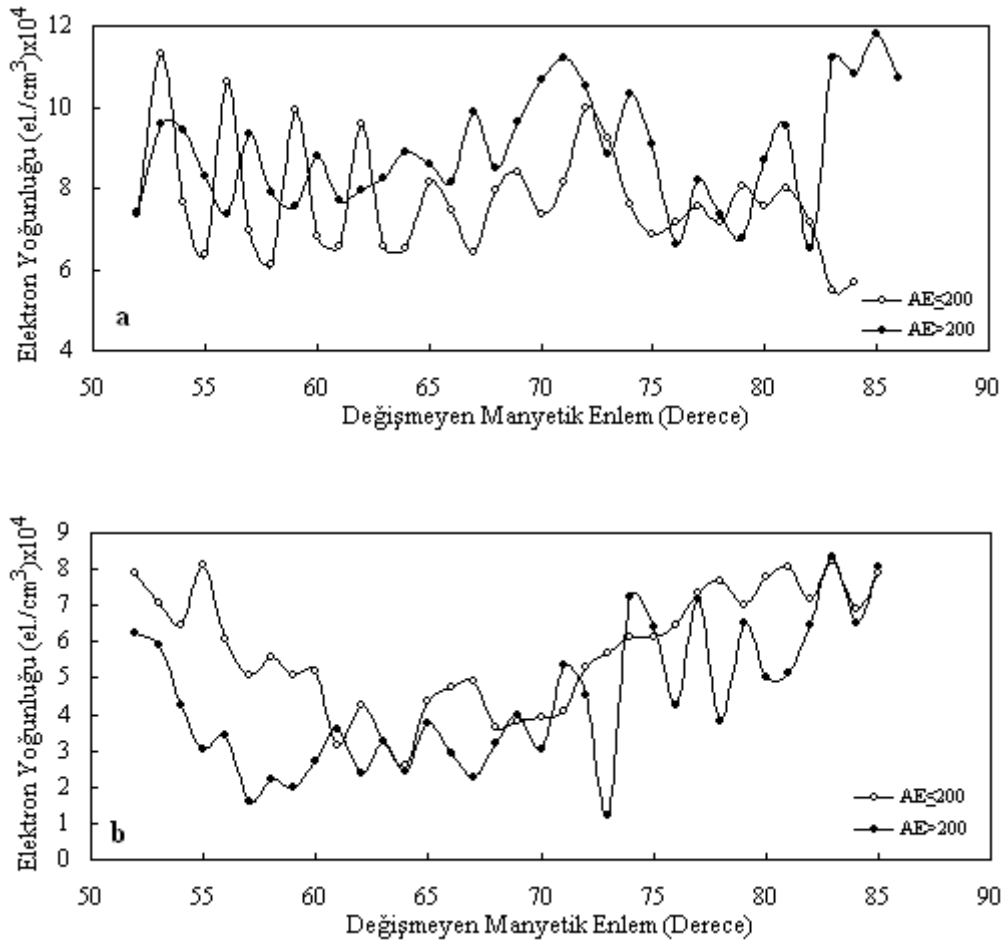
### 4.2.1. 21 Mart Dönemi

Şekil 4.13, 1972 yılı 21 Mart döneminde  $K_p$  indisi göz önüne alınarak yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin jeomanyetik aktif ve pasif durumlardaki gece ve gündüz için değişmeyen manyetik enleme göre değişimini göstermektedir. Gündüz aktif durumdaki elektron yoğunluğu değerleri pasif durumdaki elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Elektron yoğunluğunun yaklaşık  $67^{\circ}$ - $72^{\circ}$  manyetik enlemleri arasındaki artışı dikkat çekmektedir. Gece ise yaklaşık  $70^{\circ}$  manyetik enleminden sonra elektron yoğunluğunda artış görülmektedir.



**Şekil 4.13.** 1972 yılı 21 Mart döneminde  $K_p$  indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için

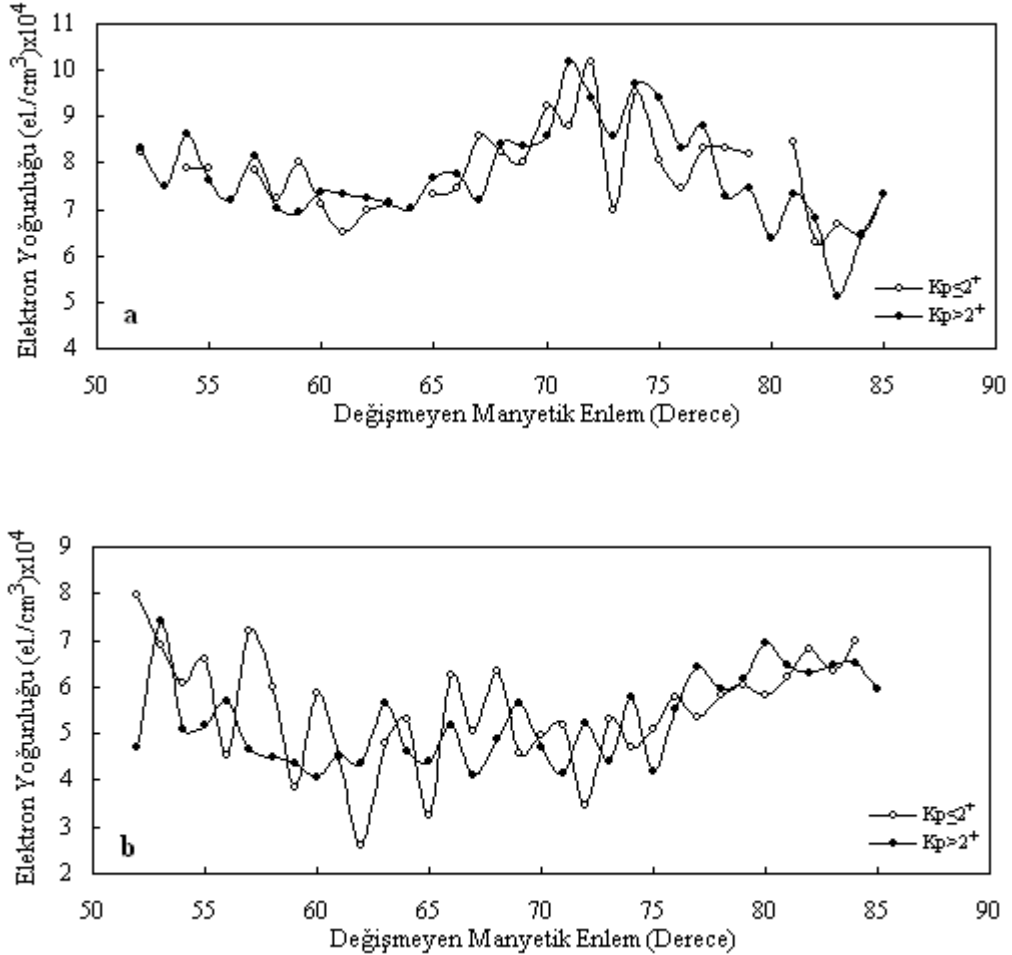
Şekil 4.14, 1972 yılı 21 Mart döneminde AE indisi göz önüne alınarak aktif ve pasif durumlarda, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gece ve gündüz için göstermektedir. Genel olarak gündüz elektron yoğunluğu değerleri gece elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Gündüz pasif durumda  $70^{\circ}$ - $72^{\circ}$  manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğunda artış görünürken, aktif durumda  $68^{\circ}$ - $71^{\circ}$  manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğunda artış görülmektedir. Gece ise manyetik enlem artarken elektron yoğunluğu yaklaşık  $69^{\circ}$  manyetik enlemine kadar azalma görülürken, bu enlemden sonra elektron yoğunluğunda artma görülmektedir. Ayrıca gece pasif durumdaki elektron yoğunluğu değerleri genel olarak aktif duruma göre daha büyüktür.



**Şekil 4.14.** 1972 yılı 21 Mart döneminde AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için

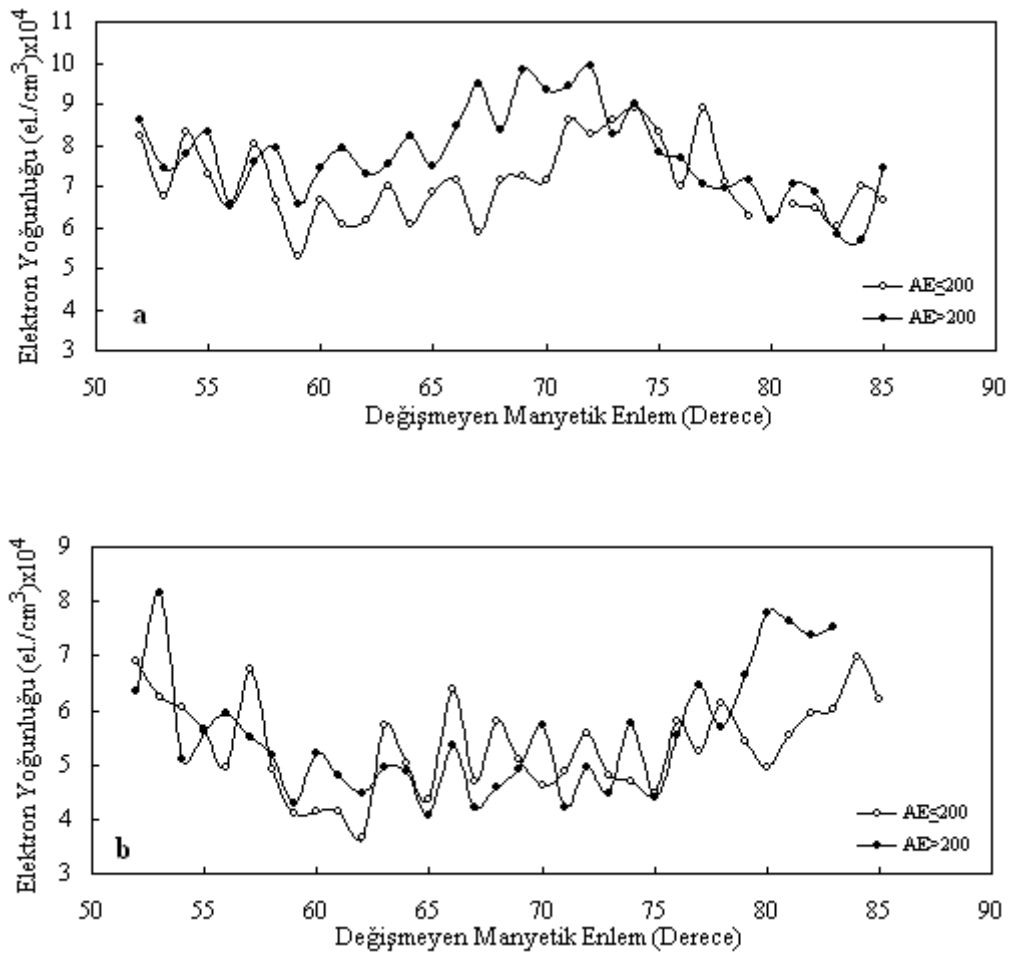
#### 4.2.2. 21 Haziran Dönemi

Şekil 4.15, 1972 yılı 21 Haziran döneminde yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin  $K_p$  indisi için jeomanyetik aktif ve pasif durumlarda değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gece ve gündüz için göstermektedir. Genel olarak gündüz saatlerindeki elektron yoğunluğu değerleri gece saatlerindeki elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Gündüz hem aktif hem de pasif durum için manyetik enlem artarken elektron yoğunluğu azalma eğilimindeyken, yaklaşık  $67^{\circ}$ - $72^{\circ}$  değişmeyen manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğundaki artış dikkat çekmektedir. Gece ise yaklaşık  $67^{\circ}$ - $69^{\circ}$  değişmeyen manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğunda artış görülmektedir.



Şekil 4.15. 1972 yılı 21 Haziran döneminde  $K_p$  indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için

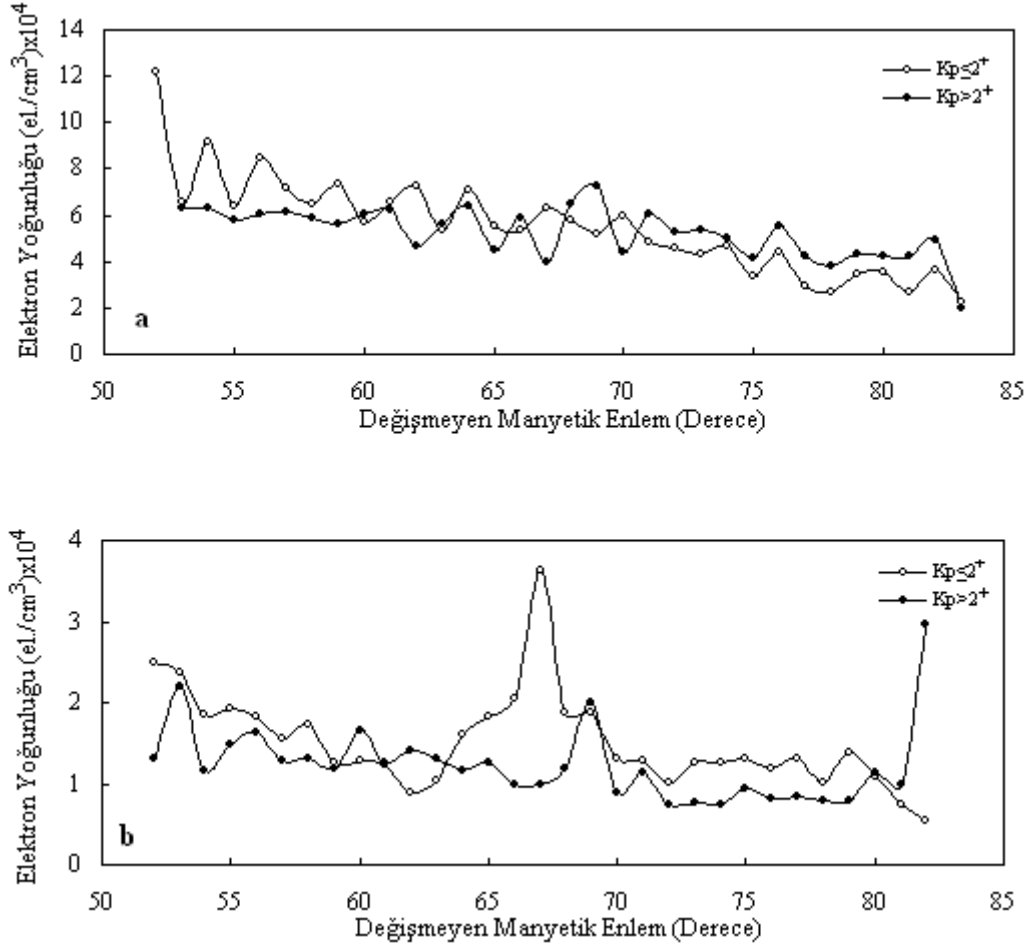
Şekil 4.16, 1972 yılı 21 Haziran döneminde AE indisi göz önüne alınarak aktif ve pasif durumlarda, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gece ve gündüz için göstermektedir. Genel olarak gündüz saatlerindeki elektron yoğunluğu değerleri gece saatlerindeki elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Gündüz saatlerinde de aktif durumdaki elektron yoğunluğu değerleri pasif durumdaki elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Ayrıca gündüz saatlerinde manyetik enlem arttıkça elektron yoğunluğu değerleri genel olarak azalma eğilimindeyken, pasif durumda yaklaşık 70° -75° manyetik enlemleri arasında aktif durumda ise 65°-72° manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğu değerleri artmaktadır. Gece saatlerinde hem aktif hem de pasif durum için manyetik enlem arttıkça elektron yoğunluğu değerleri yaklaşık 75° manyetik enleme kadar azalırken, bu enlemden sonra elektron yoğunluğu artmaktadır.



**Şekil 4.16.** 1972 yılı 21 Haziran döneminde AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için

#### 4.2.3. 21 Aralık Dönemi

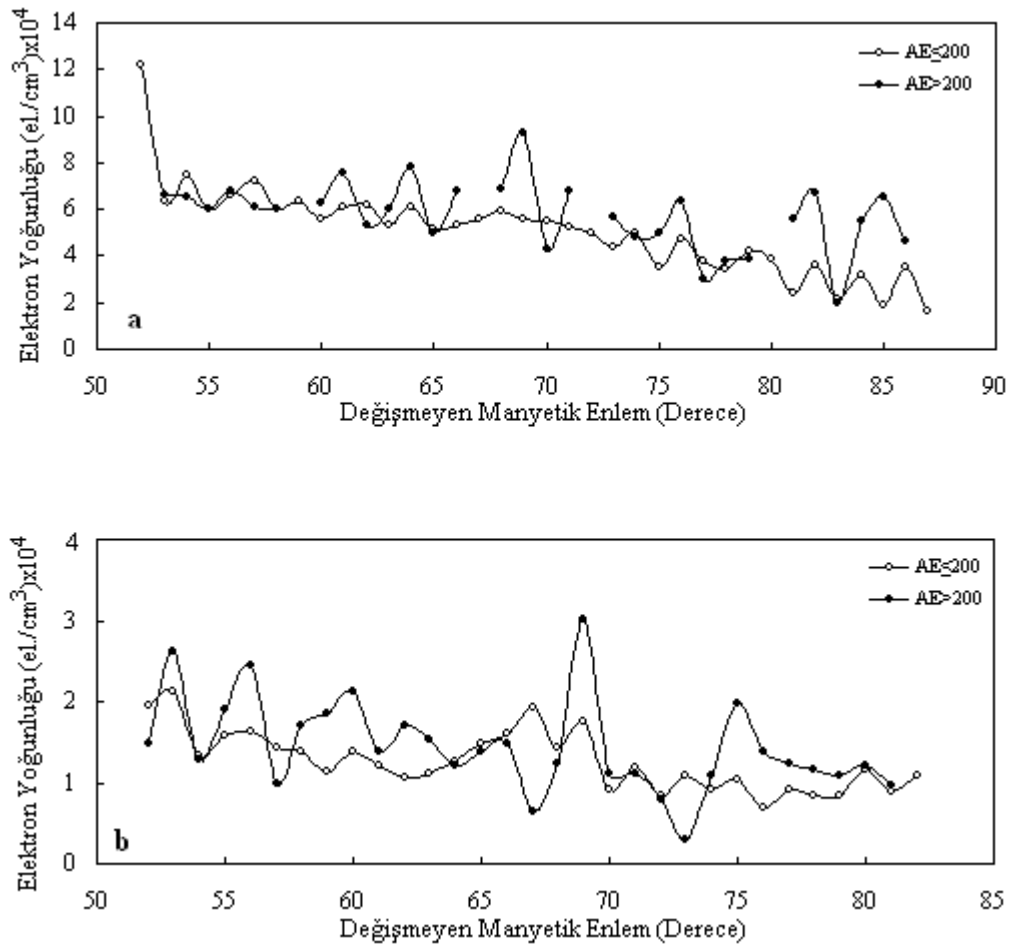
Şekil 4.17, 1971 yılı 21 Aralık döneminde yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel-4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin  $K_p$  indisi için jeomanyetik aktif ve pasif durumda değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gece ve gündüz saatleri için göstermektedir. Gündüz saatlerindeki elektron yoğunluğu değerleri gece saatlerindeki elektron yoğunluğu değerlerinden büyüktür. Gündüz saatinde hem aktif hem de pasif durum için manyetik enlem artarken elektron yoğunluğu değerleri azalırken, aktif durumda  $67^\circ$ - $69^\circ$  manyetik enlemleri arasında elektron yoğunluğunda artış görülmektedir. Ancak gece saatinde de bu azalma gözlenirken, pasif durumda yaklaşık  $67^\circ$  manyetik enleminde, aktif durumda yaklaşık  $69^\circ$  manyetik enleminde elektron yoğunluğu değerlerinin arttığı dikkat çekmektedir.



Şekil 4.17. 1971 yılı 21 Aralık döneminde  $K_p$  indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için



Şekil 4.18, 1971 yılı 21 Aralık döneminde AE indisi göz önüne alınarak aktif ve pasif durumlarda, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından alınan elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimini gece ve gündüz için göstermektedir. Gündüz saatlerinde elektron yoğunluğu değerlerinin gece saatlerindeki elektron yoğunluğu değerlerinden büyük olduğu görülmektedir. Ayrıca gece ve gündüz saatlerinde aktif durum için yaklaşık 69° manyetik enleminde elektron yoğunluğunda dikkat çekici bir artma görülürken, genel olarak manyetik enlem arttıkça hem gündüz hem de gece elektron yoğunluğu değerlerinin azaldığı görülmektedir.



**Şekil 4.18.** 1971 yılı 21 Aralık AE indisi için Ariel 4 uydusu tarafından yaklaşık 550 km yükseklikte ölçülen elektron yoğunluğu verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi: (a) öğlen saatleri için, (b) gece yarısı saatleri için

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada, Aralık 1971-Eylül 1972 tarihleri için yüksek enlem bölgesi olarak tanımlanan  $60^{\circ}$ - $90^{\circ}$   $\Lambda$  arasındaki 7 iyonsonda istasyonundan alınan saatlik foF2 verilerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri, farklı jeomanyetik aktivite durumları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, yaklaşık 550 km yükseklikte Ariel 4 uydusu tarafından ölçülmüş elektron yoğunluğu verileri ile karşılaştırılmış ve jeomanyetik aktivite değişimlerinin yüksek enlemlerdeki foF2 ve elektron yoğunlukları üzerine etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Ortalama foF2 değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimlerinden elde edilen bu sonuçlar; günlük, jeomanyetik aktivite ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak aşağıdaki şekilde yorumlanmıştır.

**1. Günlük değişimler:** Tüm mevsimler ve tüm jeomanyetik durumlar için ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi incelendiğinde;

**(a)** Gündüz saatlerindeki foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin, gece saatlerindeki foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu durumun, Güneş'in gündüz saatlerindeki iyonlaştırıcı etkisinin daha büyük olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir [2, 4-6].

**(b)** Gündüz saatleri için, manyetik enlem arttıkça foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu durumun, yüksek enlem bölgelerinde güneş ışınlarının iyonlaştırıcı etkisindeki azalmaya bağlı olarak iyonosferin elektron yoğunluğunda meydana gelen azalma ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir [42, 43]. Ancak yaklaşık  $68^{\circ}$ - $72^{\circ}$  manyetik enlemleri arasında foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerindeki artış dikkat çekmektedir. Bu artışın parçacık yağışına bağlı olan polar oval olarak adlandırılan bölge içinde bulunmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [4, 5, 44, 45].

**(c)** Gece saatleri için, foF2 ve elektron yoğunluğu değerleri yaklaşık  $69^{\circ}$ - $70^{\circ}$  manyetik enlemleri arasında artmaktadır. Bu durumun,  $69^{\circ}$ - $70^{\circ}$  manyetik enlemleri parçacık yağışının yoğun ve elektrik alan şiddetinin büyük olduğu polar oval bölgesi içinde olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir [4, 5, 46, 47]. Ancak bu enlemlerden daha büyük ve daha küçük enlemlerde foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin azalarak çukur olduğu görülmektedir. Polar ovalden daha düşük enlemlerde tespit edilen çukura benzer yapıların, orta enlem elektron yoğunluğu çukuru olarak bilinen bölgede, polar ovalden daha büyük

enlemlerde tespit edilen çukura benzer yapıların ise, elektrik alan şiddetinin daha az olduğu polar cap bölgesi içinde olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [4, 5, 48-52].

**2. Jeomanyetik aktiviteye bağlı değişimler:** Tüm mevsimler ve tüm saatler için ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimi incelendiğinde;

(a) Jeomanyetik pasif durumdaki ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin, jeomanyetik aktif durumundaki ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu durumun termosferik rüzgârlarla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Jeomanyetik aktif zamanlarda kutup bölgelerine giriş yapan yüksek enerjili parçacıklardan kaynaklı ısı artışı, bu bölgede termosferik rüzgârlar meydana getirmektedir. Termosferik rüzgârlar manyetik alan çizgileri boyunca orta ve düşük enlemelere doğru yayıldıklarından dolayı bu bölgelerdeki F tabakasının iyon kimyasını değiştirerek elektron yoğunluğunda ani artmaların ve azalmaların meydana gelmesine sebep olur. Buna bağlı olarak yüksek enlemlerde jeomanyetik aktif durumda tespit edilen foF2 ve elektron yoğunluğu değerleri, jeomanyetik pasif durumdaki değerlerden daha küçüktür [53-58].

(b) Jeomanyetik aktif durumlarda polar oval ve polar cap bölgeleri daha belirgin ve enlemsel olarak daha genişlemiş görülmektedir. Bu durum jeomanyetik aktivitenin artması ile polar oval bölgesindeki parçacık yağışının yoğun olması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir [4, 5].

**3. Mevsimsel değişimler:** Ortalama foF2 ve elektron yoğunluğu değerlerinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri incelendiğinde, çukura benzer yapıların tüm mevsimler ve tüm jeomanyetik aktivite durumları için yalnızca gece saatlerinde meydana geldiği görülmektedir. Özellikle Aralık döneminde meydana gelen bu yapıların daha belirgin ve daha derin olarak görüldüğü tespit edilmiştir. Bu durumun, Aralık döneminde polar cap içerisindeki plazma sürüklenme hızının yavaşlamasına bağlı olarak iyonosferik özelliklerin değişmesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Yani, polar cap bölgesinde Güneş'e ters tarafa doğru olan plazma sürüklenmesi, gündüz tarafındaki yüksek yoğunluklu plazmayı polar ovale doğru taşımaktadır. Ancak bu süreç, Güneş'e ters yönlü akan plazma sürüklenme hızına bağlıdır. Sürüklenme hızı düşük olduğu zaman, plazma geceye ait ovale girmeden önce yoğunluğu çok düşük değerlere kadar azalmaktadır. Aralık döneminde de plazma sürüklenme hızının azalması ve Güneş ışınlarının azlığı nedeni ile iyonlaşmanın azalması, polar cap içinde polar boşluk (polar hole) olarak bilinen çukursal yapıyı oluşturmaktadır [4]. Aralık döneminde ortaya çıkan diğer bir ilginç özellik ise orta enlem elektron yoğunluğu çukurunun belirgin hale gelmesidir. Gece saatlerinde polar ovalin ekvator tarafında bulunan bu çukur

enlemsel olarak dar ve boylamsal olarak uzanmış düşük elektron yoğunluklu bir bölgedir [48-52].

Ortalama foF2 verileri ile ortalama elektron yoğunluğu verileri arasında yapılan analizlerden, farklı yüksekliklerde ölçülen iki verinin değişmeyen manyetik enleme göre değişimleri arasında önemli benzerlikler tespit edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- [1] M. Banks ve G. Kockarts, *Aeronomy Part A*, Academic Press, New York, (1973), 1-17.
- [2] H. Rishbeth ve O. K. Garriott, *Introduction to Ionospheric Physics*, Academic Press, New York, (1969), 1-5.
- [3] A. Yesil ve İ. Ünal, *The effect of altitude and season on dielectrical relaxation mechanism of ionospheric plasma*, **Nuovo Cimento Della Societa Italiana Di Fisica B-Basic Topics in Physics**, 124B(7), (2009), 777-784.
- [4] R. W. Schunk ve A. F. Nagy, *Ionospheres*, Cambridge University Press, New York, (2000), 11-31, 312-431.
- [5] G. W. Prölss, *Physics of the Earth's Space Environment*, Springer-Verlag Press, Berlin-Heidelberg-New York, (2004), 159-206.
- [6] H. Rishbeth, *Physics and chemistry of the ionosphere*, **Contemp Physics**, 14, (1973), 229-249.
- [7] M. C. Kelley, *The Earth's Ionosphere (Plasma Physics and Electrodynamics)*, Academic Press, New York, (1989), 300-350.
- [8] K. Davies, *Ionospheric Radio Propagation*. U.S. Government Printing Office, Washington, (1965), 159-214.
- [9] M. H. Rees, *Physics and Chemistry of the Upper Atmosphere*, Cambridge University Press, (1989), 85-140.
- [10] R. Atukkar, S. Bhardwaj, P. Khatarkar, P. Bhawre, *Geomagnetic disturbances and its impact on ionospheric critical frequency (fof2) at high, mid and low latitude region*, **American Journal of Astronomy and Astrophysics**, 2 (6), (2014), 61-65.
- [11] P. Khatarkar, P. K. Purohit, A. K. Gwal, *Study of ionospheric f2 layer characteristics at low, mid and high latitudes*, **International Journal of Science and Research**, 3, (2014), 1509-1513.
- [12] O. A. Maltseva, N. S. Mozhaeva, T. V. Nikitenko, *Comparison of model and experimental ionospheric parameters at high latitudes*, **Advances in Space Research**, 51, (2013), 599-609.
- [13] R. G. Ezquer, M. A. Cabrera, J. L. Lo'pez, M. R. Albornoz, M. Mosert, P. Marco', D. Buresova, *Critical frequency and maximum electron density foF2 region over four stations in the north american sector*, **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, 73, (2011), 420-429.
- [14] R. Atulkar, S. Bhardwaj, P. Khatarkar, P. Bhawre, P. K. Purohit, *Geomagnetic disturbances and its impact on ionospheric critical frequency (foF2) at high, mid and low latitude region*, **American Journal of Astronomy and Astrophysics**, 2(6), (2014), 61-65.

- [15] M. G. Deminov, G. F. Deminova, *Geomagnetic activity that corresponds to the median of the F2- layer critical frequency at various latitudes*, **Geomagnetizm and Aeronomy**, 56, (2016), 572-576.
- [16] R. Yadav, A. K. Gwal, *Comparative study of high and mid latitude foF2 during low solar activity*, **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, 5, (2016), 289-293.
- [17] A. C. Das, G. Rajaram, R. G. Rastogi, *Effects on foF2 of daytime and nighttime sudden commencement storms*, **J. Geomagnetic Geoelectric**, 25, (1973), 349-362.
- [18] T. F. Tascione, *Introduction to the Space Environment*, Orbit Book Company, Florida, (1988), 13-53.
- [19] A. J. Kavanagh, *“Energy Deposition in the Lower Auroral Ionosphere Through Energetic Particle Precipitation”*, PhD Thesis, Lancaster University, England, 2002.
- [20] M. G. Kivelson, C. T. Russell, *Introduction to Space Physics*, Cambridge University Press, New York, 1995, 227-285.
- [21] [www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf](http://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-interplanetary-magnetic-field-imf).
- [22] O. Gökçöl, *“Interplanetary Magnetic Field and Its Possible Effects on the Ionospheric Critical Frequencies”*, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Turkey, 1991.
- [23] D. B. Muldrew, *F-layer ionisation troughs deduced from Alouette data*, **J. Geophys. Res.**, 70, (1965), 2635-2650.
- [24] L. Rosenqvist, *Energy Transfer and Conversion in the Magnetosphere-Ionosphere System*, PhD Thesis, Uppsala University, Sweden, 2008.
- [25] T. I. Gombosi, *Physics of the Space Environment*, Cambridge University Press, New York, (1998), 180-230.
- [26] Space Weather Prediction Center. <http://www.swpc.noaa.gov/phenomena/earths-magnetosphere/>
- [27] Y. F. Sümer, *“Yapay Sınır Ağı Modeli İle İyonosferik Kritik Frekans Tahmini”* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
- [28] R. Thompson, *Introduction to HF radio propagation*, IPS Radio & Space Services, Sydney, 1997, 80-100.
- [29] E. Turan, *“Elektron Yoğunluğu ile Jeomanyetik İndeksler Arasındaki İlişki”* Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2006.
- [30] G. K. Rangarajan, *Indices of geomagnetic activity*, Academic Press, London, 1989, 323–384.
- [31] World Data Center for Geomagnetism, Kyoto. <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/index.html>

- [32] 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.
- [33] D. R. Weimer, N. C. Maynard, W. J. Burke ve C. Liebrecht, *Polar cap potentials and the auroral electrojet indices*, **Planet. Space Sci.**, 38, (1990), 1207-1222.
- [34] B. Luo, X. Li, M. Temerin, ve S. Liu, *Prediction of the AU, AL, and AE indices using solar wind parameters*, **Journal of Geophysical Research Space Physics** 118, (2013), 1-12.
- [35] Space Physics Interactive Data Resource. <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr>
- [36] Geomagnetik Auroral Electrojet(AE) İndex Home Page [wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/](http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/)
- [37] National Geophysical Data Center. <http://www.ngdc.noaa.gov>
- [38] 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.
- [39] S. Kesmen, “*Orta Enlem Elektron Yoğunluğu Çukurunun İyonosferik Kritik Frekanslarındaki İzinin İncelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2013.
- [40] 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.
- [41] G. X. Chen, W. Y. Xu, Z. G. Wei, B. H. Ahn ve Y. Kamide, *Auroral Electrojet Oval*, **Earth Planets Space**, 55, (2003), 255-216.
- [42] E. Feichter ve R. Leitinger, *A 22-year cycle in the F layer ionization of the ionosphere*, **Ann. Geophys.**, 15, (1997), 1015-1027.
- [43] 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.
- [44] C. Xiong, H. Lüher, H. Wang, ve M. G. Johnsen, *Determining the boundaries of the auroral oval from CHAMP field-aligned current signatures-Part 1*, **Ann. Geophys.**, 32, (2014), 609-622.
- [45] J. F. Carbary, *A Kp-based model of auroral boundaries*, **Space Weather**, 3, (2005), doi:10.1029/2005SW000162.
- [46] Y. Kamide, *The Relationship Between Field-Aligned Currents and The Auroral Electrojets*, **Space Science Reviews**, (1982), 127-243.
- [47] Y. Kamide, G. Rostoker, *The spatial relationship of field-aligned currents and auroral electrojets to the distribution of nightside auroras*, **Journal of Geophysical Research**, 82, (1977), 5589-5608.

- [48] 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.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] 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.
- [52] E. Timoçin, “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”, Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2016.
- [53] P. B. Hays, R. A. Jones ve M. H. Rees, *Auroral heating and the composition of the neutral atmosphere*, **Planet. Space. Sci.**, 21, (1973), 559-573.
- [54] G. Hernandez, ve R. G. Roble, *Observations of large scale thermospheric waves during geomagnetic storms*, **J. Geophys. Res.**, 83, (1978), 5531-5538.
- [55] G. W. Prölss, *Storm-induced changes in the thermospheric composition at middle latitudes*, **Planet. Space Sci.**, 35 (6), (1987), 807-811.
- [56] H. Rishbeth, *F-region storms and thermospheric circulation*, **J. Atmos. Terr. Phys.**, 37, (1975), 1055-1064.
- [57] Y. Tulunay, *Interplanetary magnetic field and its possible effects on the mid-latitude ionosphere II*, **Annali Di Geofisica**, 2, (1994), 193-200.
- [58] Y. Tulunay, *Variability of mid-latitude ionospheric foF2 compared to IMF-polarity inversions*, **Advances in Space Research**, 15-2, (1995), 35-44.



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı:** Kerime AKSAÇ

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Malatya / 04.04.1983

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

**E-Posta:** kerimeaksac@gmail.com

**Lisans:** İnönü Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, MALATYA (2000-2004).

**Yüksek Lisans:** İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği Bilim Dalı, MALATYA, (2014-2017)

**Mesleki Deneyim:** Milli Eğitim Bakanlığı, (2005-2006, Ücretlendirmeli Öğretmenlik)

**Yayın Listesi:**

**Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler:**

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