

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

**TÜRKİYE ÜZERİNDEKİ İYONKÜREDE MEYDANA GELEN
BOZULMALARIN İONOLAB-HIZLI FOURİER DÖNÜŞÜMÜ
(I-FFT) İLE İNCELENMESİ**

Raja S. O. MOMIN

**Danışman
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi**

**Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY
Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

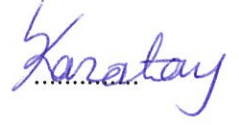
KASTAMONU – 2019

TEZ ONAYI

Raja S. O. MOMIN tarafından hazırlanan "**Türkiye Üzerindeki İyonkürede Meydana Gelen Bozulmaların İONOLAB-Hızlı Fourier Dönüşümü (I-FFT) ile İncelenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde savunulmuş ve **oy birliği** ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendislik Ana Bilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY
Kastamonu Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL
Karabük Üniversitesi



Jüri Üyesi

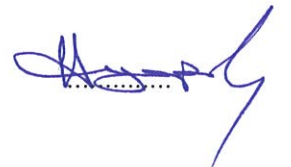
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN
Kastamonu Üniversitesi



13/02/2019

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Hasbi YAPRAK



TAAHHÜTNAME

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildirir ve taahhüt ederim.

İmza

Raja S. O. MOMIN

رجاء

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE ÜZERİNDEKİ İYONKÜREDE MEYDANA GELEN BOZULMALARIN İONOLAB-HIZLI FOURİER DÖNÜŞÜMÜ (I-FFT) İLE İNCELENMESİ

Raja S. O. MOMIN

Kastamonu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY

İyonküre, uydu tabanlı sistemler ve Kısa Dalga (KD) iletişimi açısından atmosferin çok önemli bir katmanıdır. Manyetik alan, güneş rüzgârları, Yer'in manyetik hareketliliği ve yerçekimi gibi uzay ve zamanda birçok kuvvetin etkisi altında kalır. Bu kuvvetler iyonkürede, frekansı, süresi ve hızı belirli olan dalga benzeri salınımlar şeklinde bazı bozulmalar ve aykırılıklar yaratır. Toplam Elektron İçeriği (TEİ), iyonkürenin değişkenliğinin izlenebilmesine olanak sağlayan önemli parametrelerden biridir. Dik Toplam Elektron İçeriği (DTEİ), bir alıcının yerel zenith doğrultusunda hesaplanan elektronların toplam sayısı olarak ifade edilir. Bu çalışmada, Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) istasyonlarından kestirilen DTEİ verileri üzerinden Ayrık Fourier Dönüşümü (ADF) algoritması kullanılarak dalga-benzeri salınımların frekans ve süreleri hesaplanmıştır. İONOLAB-FFT yöntemi adı verilen bu algoritma 2010, 2011 ve 2012 yılları için Türkiye Ulusal GPS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) istasyonlarından kestirilen DTEİ verilerine, orta ölçekli ve büyük ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar'ın (KİB) frekans ve sürelerini hesaplamak için uygulanmıştır. Tüm Türkiye coğrafyası ele alındığında, frekansların Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya gidildikçe azaldığı gözlenmiştir. Frekansların, güneş hareketliliğinin az olduğu 2010 yılından güneş hareketliliğinin çok olduğu 2012 yılına gidildikçe arttığı görülmüştür. İyonkürenin sakin ve bozulmalı olduğu günler karşılaştırıldığında, bozulmalı günlerdeki frekansların daha küçük değerlerde olduğu görülmüştür. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, İONOLAB-FFT yönteminin, 85 dakikadan büyük süreler için frekansları 0.21 mHz ile 1.0 mHz arasında; 157 dakika ve daha uzunsüreler için ise frekansları 0.11 mHz ile 0.39 mHz aralığında %80'den büyük bir doğruluk oranıyla kestirebildiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İyonküre, Toplam Elektron İçeriği, iyonküresel bozulmalar, Yerküresel Konumlama Sistemi, Hızlı Fourier Dönüşümü.

2019, 70 sayfa

Bilim Kodu: 91

ABSTRACT

MSc. Thesis

INVESTIGATION OF DISTURBANCES IN IONOSPHERE OVER TURKEY USING IONOLAB-FAST FOURIER TRANSFORM (I-FFT)

Raja S. O. MOMIN
Kastamonu University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Material Science and Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY

Abstract: The ionosphere is a very important atmospheric layer for the satellite based systems and HF communication. Many forces such as solar magnetism, solar wind, magnetic activity of the earth and gravity act the variability in the temporal and spatial trends of the ionosphere. These forces generate some anomalies and disturbances in the form of wave -like oscillations, which propagate at a certain frequency, duration and velocity in the ionosphere. Total Electron Content (TEC) is one of the most important parameters in observing the structural variability of the ionosphere. Vertical Total Electron Content (VTEC) is the total number of electrons computed in the direction of local zenith of the receiver. In this study, the frequency and duration of wave-like oscillations are determined using a DFT (Discrete Fourier Transform) based algorithm over the VTEC values estimated from single GPS (Global Positioning System) stations. The method, namely IONOLAB-FFT is applied to VTEC data from Turkish National Permanent GPS Network (TNPNGN Active) obtained for 2010, 2012 and 2012 to detect the frequency and duration of both medium and large scale TIDs (Traveling Ionospheric Disturbances). It is observed that the frequencies decrease from North to South and from West to East in Turkey. The frequencies decrease and the durations increase from solar active year 2012 to solar quiet year 2010. When the disturbed day and quiet day compare with each other, it is observed that frequencies in disturbed day are smaller than those in quiet day. It is observed that IONOLAB-FFT can estimate TIDs with more than 80% accuracy as such: frequencies from 0.21 mHz to 1.0 mHz and durations longer than 85 min; frequencies from 0.11 mHz to 0.39 mHz and durations longer than 157 min.

Key Words: Ionosphere, Total Electron Content, ionospheric disturbances, Global Positioning System, Fast Fourier Transform

2019, 70 pages
Science Code: 91

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın baőından sonuna kadar çok yardımını gördüğüm bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, değerli danıőmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY'a tez çalıőmam süresince göstermiő olduğu anlayıő ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olan babam ve anneme teşekkür ederim.

Tez çalıőmam süresince beni cesaretlendiren ve destekleyen kocam Tariq TYEB'a teşekkür ederim.

Raja S. O. MOMIN

Kastamonu, Őubat, 2019

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. İYONKÜRENİN YAPISI.....	6
2.1. D-Bölesi.....	7
2.2. E-Bölgesi	8
2.3. F-Bölgesi	9
2.4. İyonküreyi Şekillendiren Foto-Kimyasal Mekanizmalar	10
3. İYONKÜREDE GÖZLENEN ANORMALLİKLER VE BOZULMALAR..	12
3.1. Ekvatorial F-Bölgesi Anormalliği ve Fıskiye Etkisi	13
3.2. Kış Anormalliği.....	16
3.3. Günlük Değişimler	18
3.4. 11-Yıllık Güneş Döngüsü ve Güneş Hareketliliği	19
3.5. Ani İyonküresel Bozulmalar (AİB).....	23
3.6. Kayan İyonküresel Bozulmalar (KİB)	25
4. İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ VE YERKÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ	28
4.1. Yerküresel Konumlama Sistemi.....	32
5. LİTERATÜR ÖZETİ.....	36
6. İONOLAB HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ (I-FFT) YÖNTEMİ	41
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
8. SONUÇ	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

TEİ:	Toplam Elektron İçeriği
YKS:	Yerküresel Konumlama Sistemi
KİB:	Kayan İyonküresel Bozulmalar
HFD:	Hızlı Fourier Dönüşümü
AFD:	Ayrık Fourier Dönüşümü
YF:	Yüksek Frekans
KD:	Kısa Dalga
GLS:	Güneş Lekesi Sayısı
AİB:	Ani İyonküresel Bozulmalar
ETEİ:	Eğik Toplam Elektron İçeriği
DTEİ:	Dik Toplam Elektron İçeriği
AYD:	Atmosferik Yerçekimi Dalgalarının
GS:	Greenwich Saati
BÖKİB:	Büyük Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar
OÖKİB:	Orta Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Atmosfer katmanlarının sıcaklıkla değişimi ve iyonküre bölgelerinin yükseklikle değişim	3
Şekil 2.1. İyonküre bölgelerinin gece ve gündüz vakitlerinde bulunduğu yükseklikler	7
Şekil 3.1. Yer'in manyetik alan çizgilerinin geometrisi.	12
Şekil 3.2. Kuzey ve güney yarımkürelerde ekvatorial çukur ve tepeler.	14
Şekil 3.3. Düşük enlemlerde manyetik ekvator civarındaki ExB plazma sürüklenmesi ile B manyetik alanı boyunca aşağı yönlü yayılımın birleşmesinden kaynaklanan plazma sürüklenmesi.	15
Şekil 3.4. Ekvatorial fiskiyenin enlemsel dağılımı.	15
Şekil 3.5. İyonkürenin bölgelerinin Yer'in kendi eksenine etrafındaki dönüşüne bağlı olarak şekillenmesi.	18
Şekil 3.6. 1995'ten 2018'e kadar olan 11-yıllık güneş döngüleri.	20
Şekil 3.7. 1890 yılından 2018 yılına kadar olan Güneş Lekelerinin Sayısı.	21
Şekil 3.8. 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması için güneş hareketliliğinin zamana göre değişimi.	24
Şekil 3.9. 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması için iyonkürenin Toplam Elektron İçeriği değişimleri: a) GS 09.00-11.30 arası IONOLAB-ETEİ, b) GS 11.30-15.00 arası IONOLAB- ETEİ, c) GS 14.00-20.00 arası IONOLAB- ETEİ ve d) 24-saatlik IONOLAB-DTEİ değişimleri.	25
Şekil 3.10. 24 Aralık 2004 tarihinde samp istasyonu için: a) IONOLAB-ETEİ değişimi, b) TEİ'nin Oranı ve c) ETEİ'nin Yönsemesi Giderilmiş ROT'u.	25
Şekil 4.1. Uydudan gönderilen radyo dalga sinyalinin iyonküreyi geçerek alıcıya ulaşması.	29
Şekil 4.2. ETEİ ve DTEİ geometrisi.	31
Şekil 4.3. Yerküresel Konumlama Sistemi'nin Uydu segmenti, Kontrol segmenti ve Kullanıcı segmenti.	33
Şekil 4.4. YKS gözlemlerine etki eden hata kaynakları.	34
Şekil 6.1. IONOLAB-FFT (I-FFT) blok şeması	44
Şekil 7.1. 2.0° enlem ve 3.0° boylam çözünürlüğündeki 18 alt bölge içindeki TUSAGA-Aktif Ağı istasyonları.	45
Şekil 7.2. a) 19 Kasım 2011 ve b) 05 Ağustos 2011 günleri için DST, Kp ve Ap indisleri.	46

- Şekil 7.3. 19 Kasım 2011 günü GS 08.00-11.00 saatleri arasında anrk istasyonundan elde edilen DTEİ verilerine I-FFT uygulaması: a) 5'lik ve 101'lik uygulanmış DTEİ; b) $D_{p_{u,d}}$ fark vektörü; c) frekans alanındaki en büyük genlik bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; d) farkın türevi ve toplanmış sinüs fonksiyonları; e) ikinci en büyük frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; f) farkın türevi ve toplanmış sinüs fonksiyonları; g) en baskın frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; h) eşik değerinden daha az olan farkın enerjisi ve toplanmış sinüs fonksiyonları..... 48
- Şekil 7.4. 05 Ağustos 2011 günü GS 07.10-19.40 saatleri arasında anrk istasyonundan elde edilen DTEİ verilerine I-FFT uygulaması: a) 5'lik ve 101'lik uygulanmış DTEİ; b) $D_{p_{u,d}}$ fark vektörü; c) frekans alanındaki en büyük genlik bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; d) farkın türevi ve toplanmış sinüs fonksiyonları; e) ikinci en büyük frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; f) farkın türevi ve toplanmış sinüs fonksiyonları; g) en baskın frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; h) eşik değerinden daha az olan farkın enerjisi ve toplanmış sinüs fonksiyonları..... 48
- Şekil 7.5. Güneş Lekesi Sayısının yıllara göre değişimi: a) 2010; b)2011; c) 2012. 49
- Şekil 7.6. 36°K ile 42°K enlemleri ve 26°D ile 29°D boylamları arasındaki bölgede: a) band istasyonu frekansları; b) band istasyonu süreleri; c) ayvl istasyonu frekansları; d) ayvl istasyonu süreleri; e) aydl istasyonu frekansları; f) aydl istasyonu süreleri. 51
- Şekil 7.7. 36°K ile 42°K enlemleri ve 29°D ile 32°D boylamları arasındaki bölgede: a) bolu istasyonu frekansları; b) bolu istasyonu süreleri; c) afyn istasyonu frekansları; d) afyn istasyonu süreleri; e) antl istasyonu frekansları; f) antl istasyonu süreleri..... 52
- Şekil 7.8. 36°K ile 42°K enlemleri ve 32°D ile 35°D boylamları arasındaki bölgede: a) boyt istasyonu frekansları; b) boyt istasyonu süreleri; c) anrk istasyonu frekansları; d) anrk istasyonu süreleri; e) anmu istasyonu frekansları; f) anmu istasyonu süreleri. 52
- Şekil 7.9. 36°K ile 42°K enlemleri ve 35°D ile 38°D boylamları arasındaki bölgede: a) amas istasyonu frekansları; b) amas istasyonu süreleri; c) bogz istasyonu frekansları; d) bogz istasyonu süreleri; e) ante istasyonu frekansları; f) ante istasyonu süreleri. 53
- Şekil 7.10. 36°K ile 42°K enlemleri ve 38°D ile 41°D boylamları arasındaki bölgede: a) bayb istasyonu frekansları; b) bayb istasyonu süreleri; c) bing istasyonu frekansları; d) bing istasyonu süreleri; e) adiy istasyonu frekansları; f) adiy istasyonu süreleri. 53
- Şekil 7.11. 36°K ile 42°K enlemleri ve 41°D ile 44°D boylamları arasındaki bölgede: a) ardh istasyonu frekansları; b) ardh istasyonu süreleri; c) agrd istasyonu frekansları; d) agrd istasyonu süreleri; e) btmn istasyonu frekansları; f) btmn istasyonu süreleri..... 54

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. İyonküre bölgelerinin yükseklik sınırları ve elektron yoğunluğu değerleri.....	9
Tablo 7.1. Çalışmada kullanılan YKS istasyonlarının kodu ve konumlandığı coğrafik koordinatlar	50
Tablo 7.2. Çalışma kapsamında seçilen istasyonların 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen frekanslarının en küçük değeri, en büyük değeri ve standart sapması	55
Tablo 7.3. Çalışma kapsamında seçilen istasyonların 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen sürelerin en küçük değeri, en büyük değeri ve standart sapması	56
Tablo 7.4. 2010, 2011 ve 2012 yıllarında seçilen bozulmalı ve sakin günler için Kp ve Ap indisi değerleri	57
Tablo 7.5. 05 Nisan 2010 ve 23 Aralık 2010 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri	58
Tablo 7.6. 23 Ağustos 2011 ve 15 Mart 2011 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri	59
Tablo 7.7. 09 Mart 2012 ve 07 Aralık 2012 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri	60

1. GİRİŞ

Yer'in, sahip olduğu manyetik alandan dolayı büyük bir mıknatıs gibi davrandığı 1600 yılında İngiliz Doktor William Gilbert'in *De Magnete* isimli eserinden beri bilinmektedir. Daha sonraları 1839'da Alman matematikçi Carl Friedrich Gauss atmosferin bir bölgesinde Yer'in manyetik alanından etkilenen bir tabaka olduğunu keşfetti. Gauss'a göre Yer'in manyetik alanının büyük bir kısmı, Yer içinden değişen, küçük bir kısmı da Yer'in dışından etkileniyordu. Altmış yıl sonra 12 Aralık 1901 tarihinde, Guglielmo Marconi, 152.4 m uzunluğunda uçurtma destekli anten kullanarak St. Newfoundland'da ilk Atlantik aşırı radyo sinyalinı aldı. 1902 yılında, İngiliz fizikçi Oliver Heaviside, Yer'in eğriliğinden dolayı atmosferinde telsiz dalgalarının izlemesine olanak veren bir iletken katmanın varlığını öngördü. Sonunda 1923'te bulunan bu alana onun anısına Heaviside Katmanı adı verildi (URL-1 ve URL-2). 1912'de ABD Kongresi bir kanun çıkararak, amatör radyo operatörleri için kullanabilecekleri frekansları 1.5 MHz (200 metre veya daha küçük dalga boyu) üzerindeki frekanslarla sınırladı. Bu durum, 1923'te iyonküre aracılığıyla HF (High Frequency) radyo yayılımının keşfine yol açtı. 1930'ların başlarında da, Radyo Luxembourg'un test yayınları, iyonkürenin ilk radyo modifikasyonunu gerçekleştirdi. Edward V. Appleton 1947'de iyonkürenin varlığını ortaya koyduğu için Nobel Ödülü'ne layık görüldü. Lloyd Berkner iyonkürenin yüksekliğini ve yoğunluğunu ölçen ilk kişi oldu. Bu ölçümler de, ilk kısa dalga radyo yayılımına olanak sağladı. Daha sonra Maurice V. Wilkes ve J. A. Ratcliffe, iyonküredeki çok uzun radyo dalgalarının radyo yayılımını incelediler. Vitaly Ginzburg iyonküredeki elektromanyetik dalga yayılımı teorisini geliştirdi. Bu gelişmelerden sonra 1950'li yılların başında Robert Watts ve IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Komitesi tarafından iyonküre olarak bilinen iletken bir tabaka olduğunu ortaya kondu (URL-3 ve URL-4).

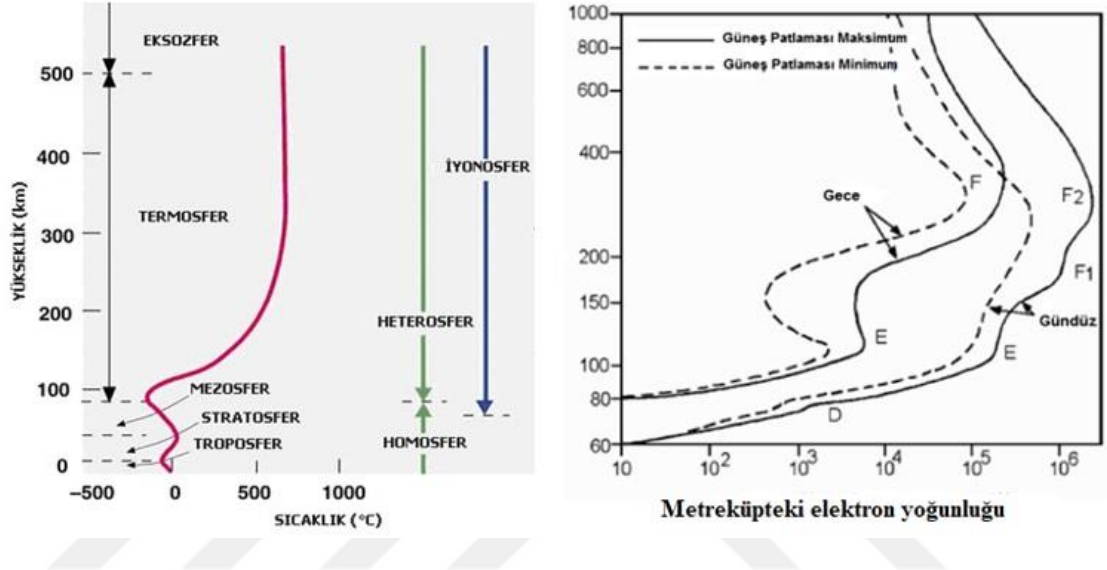
Radyo dalgalarının yayılımında serbest elektronların etkisi çok büyüktür. İyonküre, serbest elektronların ve pozitif iyonların hemen hemen eşit miktarda olduğu nötr, doğal plazma ortamıdır. İyonküre serbest elektronları içeren bir ortam olduğu için radyo dalgalarının yansımada ve kırılmasında önemli bir role sahiptir. Bu nedenle iyonküre katmanı, radyo telekomünikasyon, uydu haberleşme, HF yayılımı, plazma

fiziği ve uzay havası çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. İyonküre boyunca uzak mesafelerdeki telsiz haberleşmesini etkileyen faktörleri görmek ve tanımlamak, uydular ile alıcılar arasındaki radyo yayılımının düzgün yapılabilmesini sağlar. Uzay havanın izlediği çok düşük frekans (VLF) dalgaları için, iyonküre radyo sinyallerinin Yer'in kavisli yapısı etrafında zıplayabileceği ve yolunu açtığı bir “*dalga kılavuzu*” üretir (Komjathy, 1997; McNamara, 1994; Türel, 2008).

İyonküre, Yer atmosferinin 60 ile 1000 km yüksekliklerinde yer alan bir katmandır. İyonküredeki en önemli parametre, konum, zaman, yükseklik, güneş, jeomanyetik ve sismik aktivitelerle değişim gösteren elektron yoğunluğudur. Elektron yoğunluğu özellikle güneşteki ve Yer'in manyetik alanındaki değişimlere bağlı olarak kısa süreli, önemli değişimler gösterir. Güneşteki ve Yer'in manyetik alanındaki bu değişimler, bazı indislerle ölçülebilmektedir ve iyonkürenin elektron yoğunluğundaki değişimlerin bu indislerle ilişkili olduğu yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. İyonküre, elektron yoğunluğu dağılımına bağlı olarak D, E, F1 ve F2 gibi tabakalardan oluşmaktadır. Elektron yoğunluğu en çok olduğu bölge F-bölgesidir. F bölgesi gündüz ve gece boyunca mevcuttur. Gün boyunca güneş ışınımı ile gece boyunca kozmik ışınlar tarafından iyonize edilir. D bölgesi gece boyunca kaybolur ve E bölgesi ise zayıflar. Atmosferin katmanlarının sıcaklıkla değişimi ve iyonküre bölgelerinin yükseklikle değişimi Şekil 1.1'de gösterilmiştir. Bir sonraki bölümde iyonkürenin ve bölgelerinin yapısı hakkında daha detaylı bilgiler sunulmuştur.

İyonkürenin radyo dalgalarının yayılımına etkisi, elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonkürenin kritik frekansı başta olmak üzere, iyonküredeki birçok parametre, elektron yoğunluğunun bir fonksiyonudur. İyonküredeki elektron yoğunluğuna bağlı bir diğer parametre, konum, zaman, yükseklik, güneş, jeomanyetik ve sismik aktivitelerle değişim gösteren Toplam Elektron İçeriği (TEİ)'dir. Toplam Elektron İçeriği 1 m^2 kesitli bir silindir içindeki elektronların toplam sayısı olarak tanımlanabilir. Birimi TECU olup $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$ değerine eşittir. İyonosonda, evreyuysuz geri saçılım radarı, TOPEX/Poseidon uydusu, çift frekanslı Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) alıcıları, TEİ kestirimi için kullanılan sistemlerden bazılarıdır. YKS ile TEİ kestirimi, dünya üzerindeki geniş alanlara yayılmış olan ve düzenli çalışan alıcılar sayesinde hem çok ekonomik hem de çok kolaydır. YKS, yeryüzünden 20.000 km yüksekliklerde 28 aktif uydudan sürekli olarak iki taşıyıcı

frekans ($f_1=1572,42$ MHz ve $f_2=1227,6$ MHz) sinyaller gönderen bir sistemdir. Sinyaller, frekanslarına bağlı olarak iyonküreden geçerken gecikmeye uğrarlar. YKS alıcıları, iyonküreden kaynaklanan bu gecikmeyi düzeltir. Bu düzeltme, YKS alıcılarının konumlama hassasiyetini düşürür; böylelikle iyonküreyi inceleme imkânı sağlar. İki farklı frekans bandında çalışan alıcılardan sağlanan sözde menzil ve faz verileri kullanılarak TEİ kestirilir (Sayın, 2008).



Şekil 1.1. Atmosfer katmanlarının sıcaklıkla değişimi ve iyonküre bölgelerinin yükseklikle değişimi.

İyonküredeki iyonlaşma miktarı, büyük ölçüde 11-yıllık güneş döngüsüne, gün döngüsüne, dünyanın güneş etrafındaki ve ayın dünya etrafındaki aylık, mevsimlik ve yıllık döngüsüne bağlıdır. İyonküre bu süreçlerde jeomanyetik aktivite, sismik aktivite, güneş aktivitesi ve yerçekiminin neden olduğu büyük değişimlere maruz kalır. Bu ikincil konumsal-zamansal değişimler, kendilerini *dalga-benzeri salınımlar* olarak gösterir ve genel olarak Kayan İyonküresel Bozulmalar-KİB (Traveling Ionospheric Disturbances-TIDs) olarak isimlendirilirler. Bu bozulmalar, Termosfer ve iyonkürede önemli rol oynarlar. KİB'ler, dalga- benzeri salınımların yayılma süreleri, frekansları ve genliklerine göre orta ölçekli ve büyük ölçekli olmak üzere iki grupta incelenir (Hocke ve Schlegel, 1996). Dalga-benzeri salınımların yanında iyonkürede, güneşin hareketliliğine ve dünyanın güneş etrafındaki hareketlerine göre bazı anormallikler sergiler. Kış anormalliği, ekvatorial anormallik ve ekvatorial elektrojet olarak isimlendirilen bu anormallikler, iyonküre plazmasının homojen olmayan yapısı yüzünden ağırlıklı olarak gece saatlerinde ve yüksek enlemlerde gözlenmekle birlikte,

her enlem kuşağında farklı ölçeklerde ve farklı parametrelere bağılı olarak etkisini gösterir. Bu çalışmanın sonraki bölümlerinde dalga-benzeri salınımlar ve iyonkürede gözlenen anormalliklerle ilgili detaylı bilgilere yer verilmiştir.

İyonkürede yukarıda bahsedilen dalga-benzeri salınımlar ve anormalliklerin incelenmesinde ve ortaya çıkarılmasında literatürde çeşitli yöntemler kullanılmıştır. İONOLAB grubu uzay-zaman interpolasyonu için yeni teknikleri ve TÜBİTAK projeleri ile TEİ'nin otomatik olarak haritalanması çalışmalarını yürütmektedir. Bazı çalışmalarda ise Kayan İyonküresel Bozulmalar'ın (KİB) oluşumu, hızı ve yayılımı gibi karakteristik özelliklerinin tahmin edilmesi için teknikler sunulmaktadır. Özellikle, güneş ve jeomanyetik aktivitelerin iyonküre üzerinde yarattığı anormalliklerin tespiti ve öcüsünü ortaya çıkarabilmek için çeşitli sinyal işleme ve istatistik yöntemler kullanılmıştır. Bu etkilerin gözlenmesinde iyonküreyi görüntüleme, en etkili yöntemlerden birisidir. Bu yöntemlerin ortak özelliği, gözlenen bozulmaların ve anormalliklerin süresini, frekansını, yapısını, gözlendiği zaman aralıkları ve konumu ve oluşma nedenlerini ortaya koymaktır. Literatürde, KİB'leri TEİ üzerinden değişkenlik sıklığını ve süresini kullanarak tespit etmek ve sınıflandırmak için çeşitli çalışmalar da yapılmıştır (Astafyeva ve Afraimovich, 2006; Ding vd., 2008; Fedorenko vd., 2011; Katamzi vd., 2012; Liu ve Sun, 2011). Bu yöntemlerden biri, frekansı ve bozulma seviyesini spektral olarak kestirmektir. Bu çalışmada, hızlı ve etkili bir algoritma olan İONOLAB-FFT, YKS-TEİ verileri üzerindeki frekans ve KİB'lerin süresinin otomatik olarak tespit edilmesi için kullanılmıştır. Bu yöntem, dalga-benzeri salınımların frekansı ve süresinin doğru, sağlam ve güvenilir tahminlerini sağlayabilmektedir. İONOLAB-FFT, belirli bir YKS uydu alıcısı ve alıcı çifti için FFT (Hızlı Fourier Dönüşümü: Fast Fourier Transform) tarafından belirlenen ROT (Rate Of TEC) sinyaline dayanır. Baskın frekans bileşenleri, yinelemeli algoritmada önemli gücü hesaba katmak için spektrumdan birer birer çıkarılır. Bozulma süresi, baskın frekanslar etrafındaki yerel bant genişliği kullanılarak da tahmin edilir. Bu çalışmada, İONOLAB-FFT, orta ve büyük ölçekli KİB'lerin frekans ve sürelerin tespiti için çeşitli Türkiye üzerinde konumlanmış YKS istasyonlarından alınan YKS-TEİ verilerine uygulanmış; Türkiye üzerinde gözlenen orta ve büyük ölçekli KİB'lerin nedenleri araştırılarak kategorize edilmiştir.

Bu çalışmada, iyonkürenin yapısı ve iyonlaşma mekanizmaları Bölüm 2’de, iyonkürede gözlenen bozulmalar ve anormallikler Bölüm 3’te, TEİ ve YKS hakkında geniş bilgiler Bölüm 3’te anlatılmıştır. Literatürde bu çalışma ile örtüşen çalışmaların özeti Bölüm 4’te, I-FFT yöntemi de Bölüm 5’te verilmiştir. Sonuçlar da Bölüm 6’da verilmiştir.



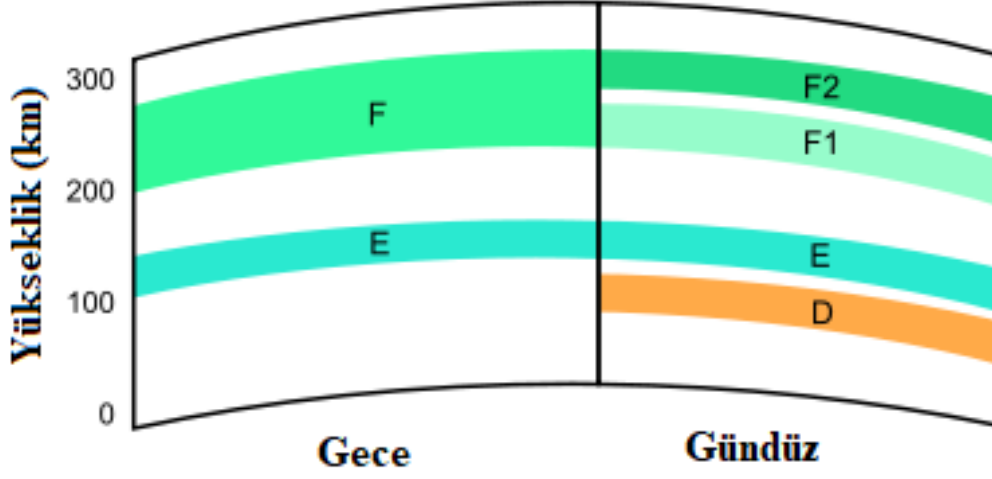
2. İYONKÜRENİN YAPISI

İyonküre, esas olarak güneşten yayılan Ultra Viole (mor ötesi) ışınlarına bağlı olarak, yüklü elektronların yanı sıra, 50 km ile 1000 km arasında kendi ağırlıklarına bağlı olarak değişik yüksekliklerde yer alan pozitif yüklü iyonların hemen hemen eşit sayıda bulunduğu doğal bir plazma ortamıdır (Komjathy, 1997; McNamara, 1994). X-ışınları ve UV ışınları gibi kısa dalga boylu ışınlar, herhangi bir gaz veya molekül için iyonlaştırıcılar olarak düşünülebilir çünkü bu frekanslardaki fotonlar, elektronu yörüngesinden çıkarmak için yeterli enerjiye sahiptir. Bu süreçte elektron, çok daha yüksek bir hıza ve nötr iyonlara göre çok yüksek derecede ve çok daha yüksek ısıya (1000°K düzeyindeki) sahip olabilir (Nasa/TM, 2005). İyonlaşmanın tam tersi olan yeniden birleşme sürecinde, elektronlar pozitif iyon tarafından yakalanır ve böylelikle bir foton salınmış olur. Gaz yoğunluğu düşük yüksekliklerde daha fazla olduğu için, birbirine daha yakın olan gaz molekülleri ve iyonları arasında yeniden birleşme süreci devam eder. İyonlaşma ve yeniden birleşme arasındaki denge, mevcut iyonlaşma miktarını verir (Komjathy, 1997).

Güneş aktivitesi iyonlaşma üzerinde en büyük etkiye sahiptir. İyonlaşma güneş tarafından yayılan radyasyon miktarına bağlı olarak değişir. Günlük etki ve ışınım şiddeti, iyonlaşma üzerinde mevsimsel farkları yaratır. Yarımküre, yerel kış aylarında güneşe daha yakın olmasına karşın güneş ışınları dünyaya daha eğik yansır. Radyasyon, yılın mevsimlerine göre azalır veya artar. Güneş aktivitesi, her 11 yılda bir meydana gelen güneş lekelerinin döngüsüne bağlıdır. Radyasyon güneş lekelerinin sayısına bağlı olarak artar veya azalır. Alınan radyasyon coğrafi konuma (ekvator bölgeleri, orta enlemler, kutup bölgeleri ve auroral bölgeler) bağlı olarak değişir. Güneş patlamaları sonucunda ortaya çıkan parçacıklar Yer'in manyetik alanı ile etkileşerek iyonlaşmayı artırır ya da azaltır.

İyonkürenin yer aldığı 50 ile 1000 km yükseklik alanında atomlar ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre farklı ölçek yüksekliklerde yer almaktadır. Atomların ve moleküllerin yer aldığı yüksekliklere ve iyonlaşma potansiyellerine bağlı olarak iyonküredeki iyonlaşma, her yükseklikte farklı derecelerde olmaktadır. Her

yükseklikte farklı olan iyonlaşma, iyonkürenin D, E, F1 ve F2 harfleriyle karakterize edilen Şekil 2.1’de gösterilmiş olan farklı bölgelere sahip olmasına neden olur.



Şekil 2.1. İyonküre bölgelerinin gece ve gündüz vakitlerinde bulunduğu yükseklikler.

Genellikle D ve E bölgeleri iyonkürenin alt tabakası, F bölgeleri de iyonkürenin üst tabakası olarak kabul edilir. Yükseklik arttıkça EUV ışığının emiliminin ve nötr atmosfer yoğunluğunun artması sonucunda genellikle maksimum elektron yoğunluğunun oluştuğu bölge F2-bölgesidir (Karatay, 2010; Komjathy, 1997; McNamara, 1994; Türel, 2008). D-bölgesi gündüzleri var olup geceleri ortadan kalkmaktadır. Şimdi iyonkürenin farklı bölgelerinin yapısını inceleyelim.

2.1. D-Bölgesi

D-bölgesi yaklaşık 50 km ila 90 km arasında uzanır. Bu bölge iyonlaşmanın en az olduğu bölgedir. İyonlaşma yüksek enerjili X ışınları ile başlar. D-bölgesi dalgaboyu 10 \AA 'dan küçük X-ışınımı ve dalgaboyu 1000 \AA 'dan büyük UV ışınımından etkilenir. Lyman- α (1216 \AA) ışınımı, bu bölgede NO bileşenin iyonlaştırmaktadır. Ayrıca $1027\text{-}1118 \text{ \AA}$ dalga boyundaki ışınım, O_2 molekülünün iyonlaşmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte 10^9 eV 'dan büyük enerjiye sahip yüksek enerjili galaktik kozmik ışınlar, atmosferde tamamen emilmeden D-bölgesine kadar inebilmekte ve bu bölgenin alt kısımlarında iyonlaşmaya neden olmaktadır (Karatay,

2005). Yükseklik arttıkça elektron yoğunluğu da artar. Güneşin doğuşunun hemen ardından iyonlaşma başlar. İyonlaşmanın etkisiyle uzun dalga ve orta dalga bandındaki işaretler bu bölge tarafından soğurular ve zayıflatılır. Gece saatlerinde ise yeniden birleşme süreçlerinin bir sonucu olarak bu bölge kaybolur. Bu bölge, iyonküredeki dalga kılavuzu içinde yol alan çok alçak frekanslı dalgaları etkiler. Bu durum, uzun menzilli, çok alçak frekanslı dalga yayılımı için önemlidir. Kısa menzilli yayılım için alçak ve orta frekans dalgalarını kırar; yüksek frekans (HF) dalgalarını da emer. Çok yüksek frekans dalgalarına etkisi çok azdır (Karatay, 2010; Komjathy, 1997; McNamara, 1994; Türel, 2008).

2.2. E-Bölgesi

E-bölgesi iyonkürenin 90-140 km yükseklikleri arasında yer almaktadır. Bu bölgenin hareketliliği esas olarak güneş aktivitesinin seviyesi ve güneşin zirve açısı olmak üzere iki şeye bağlıdır. E-bölgesinde iyonlaşmaya neden olan 10-200 Å dalga boyundaki X-ışınları ve dalga boyu 800-1030 Å UV ışınımlardır (Aydoğdu, 1980; Özcan, 1987). Bu bölgede en çok ölçülen iyonlar NO^+ ve O_2^+ iyonlarıdır. Daha az miktarda O^+ ve N_2^+ iyonları bulunmaktadır. O atomunun iyonlaşması 130 km'de maksimum düzeye çıkmaktadır. Elektron yoğunluğu bu bölgede de güneş döngüsüne, mevsimsel ve günlük değişimlere bağlı değişmektedir. Geceleri E tabakası zayıflar çünkü birincil iyonlaşma kaynağı gece saatlerinde mevcut değildir. E-bölgesi işaretler üzerinde kırınım etkisi yaratır. Bu bölge gün içinde 20 Mhz'e kadar olan YF (Yüksek Frekans-High Frequency) dalgalarını kırar. Bu bölgede iyonlaşma gece vakti büyük ölçüde azalır. Normal E-bölgesi düşük enerjili X-ışınları ile oluşmaktadır ve uydu işaretlerine etkisi azdır. Daha güçlü bir E-bölgesi yüksek iyonlaşmanın olduğu bulutlar tarafından oluşturulur ve *düzensiz E-bölgesi* (sporadic E-layer: E_s) olarak adlandırılır. Düzensiz E-katmanının çok ince olduğu zamanlarda radyo dalgaları içeri kolaylıkla girer ve dünyaya daha yukarıdaki katmanlardan geri dönerler. E-bölgesinin etkisi ile 100-150 Mhz aralığındaki frekanslara sahip işaretler iyonküreden yansır ve 1000 km'nin üstünde yol alabilir (Türel, 2008).

2.3. F-Bölgesi

F-bölgesi, iyonkürenin 140 km'den yukarı kısmı olarak tanımlanır. Bu bölgede EUV, iyonlaşmanın ana kaynağıdır. F-bölgesi elektron yoğunluğu bakımından iyonkürenin en zengin bölgesidir. F1 ve F2-bölgesi olmak üzere ikiye ayrılır. F1-bölgesinin, gündüz var olup, gece kaybolur. F1-bölgesinde en çok NO^+ ve O_2^+ iyonları bulunurken ikinci derecede O^+ ve N^+ iyonlarına da rastlanmaktadır. F1-bölgesinin elektron yoğunluğu, güneşin açısına çok bağlıdır. Bu bölgenin en önemli özelliği, F2-bölgesinden geçen YF dalgalarını emmesidir. Az sayıdaki güneş lekelerinin ve iyonküresel fırtınalarının etkisiyle bu bölge, yaz mevsiminde kıştan daha berraktır (Karatay, 2010; Komjathy, 1997; McNamara, 1994; Türel, 2008).

F2-bölgesi, kısa dalga yayılımının en önemli tabakasıdır. Çok fazla serbest elektron içerdiğinden dolayı YF radyo dalgalarını diğer bölgelere göre daha fazla yansıtır. F2-bölgesinde O^+ temel iyonunun yanı sıra H^+ , He^+ ve N^+ iyonları da bulunmaktadır. KD (Kısa Dalga) haberleşmesi açısından önemi ise KD işaretlerine karşı yansıtıcı özellik göstererek dünya çapında KD haberleşmesinin yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. F2-bölgesinin iyonlaşmanın en fazla olduğu çok değişken bir bölgedir. Uzunluğu ve yoğunluğu zamana, mevsime ve güneş lekesi aktivitesine göre değişir (Karatay, 2005). Bu bölgenin kritik frekansı, Ocak ayında yaz aylarından daha büyük değerlere sahip olabilmektedir. Orta enlemlerde bu bölgedeki elektron yoğunluğu, güneş aktivitesine bağlı olarak $2.8 \cdot 10^{11}$ ve $5.2 \cdot 10^{11}$ elektron / m^3 arasında değişmektedir. Tablo 2.1'de, iyonkürenin yüksekliklerine bağlı olarak metreküpteki elektron yoğunluğu değerleri verilmiştir.

Tablo 2.1. İyonküre bölgelerinin yükseklik sınırları ve elektron yoğunluğu değerleri (URL-5).

Bölge	Alt yükseklik sınırı (km)	Üst yükseklik sınırı (km)	Yoğunluk (elek/ m^3)
D	50	90	10^8-10^{10}
E	90	140	$10^{10}-10^{11}$
F1	140	200	$10^{11}-10^{12}$
F2	200	500	$10^{11}-10^{12}$

D ve E bölgeleri gibi F-bölgesinin iyonlaşma seviyesi de, güneşten gelen radyasyonun kaybolmasıyla birlikte, gecenin ilerleyen saatlerinde değişir. Ancak, iyonlaşma seviyesi çok daha yüksektir. Bu bölgede gazların yoğunluğu çok daha düşüktür ve sonuç olarak iyonların ve elektronların yeniden birleşme süreci, E-bölgesindeki sürecin yaklaşık dörtte biri oranında daha yavaş gerçekleşir. Bunun bir sonucu olarak, bazı yönlerde azalmış bir etkiye sahip olmasına rağmen, gece radyo sinyalleri üzerinde en çok etkili olan bölgedir.

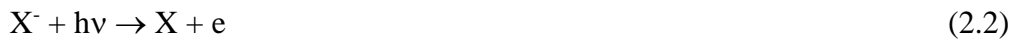
2.4. İyonküreyi Şekillendiren Foto-Kimyasal Mekanizmalar

Güneşten gelen YF ve KD fotonlar iyonküredeki gazları tarafından emilir ve enerjinin bir kısmı bir elektronun salınması için kullanılır. Böylece ortaya pozitif iyonlar ile serbest elektronlar ortaya çıkar. Güneş ışınımı nedeniyle iyonküredeki elektron yoğunluğu, öğlene doğru artar ve öğleden sonra azalır, öğlen civarı bir maksimuma ulaşır. Ancak öğle saatlerinde yoğunlukta sık sık çöküntüler gözlenir. Nötr gaz temel olarak oksijen ve azottan oluşmaktadır. Oksijen, morötesi ışınımı ile kolayca ayrışır ve F-bölgesinde aslında moleküler yapıda bulunur. İkincil unsurlar, oksijen molekülü, atomik nitrojen ve hareketsiz gazlar içerir. F2-bölgesindeki en önemli kazanç olayı oksijen atomunun foto-kimyasal yolla iyonlaşmasıdır (Aydoğdu, 1980; Bhuyan ve Kakoty, 2002; Rishbeth, 1967).

F1 bölgesindeki iyonlaşma süreci esas olarak şöyledir: Elektron oksijen atomundan (O), oksijen molekülünden (O₂) ve nitrojen molekülünden (N₂) salınır. Oksijen molekülünün iyonlaşma eşiği, 102.7 nm dalga boyuna ve 91.1 nm boyundaki dalgalara karşılık gelir. Azot molekülünün iyonlaşma eşiği de, 79.6 nm boyundaki dalgalara karşılık gelir. F2-bölgesindeki en önemli kazanç olayı oksijen atomunun foto-kimyasal yolla iyonlaşmasıdır (Aydoğdu, 1980; Bhuyan ve Kakoty, 2002; Rishbeth, 1967).



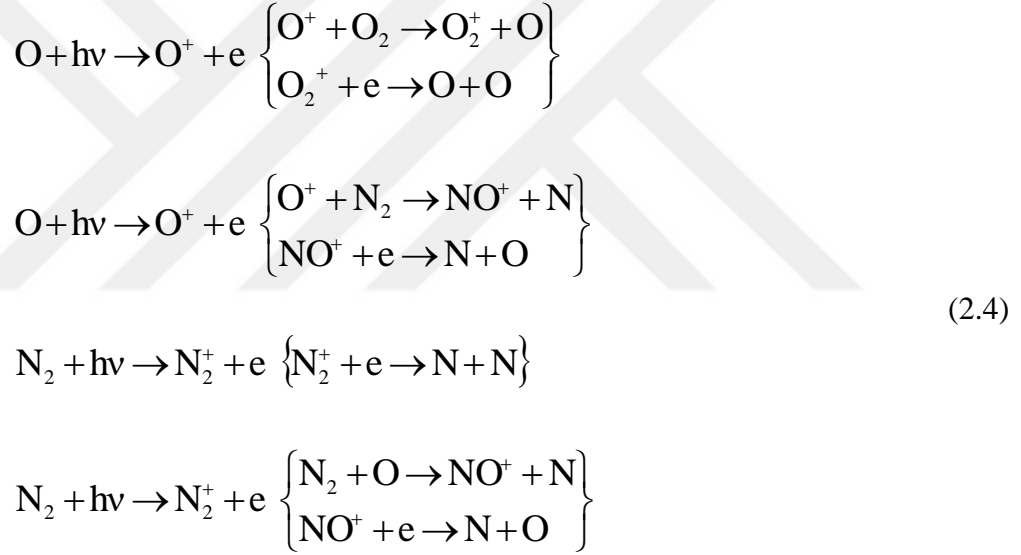
Bununla birlikte negatif iyonların fotonla birleşmesiyle serbest elektron üretilir (Aydoğdu, 1980; Bhuyan & Kakoty, 2002; Rishbeth, 1967).



Bir diğerkazanç olayında H^+ iyonu üretimi, asıl olarak oksijenle yük değış-tokuş reaksiyonlarıyla gerçekleşir (Aydoğdu, 1980; Bhuyan ve Kakoty, 2002; Rishbeth, 1967).



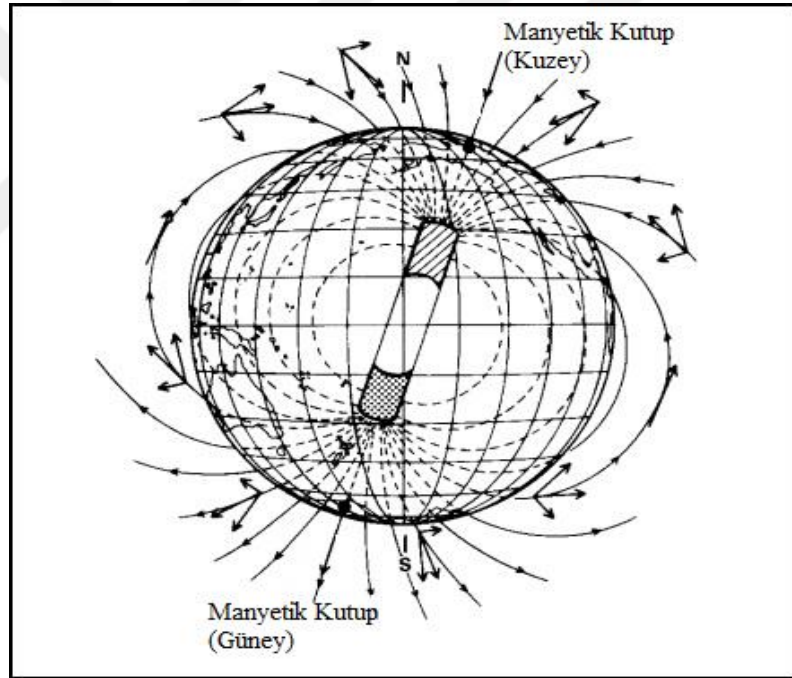
F-bölgesinde bazı reaksiyonlarla üretim gerçekleşirken, bazı reaksiyonlar da kayba neden olmaktadır. O_2 ve NO gibi ikincil bileşenler kayıp süreçlerini oluşturan reaksiyonlarda önemli olmasına rağmen O ve N_2 gibi temel bileşenler, foto-iyonlaşma oranına katkıda bulunurlar. Aşağıdaki denklemler önemli olduğu düşünülen reaksiyonları içermektedir (Aydoğdu, 1980; Bhuyan ve Kakoty, 2002; Rishbeth, 1967).



Yukarıdaki denklemlerde, sol taraftaki reaksiyonlarda üretimin nasıl gerçekleştiğini; sağ taraftaki reaksiyonlar da kayıpların nasıl gerçekleştiğini göstermektedir. İyonkürede bir tarafta yukarıda verilen bazı kimyasal reaksiyonlarla serbest elektronlar üretilirken, diğerk tarafta da yeniden birleşme süreçleriyle elektron kaybı gerçekleşmektedir.

3. İYONKÜREDE GÖZLENEN ANORMALLIKLER VE BOZULMALAR

İyonküre karakterize edilirken üç enlem bölgesi içinde ele alınır: Düşük enlem bölgesi (0 ila $\pm 30^\circ$), orta enlem bölgesi ($\pm 30^\circ$ ila $\pm 60^\circ$) ve yüksek enlem bölgesi ($\pm 60^\circ$ ila $\pm 90^\circ$). Yer'in manyetik alan çizgileri her enlem bölgesinde farklılık göstermektedir; düşük enlem bölgesinde manyetik alan çizgileri Yer'e hemen hemen paralel iken, orta enlem bölgesinde alan çizgileri Yer'in konumuyla bir açı yapacak şekilde değişmektedir, yüksek enlem bölgesinde ise alan çizgileri Yer'e neredeyse diktir. Şekil 3.1'de Yer'in manyetik alan çizgilerinin manyetik kutuplara göre yönleri gösterilmiştir.



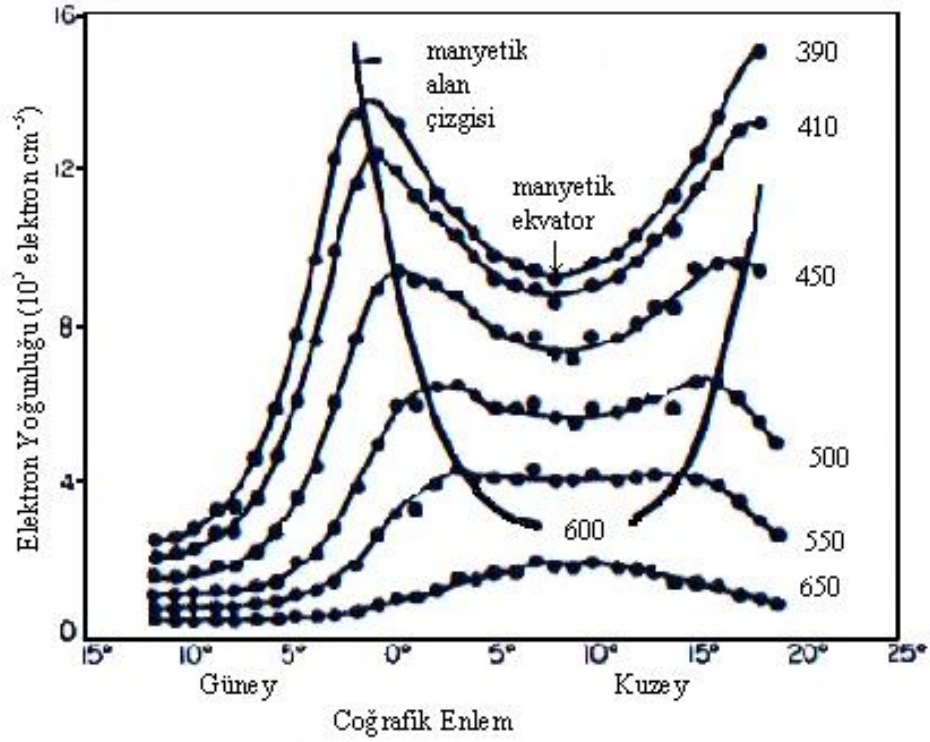
Şekil 3.1. Yer'in manyetik alan çizgilerinin geometrisi (Rishbeth ve Garriott, 1969).

Manyetik alan çizgilerin bu geometrik farklılığından dolayı iyonoküreye farklı enlem bölgeleri içinde etki eden fotokimyasal ve dinamik süreçler farklılık göstermektedir. Dolayısıyla en doğru yaklaşım, iyonküreyi üç ayrı enlem bölgesinde ayrı ayrı değerlendirmek olacaktır. Bu bölümde, iyonküredenin elektron yoğunluğunda anormalliklere ve bozulmalara yol açan bazı mekanizmalar izah edilmiştir (Rishbeth ve Garriott, 1969).

3.1. Ekvatorial F-Bölgesi Anormalliği ve Fıskiye Etkisi

Ekvatorial bölge üzerindeki iyonküre, diğer enlem bölgeleri üzerindeki iyonkürelere göre daha karmaşık yapıya sahiptir. Yer'in manyetik alan çizgilerinin bu enlem bölgesine paralel olması sebebiyle etki eden dinamik süreçler iyonküreın yapısını önemli ölçüde değiştirmektedir. Dinamik süreçlerden ambipolar difüzyonun sonra da nötr rüzgarların etkisi yok denecek kadar azdır. Bu enlem bölgesi iyonküresi üzerindeki en etkili süreç, elektromanyetik sürüklenmedir. Her enlem bölgesi gibi, ekvatorial bölgede de güneşin doğuşuyla birlikte fotokimyasal süreçler başlar. Elektron yoğunluğu güneşin doğuşuyla artmaya başlar. Bölgenin en sıcak olduğu zaman, öğle saatlerinde elektron yoğunluğunda küçük bir azalma vardır. Sabah ve akşamüstü saatlerde yoğunlukta ve maksimumlar meydana gelir.

Ekvatorial enlemlerde iyonküreın davranışı çok farklıdır. Bazı zamanlarda elektron yoğunluğu, foto-iyonlaşmanın durduğu gece saatlerinde, öğle saatlerinden daha büyük olmaktadır. Bu enlem bölgesinde iyonlaşma, jeomanyetik alan çizgilerinin bir tarafından öbür tarafına doğru dağılmaz; alan çizgileri boyunca dağılır. Bu dağılım iyonlaşmanın enleme bağlı dağılımına etki eder. Şekil 3.2'de enlemin bir fonksiyonu olarak F-bölgesinde elektron yoğunluğunun gece saatlerindeki enleme bağlı dağılımı gösterilmiştir: Ekvatorial bölgede elektron yoğunluğunu dağılımı kuzey ve güney yarımkürede 15°-20° enlemlerde "tepelerle" birlikte manyetik dip ekvator üzerinde merkezlenmiş "çukur" denilen bir durum sergiler. Çukur, F2-pikinin aşağısındaki ve yukarısındaki sabit yükseklikteki elektron yoğunluğuna ait dağılımlardan elde edilir (Rishbeth ve Garriott, 1969).

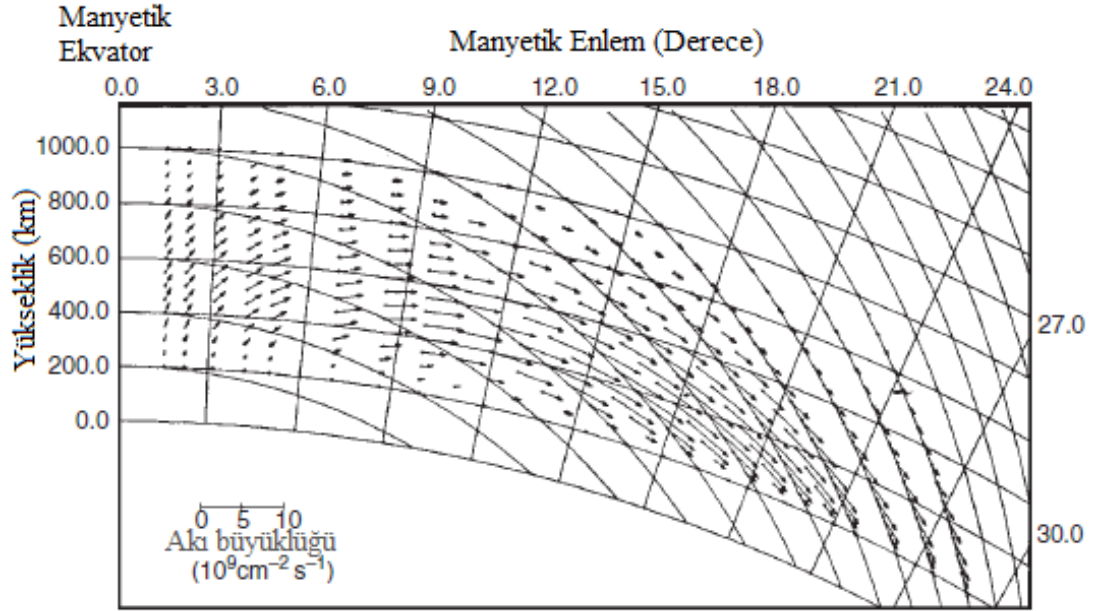


Şekil 3.2. Kuzey ve güney yarımkürelerde ekvatorial çukur ve tepeler (Rishbeth ve Garriott, 1969).

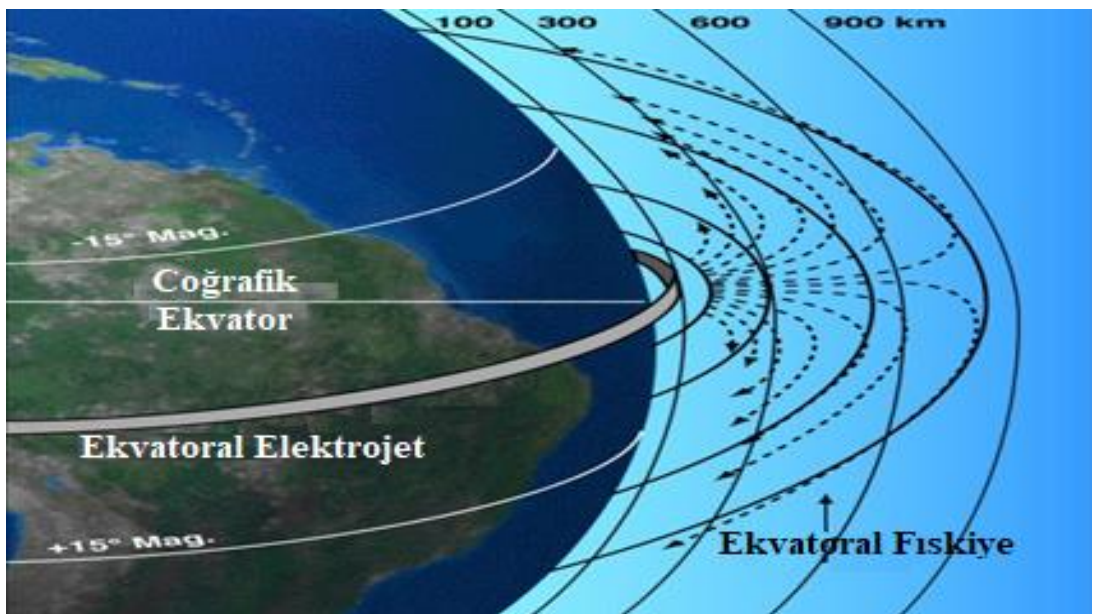
Ekvatorial enlemler içinde gözlenen bu tepeler ile çukura ait iki teorem vardır: İlk teoride elektron yoğunluğunun enleme bağlı dağılımı, jeomanyetik alan çizgilerinden aşağıda, yerçekimi altındaki plazmanın difüzyonuna bağlıdır. Bu difüzyon, plazmanın boşalmasıyla görülen anormallik, iyonlaşmanın ekvator bölgesinden dağılmasına ve kuzey ve güney yarımkürede elektronların birikmesine neden olur (Rishbeth ve Garriott, 1969).

İkinci teoremde, termosferik rüzgârlar tarafından ekvatorial bölge iyonküresindeki E-bölgesinde üretilen dinamo-elektrik alanları, yüksek paralel iletkenlikleri sebebiyle F-bölgesine dipol manyetik alan hatları boyunca iletilir. Gündüz saatlerindeki bu dinamo-elektrik alanın yönü doğuya doğrudur ve yukarı yönlü bir “ $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ plazma sürüklenmesi” meydana getirir; gece saatlerinde ise bu durum tam tersidir. Gündüz saatlerinde yukarı doğru kaldırılan plazma, sonrasında yerçekiminin etkisiyle ekvatorial bölgeden uzakta manyetik alan çizgilerinden aşağıya doğru “yayılır”. Elektromanyetik “sürüklenme” ($\perp \mathbf{B}$) ve “yayılmadan” (difüzyon) ($\parallel \mathbf{B}$) oluşan bu birleşim, plazma hareketinde Şekil 3.3 ve 3.4’te gösterildiği gibi bir fiske modeli

üretir; buna *ekvatorial fıskiye* adı verilir (Rishbeth ve Garriott, 1969; Schunk ve Nagy, 2009).



Şekil 3.3. Düşük enlemlerde manyetik ekvator civarındaki ExB plazma sürüklenmesi ile B manyetik alanı boyunca aşağı yönlü yayılımın birleşmesinden kaynaklanan plazma sürüklenmesi (Schunk ve Nagy, 2009).



Şekil 3.4. Ekvatorial fıskiye'nin enlemsel dağılımı (URL-6).

Fıskiye hareketinin bir sonucu olarak, iyonlaşma pikleri, manyetik ekvatorun her iki tarafında yer alan tropik bölgelerin altında şekillenir; bu özellik *ekvatorial anormallik* veya *Appleton anormalliği* olarak adlandırılır. Fıskiye etkisiyle iyonlaşma, manyetik ekvatorun her iki köşesine taşınır. Jeomanyetik fırtınalar boyunca, manyetik aktivite hızla değiştiğinde ekvatorial bölgede bozulmuş elektrik alanlar (disturbance electric fields) ortaya çıkar. Bu elektrik alanlar, yüksek enlemlerden düşük enlemlere çık hızlı nüfuz eden manyetosferik-elektrik alanlardan ve nötr rüzgârlarla oluşan fırtınaların dinamo hareketinden kaynaklanır; ortalama ömürleri de yaklaşık bir saat civarındadır. Yüksek enlemlerde iyonküre-termosfer sistemi içindeki enerji girişiyle orantılı olan rüzgâr kaynaklı bozulmuş-dinamo elektriksel alanlar daha uzun ömürlüdür ve daha büyük genliğe sahiptirler (Schunk ve Nagy, 2009). Ekvatorial enlem bölgesinde elektron yoğunluğunun günlük değişiminde gözlenen anormallikler günün çoğunda meydana gelir. Çoğunlukla gün batımında oluşur ve gece yarısından sonra gözden kaybolur. Yine anormallikler, farklı boylamlarda ve farklı güneş döngüsünde, farklı özellikler gösterir. Ekinoks dönemlerindeki periyotlar hariç, çoğu zamanlarda ekvatorial çukur, ekvator üzerinde asimetrik olarak gözlenir (Rishbeth ve Garriott, 1969).

Ekvatorial anormallikle birlikte ekvatorial enlemlerde gözlenen bir diğer anormallik de *Ekvatorial Elektrojet*'tir. Dünya üzerinde güneş kaynaklı rüzgârlar, iyonkürenin 100 ile 130 km yükseklikleri arasındaki E-bölgesinde Sq (Solar quiet) akım sistemi adı verilen bir akım sistemi yaratır. Bu akım da, ekvatorial iyonkürede yönü batıdan doğuya (şafak-akşam) olan bir elektrostatik alan meydana getirir. Bu elektrik alanı, manyetik alan çizgilerinin yatay olduğu manyetik dip ekvatorunda manyetik ekvatorun $\pm 3^\circ$ doğusuna doğru, Ekvatorial Elektrojet adlandırılan bir akım meydana getirir (Stening, 1995).

3.2. Kış Anormalliği

İyonkürenin F2-bölgesinin anormallikler sergilediği uzun süredir bilinmektedir. Öğle saatlerinde F2-bölgesinin tepe noktasının elektron yoğunluğu dağılımının mevsimsel değişime ait birçok anormallik kaydedilmiştir. Güneşten gelen ışınımına bağlı olarak iyonküredeki iyonlaşmanın yaz mevsiminde kış mevsiminden daha fazla olması

beklenmektedir. Ancak literatürdeki bazı çalışmalarda (Bailey vd., 2000; Millward vd., 1996; Rapoport ve Sinelnikov, 1996; Rishbeth ve Garriott, 1969; Zhang vd., 2000). Elektron yoğunluğunun kış değerlerinin yaz değerlerinden öğle saatlerinde çok daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bu durum, iyon ve elektron üretiminin kışın çok küçük olmasının beklenmesine ters bir durumdur. Bu duruma genellikle mevsimsel anormallik veya kış anormalliği denilmektedir. Kış anormalliği genellikle kuzey yarımkürede gözlenir ancak, düşük güneş aktivitesi dönemlerinde güney yarımkürede genellikle gözlenmez. Orta enlemlerde özellikle gece saatlerinde gözlenen bu anormalliğe, dinamik süreçlerden olan nötr rüzgarların iyonkürenin F-bölgesini gece saatlerde kaybin ve yeniden birleşme sürecinin daha az olduğu yukarı bölgelere kaldırması sebep olmaktadır (Rishbeth ve Garriott, 1969). Nötr rüzgârlar, plazmayı aşağı ve yukarı hareket ettirerek elektron yoğunluğundaki değişime etki eder.

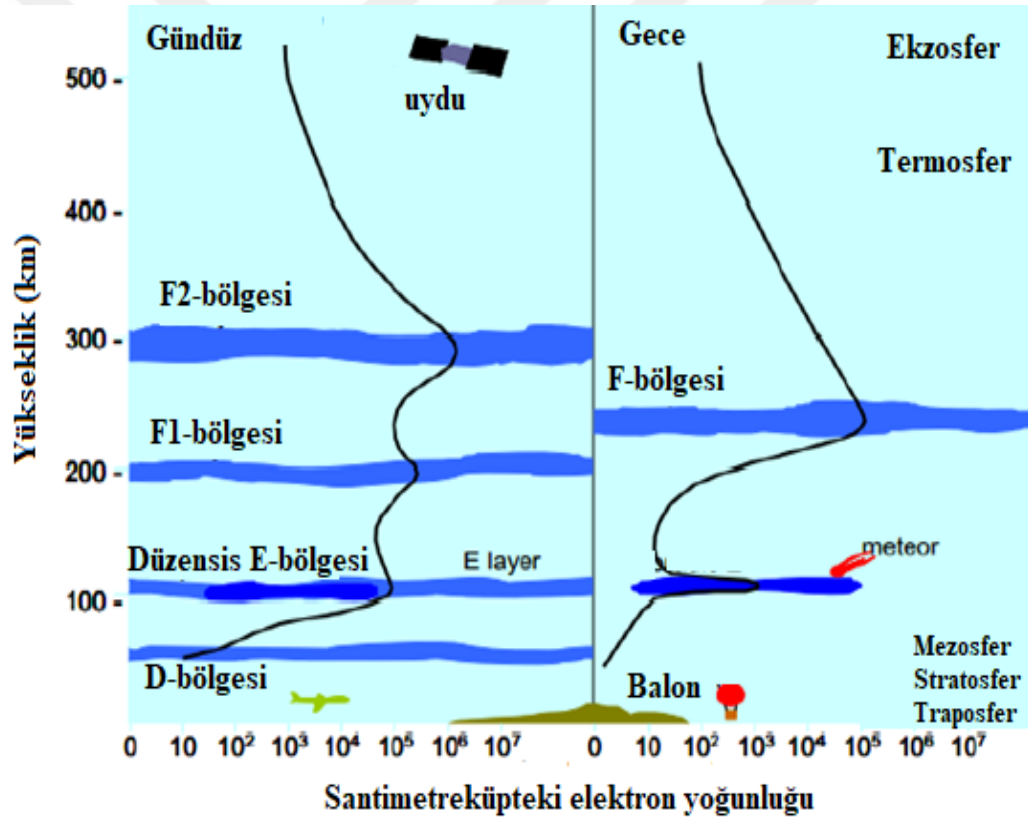
İkinci olarak eğer yarımküreler üzerinde bir ortalama alınırsa, F2-bölgesinin tepe noktasının elektron yoğunluğu, aralık ayında haziran ayından daha büyük olur. Bu da *yıllık anomali* olarak bilinir (Millward vd., 1996; Rishbeth ve Garriott, 1969). Üçüncü olarak F2-bölgesinin tepe noktasının elektron yoğunluğu dağılımında gündönümlerinde minimumlar, ekinokslarda da maksimumlar gözlenir. Bu ise *yarıyıllık anomali* olarak bilinir. Bu anormalliğe düşük enlemlerde çok rastlanır. Günlük değişimlerde öğle saatlerinde, elektron yoğunluğunda küçük bir azalma olur ve minimumlar sabah ve akşamüstü meydana gelir. Elektron yoğunluğu değerinin akşam saatlerindeki değişiminin, özellikle gün batımındaki elektron sıcaklığındaki hızlı düşüşlere bağlı olduğu düşünülür (Rishbeth, 1967).

Kış anormalliği minimum güneş lekesinde genellikle az görülür; elektron yoğunluğundaki artışın başlaması kışın yazdan daha büyük bir χ zenith açısıyla olur. Bu açı kışın $\approx 97^\circ$, yazın $\approx 93^\circ$ 'dir (Rishbeth ve Garriott, 1969). Yarıyıllık ve mevsimsel anormalliğin her ikisinin de atmosferin bileşimindeki değişimlere çok sıkı bağlı olduğu bulunmuştur. İyonküredeki elektron üretiminde Oksijen atomu ve Azot molekülünün oranı çok önemlidir. Bu oran kışın yazdan daha büyüktür ve öğle saatlerinde elektron yoğunluğu değerinin kışın yazdan daha büyük olmasına neden olur. Yoğunluk gün doğumundan sonra kışın, yazdan daha hızlı bir şekilde artar (Zhang vd., 2000). Orta enlemlerde alt iyonkürede kışın, elektron yoğunluğundaki artış, solar Lyman- α radyasyonu tarafından oluşan nitrik oksit yoğunluğundaki artıştan

kaynaklanır. Nitrik oksit, yakın olarak atmosferin uzun ömürlü ikincil ögesi ve NO yoğunluğundaki artış, dinamik süreçlere bağlıdır (Rapoport ve Sinelnikov, 1996). Moleküler gazlar ve atomik gazlar, plazmanın kayıp ve üretim oranlarını kontrol eder (Bailey vd., 2000).

3.3. Günlük Değişimler

Yer'in kendi eksenini etrafında her 24 saatte bir dönüşünün sonucu olarak iyonkürede değişimler meydana gelir. Bu değişimler, Şekil 3.5'teki gibi, en fazla katmanlar halinde meydana gelir.



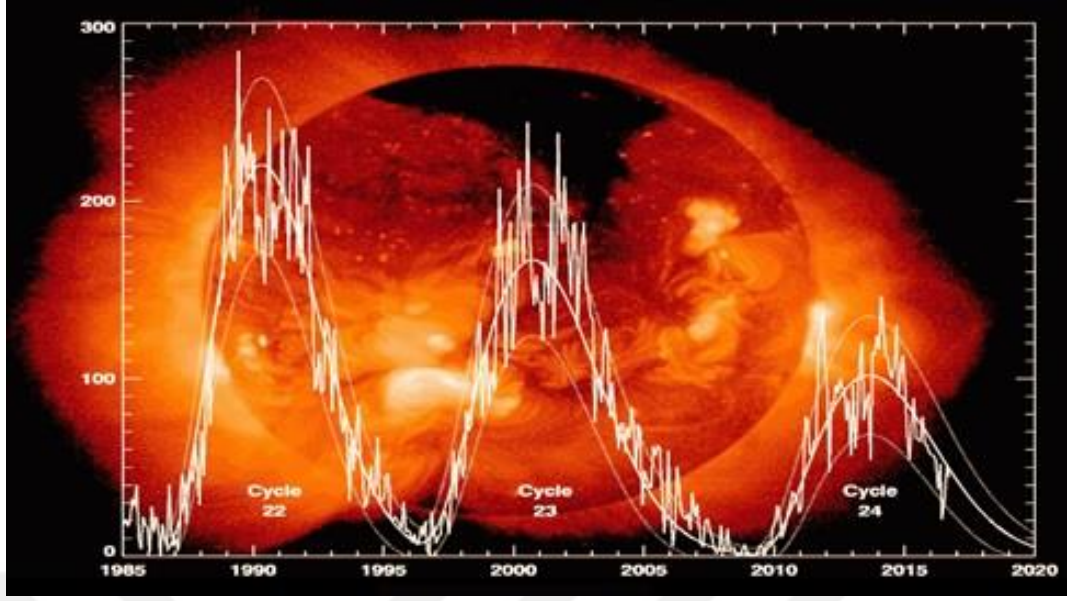
Şekil 3.5. İyonkürenin bölgelerinin Yer'in kendi eksenini etrafındaki dönüşüne bağlı olarak şekillenmesi (Rishbeth ve Garriott, 1969).

Günlük değişimlerde, güneşin aktif ve sakin günlerine ait F2- bölgesi elektron yoğunluğu ve kritik frekans değerlerinin değişimi önemli bir göstergedir. Bu değişimler bazı anormallikleri işaret etmektedir. Elektron yoğunluğunun tepe değeri kışın öğle saatlerinde oldukça belirgindir. Diğer mevsimlerde oldukça düzensizdir.

Bölgenin en sıcak olduğu zaman, öğle saatlerinde elektron yoğunluğunda küçük bir azalma gözlenir ve maksimumlar sabah ve akşamüstü saatlerde meydana gelir (Rishbeth ve Garriott, 1969).

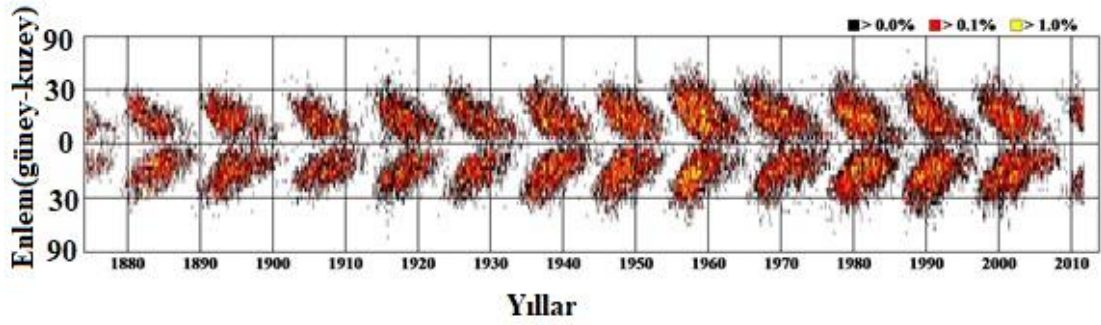
3.4. 11-Yıllık Güneş Döngüsü ve Güneş Hareketliliği

Bilimin gelişmesi, on yedinci yüzyılda teleskopun icadı ve güneşin gözlemlenmesi, güneşin yüzeyindeki karanlık noktaların ortaya çıkışını tekrarlayan güneş gözlemleriyle birlikte güneşin her 22 yılda bir güneş döngüsü geçirdiğini ve her 11-yıllık güneş döngüsünün güneş maksimumu ve güneş minimumu olmak üzere iki evreden oluştuğunu keşfetti (URL-7). Güneş döngüsü veya güneş manyetik aktivite döngüsü, güneşin aktivitesindeki ve güneş lekelerinin, büyüklüğündeki değişiklikler de dahil olmak üzere görünümdeki periyodik olarak 11 yıllık bir değişimdir. İyonkürede meydana gelen karışıklıkların birincil kaynağı Güneş lekeleri olarak adlandırılan, Güneş'in yüzeyinde oluşan daha soğuk olan bölgelerde meydana gelen patlamalarda, Yüksek Hızlı Güneş Rüzgârı Sisteminde (HSSWS) ve Koronal Kütle Boşalımında (CME) şiddeti artan ışınımlardır. Patlamalar, CME ve HSSW, Dünya'ya yüklü parçacıklar yollarlar ve iyonküresel (jeomanyetik) fırtınalara sebep olurlar (Karatay, 2010). *Güneş Lekesi Sayısı*-GLS (SSN-Sun Spot Numbers) olarak adlandırılan bu görünüm (fenomen) güneşin yüzeyindeki patlamalar ve çok güçlü manyetik alanlara neden olur. Güneş lekeleri, iyonküredeki iyonlaşma seviyesini önemli ölçüde etkiler. Güneş lekeleri beklenmedik bir şekilde ve her biri belirsiz bir yaşta olsa da, bilim adamları bu noktaların her 11 yılda bir maksimum ve minimum olmak üzere her bir döngüde tekrarladığını gözlemlemişlerdir. Böylece güneş aktivitesindeki azalmalar sırasında iyonlaşma azalır ve güneş aktivitesi sırasında iyonlaşmayı artır. Bu durum, farklı iyonküre bölgelerini etkiler. D-bölgesinde daha yüksek emilime neden olur; E, F1 ve F2 bölgelerinin kritik frekansları yükselir. Bu zamanlarda, uzun mesafe iletişimleri için daha yüksek çalışma frekansları kullanılmalıdır (URL-8). Şekil 3.6'da, 1995 yılından 24. döngünün sonuna yaklaştığımız şu yıllara kadar geçirdiği 11-yıllık güneş döngülerini göstermektedir.



Şekil 3.6. 1995'ten 2018'e kadar olan 11-yıllık güneş döngüleri (URL-9).

Güneş lekelerinin sayısı, güneş işlekliliğini tanımlamak için kullanılmış olan en eski parametredir. Güneş lekeleri gruplarının sayısı hesaplanarak güneşin lekelerinin sayısı bulunur. Güneşin lekelerinin toplamı da Güneş Lekesi Sayısı'nı (GLS) verir ve grup sayısının on katıdır. Güneş lekelerinin oluşumu, büyümesi ve kaybolması, 11 yıllık bir döngüde gerçekleşir. Günümüzde Güneş Lekesi Sayısı'nı bulmak için iki farklı veri seti kullanılmaktadır: Bunlar, Boulder Güneş Lekesi Sayısı ve Uluslararası Güneş Lekesi Sayısı'dır. Her iki veri seti için kullanılan yöntemler aynı, gözlem evleri ise farklıdır (Monaa vd.,2007). Güneş lekeleri yaklaşık olarak 27 gün boyunca görünmeye devam eder, bu da yaklaşık olarak güneşin eksenini etrafında dönme süresidir. 27 günlük bir döngü, iyonküre bölgelerindeki iyonlaşmanın günlük değişimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. En çok etkilenen bölge F2-bölgesidir. Uzun mesafeli iletişim için frekans hesaplanırken günlük dalgalanmalara alternatifler bulunmalıdır (URL-8). Güneş lekeleri üzerine yapılan araştırmalar ve araştırmalar, güneşin orta enlemlerinde ve kuzey ve güney yönlerinde göründüklerini, sözde kelebek kanat benzeri enlem bantlarını (her yarım kürede bir "kanat") oluşturduklarını göstermektedir (URL-7). Şekil 3.7'de 1890 yılından günümüze olan GLS değişiminin 'kelebek kanatlarına' benzediği görülmektedir.



Şekil 3.7. 1890 yılından 2018 yılına kadar olan Güneş Lekelerinin Sayısı (GLS) (URL-10).

İyonkürede bazı bozulmalara ve anormalliklere sebep olan güneş ve jeomanyetik hareketlilik bazı indislerle ifade edilir. Manyetik işleklilik indisleri adı verilen bu indisler, düzensiz akım sisteminden etkilenen jeomanyetik alandaki değişimleri tanımlamak için kullanılır:

1. K-indisi adı verilen indis, 13 tane orta-enlem istasyonundan elde edilir. Yer'in manyetik alanının tüm dünya üzerinden elde edilen değerlerinin ortalamasıdır (URL-11). Yerel olan K-indisi, manyetik alandaki 3 saatlik düzensizliklerin ya da bozulmaların büyüklüğünü. Her bir istasyon için nT (1 nT=10-12 Tesla) cinsinden manyetik alan ve 0 ile 9 arasında değer alan K-indisi arasındaki dönüşüm logaritmiktir ve her bir istasyon için farklılık gösterir (De Canck, 2007). Kp-indisi ise, dünya üzerine dağılmış 12-13 istasyondan alınan 3 saatlik K-indisi değerlerine dayalı olarak oluşturulan jeomanyetik indistir (URL-11). Kp-indisi, 44° ile 60° arasındaki güney ya da kuzey enlemlerinde yer alan 13 gözlem evinden elde edilen K-indisinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır (De Canck, 2007). Ölçeği 0 ile 9 arasında değişir.
2. a-indisi yerel jeomanyetik işlekliliğin 3 saatlik bir "eşdeğer genlik" indisidir (URL-11). Her bir K değeri, "eşdeğer 3 saatlik dizi" olarak adlandırılan bir lineer ölçek olan a-indisine dönüştürülür. Yerel A-indisi, jeomanyetik işlekliliğin uzun süreli değişimlerini ifade eder (De Canck, 2007). Sekiz a-indisinin 3 saatlik ortalamasına eşit olan günlük jeomanyetik bir indistir. Dinamik indistir ve uç değere sahip değildir. A-indisi, 0-100 ve üstü eğerlerle ifade edilir. Ap-indisi ise bir dizi özel istasyondan elde edilmiş A-indisi verilerinin ortalamasıdır (URL-11).
3. Dst-indisi (Disturbance storm time), ekvatorial akım zincirindeki değişimleri tanımlayan bir jeomanyetik indistir. Bu gösterge, ekvator bölgesindeki

manyetik fırtınaların yoğunluğunun bir değerlendirmesini verir. Nanotesla cinsinden ifade edilir ve birbirine yakın dört ekvatorial jeomanyetik gözlemevinde saatlik ölçülen Yer'in manyetik alanının yatay bileşen ortalana değerine eşittir. Dst, manyetik fırtına indisi olarak kullanılır çünkü düşük enlemlerde yüzey manyetik alanının şiddeti, jeomanyetik fırtınalar sırasında artan akım zincirinin enerjisi ile ters orantılıdır. Manyetik fırtınalar esnasında Dst ani bir fırtınaya karşılık gelen ani bir yükselişi gösterir ve daha sonra halka akımı yoğunluğu arttıkça keskin bir şekilde azalır (Monaa vd.,2007).

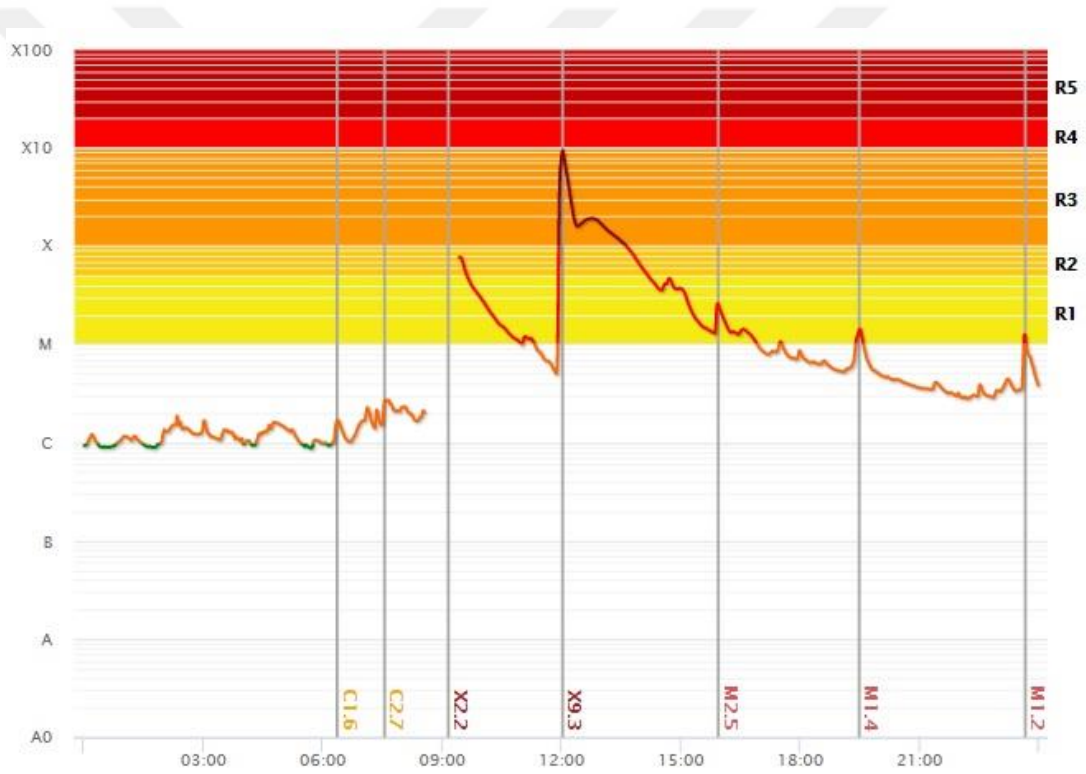
4. Polar zirve-indisi (polar cap index), kutup bölgelerinde iyonküredeki akımlardan kaynaklanan jeomanyetik bozulmaları ölçmektedir. Bu indis, manyetoküresel alan çizgilerinin iletiminden kaynaklanan iyonküresel akım sistemini ölçmek için geliştirildi. Güneş rüzgârlarıyla ilişkili olduğu düşünülerek Pz-indisi, güneş rüzgârlarından Yer'in manyetoküresine olan enerji girişini ölçmektedir. 1975 yılından beri elde edilmektedir (Letfus ve Apostolov 1982; Whitken, ve Poppoff, 1971). Kuzey Kutbu (PCN) ve Dünya'nın Güney Kutbu (PCS) olmak üzere iki şekilde ölçülür. Kuzey Kutbu (Vostok) yakınlarında ve Güney Kutbu (Thule) yakınlarında iki istasyon ölçüm için kullanılır (Stauning, 2013).
5. AE-indisi (Auroral Elektrojet), 1966 yılında, Davis ve Sugiura tarafından auroral bölgedeki küresel elektrojet aktivitesinin bir ölçüsü olarak ifade edildi. Bu indis, kuzey yarıkürede 61°-70 enlemleri arasındaki 12 gözlemeviden alınan manyetik alanın yatay bileşenlerinden elde edilir. Gözlenen üst değer AU indisi, alt değer de AL indisi olarak tanımlanır ve AU eksi AL arasındaki fark AE-indisini verir (Davis ve Sugiura, 1966).
6. Güneş akısı-indisi (Sun Flux Index-SFI), 10.7 cm dalga boyunda (2800 MHz) bant üzerindeki ışınım miktarını ifade eden indistir. Güneş Akısı, güneş hareketliliğinin seviyesini gösteren, en yaygın kullanılan indistir. Bu indis Penticton (Kanada) gözlemevinde ölçülmektedir ve UV ve X-ışınlarıyla çok yakından ilişkilidir. Yüksek güneş akısında iyonküre güçlenir, yüksek frekansların kırılmasına olanak sağlar. Güneş akısı görgül olarak GLS ile de ilişkilidir. Birimi sfu olarak tanımlanır ve $sfu=10-22 \text{ Wm}^{-1}\text{Hz}^{-1}$ dir (URL-11). Güneş akısı değerleri 50 ile 300 arasında değişir. Düşük değerler, koşulların iletişim için iyi olmadığını, özellikle kullanılacak frekansın çok düşük ve

HF aralığında olduğunu gösterir. Yüksek değerler iyonizasyonun, normalden daha yüksek frekanslara izin verdiğini ve uzun mesafe iletişimi için çok iyi seviyede olduğunu gösterir (Cliver vd., 2013).

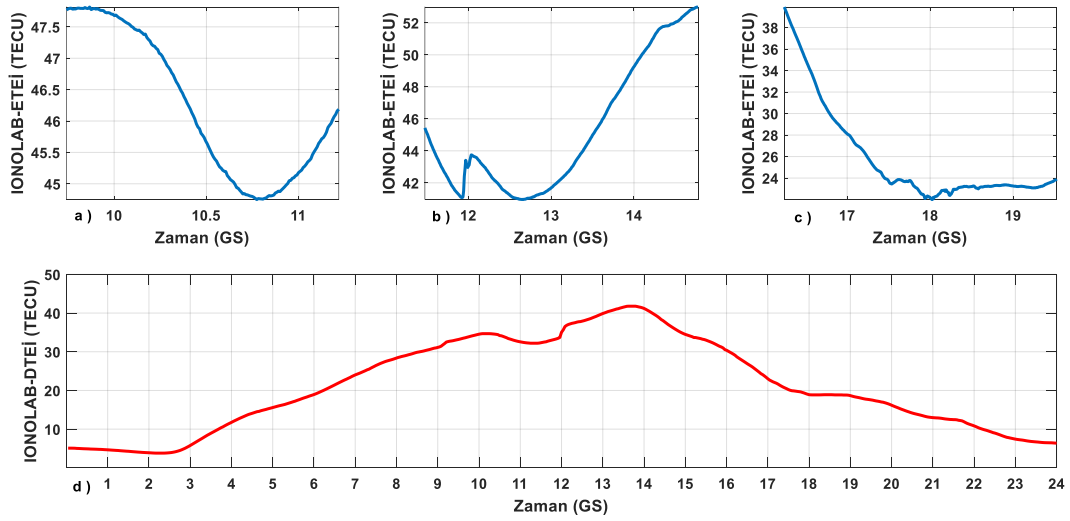
3.5. Ani İyonküresel Bozulmalar (AİB)

Güneş aktivitesi, 11-yıllık güneş döngüsü boyunca artar. Güneş üzerindeki çok parlak olan bölgeler ve güneş lekeleri, X ışınları yayarlar. Bazen çok etkili bir patlama, bu parlak bölgelerde aniden meydana gelebilirler. Güneşte meydana gelen bu patlamalardan yayılan 2 ile 10 Å şiddetindeki X ışınları, iyonkürenin D-bölgesinde iyonlaşmaya sebep olurlar. Bu bozulmalar, iyonküredeki KD sinyallerinin sönümüne neden olurlar ve bunlara Ani İyonküresel Bozulmalar (Sudden Ionospheric Disturbances-SIDs) veya Møgel-Dellinger Etkisi olarak adlandırılırlar. Başlangıcı çok ani olup bazen birkaç saniye içinde yayılabilirler ve radyo dalgalarını absorbe edebilirler. Genelde AİB büyüklüğü, güneşin Zenith açısına bağlıdır ve 20 Å altındaki X ışını patlamalarının hepsi AİB'e neden olur. Yaklaşık %90'ının oluşumu, 10-50 keV enerjili X ışını patlamalarıyla oluşur. 0-3 Å ve 8-20 Å dalga boylu X ışınları da VLF (Very Low Frequency) ve LF (Low Frequency) sinyallerinin etkiler. Bu ışınlar E, F1 ve F2-bölgelerini geçerek D-bölgesine ulaşır. AİB süresince iyonkürenin D-bölgesinin elektron yoğunluğu birkaç dakika içinde aniden artar ve daha sonra yavaşça eski değerine döner. Bu ışınlar D-bölgesine nüfuz etmekte ama tamamen emilememektedir. KD sinyalleri, iyonkürenin bu bölgesinde düşük yüksekliklerdeki parçacıklar tarafından emilir ve radyo iletişiminin tamamen karartılmasına neden olur. Bu duruma, KD zayıflaması denilir. Bu zayıflamalar birkaç dakikadan birkaç saate kadar devam eder ve güneşin en etkili olduğu ekvatorial bölgelerde en şiddetlidir. Bu bozulmalar, Uzun Dalga-UD (VLF-Very Low Frequency) radyo yayılımını arttırır. AİB, uzak bir VLF vericisinin sinyal gücünü izlenerek gözlemlenir ve kaydedilir (Letfus ve Apostolov, 1982; Whitken ve Poppoff, 1971). Şekil 3.8'de 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması olayında güneş hareketliliğinin zamana göre değişimi verilmiştir. 06 Eylül tarihli bu güneş patlaması çok büyük bir patlamadır ve iyonküreyi çok büyük ölçüde etkilemiştir. X2.2

sınıflandırılmış ilk patlama GS 09:10'da zirveye ulaşmıştır. Son güneş döngüsündeki en yoğun patlama olan ikincisi X9.3, GS 12:02'de zirveye çıkmıştır. Şekil 3.8'de bu pikler açıkça görülmektedir (URL-12). Şekil 3.9a, b ve c'de ise 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması için Şekil 3.8'de 39.69°N ve 32.75°D coğrafik koordinatlarında bulunan YKS istasyonu djig için piklerin gözlemlendiği zamanlardaki IONOLAB-Eğik Toplam Elektron İçeriği (ETEİ) değerleri verilmiştir. Şekil 3.9d'de ise aynı tarihte IONOLAB- Dik Toplam Elektron İçeriği (DTEİ) değerlerinin 24 saatlik değişimi verilmiştir. Bu tarihte gerçekleşen büyük patlamanın iyonkürenin elektron yoğunluğunda meydana getirdiği bozulmalar, Şekil 3.9'da açıkça gözlenmektedir.



Şekil 3.8. 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması için güneş hareketliliğinin zamana göre değişimi (URL-12).



Şekil 3.9. 06 Eylül 2017 tarihinde gerçekleşen güneş patlaması için iyonkürenin Toplam Elektron İçeriği değişimleri: a) GS 09.00-11.30 arası IONOLAB-ETEİ, b) GS 11.30-15.00 arası IONOLAB- ETEİ, c) GS 14.00-20.00 arası IONOLAB- ETEİ ve d) 24-saatlik IONOLAB-DTEİ değişimleri.

AİB olayı sadece dünyanın gün ışığı alan yarımküresinde gözlenir. Etkileri ise güneş zirvede olduğu saatlerde daha yoğundur. Bu bozulmalar, Yer'in manyetik alanında önemli ölçüde değişimlere neden olurlar ve çok güçlü bir şekilde iyonkürenin D-bölgesinin etkilerler. Daha belirgin şekillerde ekvatora yakın bölgelerde ve öğle saatlerinde gözlenirler. 11-yıllık güneş döngüsüyle de sıkı sıkıya ilişkilidir (Letfus ve Apostolov, 1982; Whitten ve Poppoff, 1971).

3.6. Kayan İyonküresel Bozulmalar (KİB).

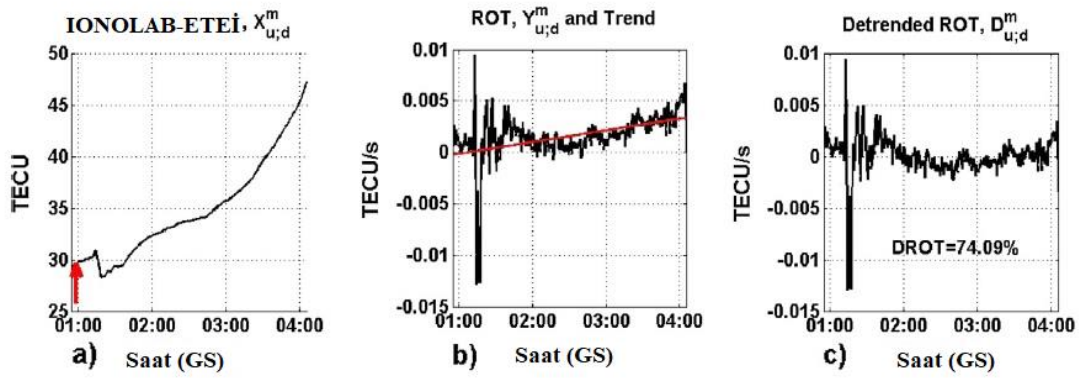
İyonkürenin zamana ve konuma bağlı sergilediği değişimler genel olarak Yer'in kendi ekseninde ve güneş etrafında dönüşüne ve manyetik alan çizgilerinin dağılımına bağlıdır. Yer'in manyetik alanı eğer bir jeomanyetik fırtına yoksa sakin olarak kabul edilir. Bu eğilimler ve zamana bağlı değişimler, 'sakin iyonküre' olarak bilinen iyonküreyi şekillendirir. Uzun süreli gözlemler sonucunda, güneşteki değişimler, jeomanyetik fırtınalar, sismik aktiviteler ve dünyanın yerçekiminin, iyonkürenin sakin durumundan bazı sapmalara neden olduğu saptanmıştır. Bu sapmalar, iyonküre içinde özellikle bozulmalar (disturbances) olarak adlandırılmıştır. Hareket eden, yani *Kayan İyonküresel Bozulmalar-KİB*, (TIDs-Traveling Ionospheric Disturbances) zamanla sönümlenen dalgalanmalar olarak tanımlanıp, iyonkürenin üst katmanında

gözlemlenmektedir. Bu bozulmalara kesin olarak neyin sebep olduğu tam olarak bilinmese de, Atmosferik Yerçekimi Dalgalarının-AYD (AGW-Atmospheric Gravity Waves), sismik hareketlerin, jeomanyetik ve güneş fırtınalarının dalga benzeri bozulmalara sebep olduğu düşünülmektedir. KİB hız, dalga boyu, periyot gibi dalga parametrelerine göre *Büyük Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar-BÖKİB* (Large Scale TIDs, LSTIDs) ve *Orta Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulmalar-OÖKİB* (Medium Scale TIDs, MSTIDs) olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Kelley, 2009).

BÖKİB, süresi bir saatten üç saatten fazla zamana kadar değişen ve yatay dalga boyu 1000 ila 4000 km arasında olan bozulmalardır. Hızları ise 400 m/s ve 1000 m/s arasında değişmektedir (Hocke ve Schlegel, 1996). BÖKİB'e, kuzey ve güney yarım kürelerin kutup bölgelerindeki kaynaklar tarafından uyarılan AYD dalgaların sebep olduğu düşünülmektedir. Auroral elektrojetdeki elektrik yüklerinin, her iki yarımkürede ekvatora doğru yayılan BÖKİB üretebileceği ve iyonkürenin yüksekliğinde artışa neden olabileceği yapılan çalışmalarda gözlenmiştir (Hocke ve Schlegel, 1996). OÖKİB ise birkaç yüz kilometre yatay dalga boyuna sahip olan bozulmalardır. Yatay hızları 100 m/s ile 250 m/s arasında değişmekte ve 15 ile 60 dakika arasında değişen sürelerde devam etmektedir (Hocke ve Schlegel, 1996). OÖKİB, yaz aylarında sıklıkla görülür ve genellikle doğrultuları kuzeybatı-güneydoğu yönündedir ve güneybatıya doğru yayılırlar. Gündüz saatlerinde görülen OÖKİB, genellikle ekvator yönünde yayılırlar ve kışın sık görülürler (Hernández-Pajares vd., 2006; Husin vd., 2011; Kalikhman, 1980; Lee vd., 2008; Tsugawa1 vd.,2007; Yoon ve Lee, 2014). İster büyük, ister orta ölçekli olsun, KİB, lojistik, güdümlü roket ve insansız hava araçlarının inişi gibi hem askeri hem de sivil uygulamalarda navigasyon ve konumlandırma sistemleri için önemli hata nedenleri arasındadır. Uzay tabanlı ve yer tabanlı iyileştirme sistemleri üzerindeki artan talep, iyonküreyi yerel ve bölgesel olarak görüntülemeyi, muhtemel bir bozulmayı tespit etmeyi ve yakın-gerçek zamanlı risk ve tehditleri hesaplamayı zorunlu hale getirmiştir (Bergeot vd., 2014; Hernández-Pajares vd., 2006; Jakowski vd., 2012; Kim vd., 2015; Yoon ve Lee, 2014).

Şekil 3.10a'da, 26 Aralık 2004 tarihinde Sumatra-Andaman'da 3.29°K- 95.78°E coğrafik koordinatlarında GS 00.58'de gerçekleşen ve büyüklüğü 9.3 olan deprem için YKS istasyonu samp için Eğik TEİ (ETEİ) verilmiştir. Bu tarihteki Kp indisi 3, AE

indisinin en büyük değeri 372 nT ve Dst indisi de -16 nT değerine kadar ancak ulaşmıştır. Yani iyonküredeki bozulma üzerindeki tek etken sismik hareketliliktir. Şekil 3.10b ve c’de ise TEİ’nin Oranı (ROT-Rate Of TEC) ve ETEİ’nin Yönsemesi Giderilmiş ROT’u (Detrended ROT of STEC) yöntemleri kullanılarak elde edilmiş TEİ bozulma oranları verilmiştir. Deprem günü Şekil 3.10a’da kırmızı okla gösterilmiştir. İyonküre bu tarihte jeomanyetik olarak sakin olduğundan dolayı, TEİ’deki $DROT=74.09\%$ bozulma seviyesinin KİB’den kaynaklandığı düşünülmektedir (Efendi ve Arıkan, 2017).



Şekil 3.10. 24 Aralık 2004 tarihinde samp istasyonu için: a) IONOLAB-ETEİ değişimi, b) TEİ’nin Oranı ve c) ETEİ’nin Yönsemesi Giderilmiş ROT’u (Efendi ve Arıkan, 2017).

Literatürde, KİB’in frekans ve süresini TEİ üzerinden tespit etmek ve sınıflandırmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Davis, 1971; Hernández-Pajares vd., 2006; Hocke & Schlegel, 1996). Bu çalışmaların bazılarında kullanılan yöntemlerde KİB’in frekans ve bozulma seviyesi spektral alanda hesaplanmıştır (Afraimovich vd., 2001; Borries vd., 2007; Dyson vd., 1974; Hernández-Pajares vd., 2006; Kalikhman, 1980; Nicolls vd., 2004; Šauli vd., 2006;). Bu amaçla, Yine de, KİB’in izlenmesinde ve tespitinde kullanılabilir olan algoritma, yakın-gerçek zamanlı TEİ verileri üzerinde otomatik ve bağımsız akış sağlayabilmek için sağlam, güvenilir ve uygun maliyetli olmalıdır. Bu çalışmada, dalga benzeri titreşimlerin frekansı ve süresinin doğru, sağlam ve güvenilir tahminlerini sağlayabilen YKS-TEİ verileri üzerinden KİB’in frekans ve süresinin otomatik olarak tespit edilmesi için hızlı ve etkili bir algoritma olan IONOLAB-FFT kullanılacaktır.

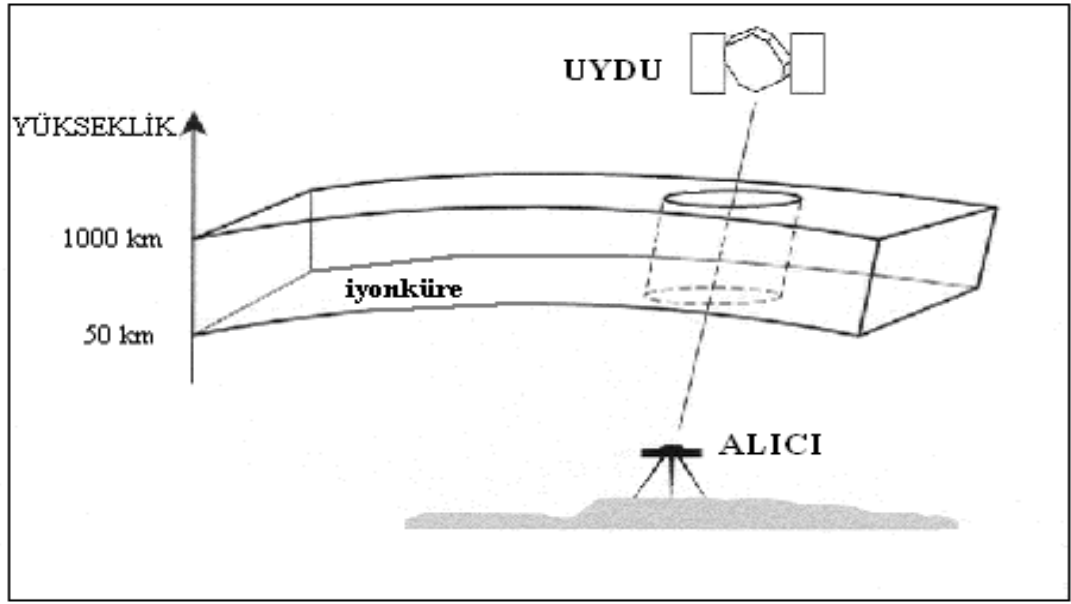
4. İYONKÜRENİN TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ VE YERKÜRESEL KONUMLAMA SİSTEMİ

İyonkürenin radyo dalgaları üzerindeki en önemli etkilerinden birisi, yayılımlarında neden olduğu gecikmedir. Radyo dalgalarının yayılımındaki bu gecikme, frekansa ve iyonkürenin elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyonküreyi karakterize eden en önemli parametrelerden biri olan Toplam Elektron İçeriği (TEİ), 1 m² kesitli silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olarak ifade edilir. Yani elektron yoğunluğunun integralidir. En genel şekliyle TEİ, uydudan (U) alıcıya (A) olan yol boyunca hesaplanan elektronların toplam miktarıdır:

$$TEİ = \int_A^U N_e(l) dl \quad (4.1)$$

Burada N , metreküpteki veya santimetreküpteki elektron yoğunluğudur. TEİ'nin birimi TECU'dur ve $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$ veya 10^{12} el/cm^2 'dir.

TEİ, iyonküre içinde uydu tarafından gönderilen radyo dalgalarındaki iyonküresel gecikmenin hesaplanmasını sağlayan bir parametredir. İyonküresel TEİ çeşitli yollarla elde edilmektedir. TEİ kestirimi için yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler bulunmaktadır. Yer tabanlı teknikler arasında İyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve Evreyuysuz Geri Saçılım Radarı sayılabilir. Bu tekniklerin ortak özelliği iyonküreye radyo dalgaları gönderilerek incelemeler yapılmasıdır. İyonküredeki TEİ incelemeleri için uydu sistemlerinden bazıları Yerküresel Konumlama Sistemi-YKS (Global Positioning System, GPS), GLONASS ve TOPEX/Poseidon sistemleridir (Karatay, 2010). Yerküresel Konumlama Sistemi, TEİ hesaplamada ve iyonküresel değişimleri incelemede yaygın olarak kullanılmaktadır. YKS işaretlerindeki gecikme toplam serbest elektron sayısı ile ilişkilidir. Uydu-Alıcı arasında iyonkürede ilerleyen radyo sinyali Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Uydudan gönderilen radyo dalga sinyalinin iyonküreyi geçerek alıcıya ulaşması (Karatay, 2010).

İyonküredeki serbest elektronların sayısı iklim, coğrafik konum, jeomanyetik işleklik gibi faktörlere bağlı değişim gösterdiğinden, TEİ de bu faktörlere bağlı olarak değişim sergiler. TEİ, iyonküredeki plazma halini ve dinamiklerini karakterize etmek için kullanılan önemli bir iyonküresel ve uzay-hava parametresidir. Jeomanyetik fırtınalar gibi Güneş olayları boyunca önemli ölçüde değişimlere uğrar ve Yer boşluğu ortamındaki süreçlerin dinamiklerini yansıtır. İyonkürenin Toplam Elektron İçeriği zaman ve yer kabuğu hareketleri ile ilişkilidir (Karatay, 2010).

İyonkürenin grup gecikme ifadesi şu eşitlikle ifade edilir (Karatay, 2010):

$$\Delta t = \frac{40.3}{cf^2} TEI \quad (4.2)$$

Burada 40.3 sabitinin birimi m^3/s^2 dir (Hawarey ve Ayan, 2004; Schuh, Hobiger, Boehm, 2002). Denklemdaki c ışık hızı, f sinyalin frekansıdır. YKS'nin L1 ve L2 iki taşıyıcı frekansı göz önüne alınarak Eşitlik (4.2), aşağıdaki gibi tanımlanabilir (Hawarey ve Ayan, 2004):

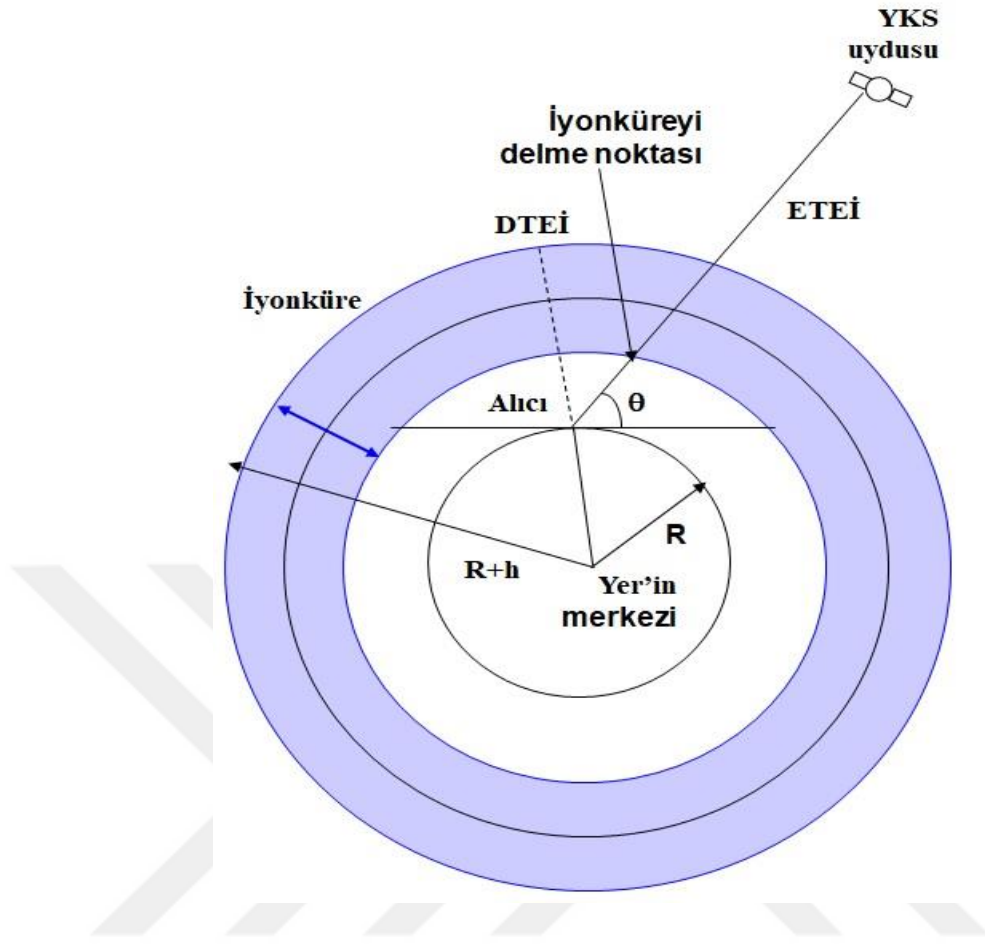
$$\begin{aligned} \rho_1 &= \frac{40.3}{cf_1^2} TEI \\ \rho_2 &= \frac{40.3}{cf_2^2} TEI \end{aligned} \quad (4.3)$$

Yukarıdaki eşitlikten de anlaşılacağı gibi gecikme, elektron sayısı ile doğru orantılı, sinyal frekansı ile ters orantılıdır. GHz bandındaki bir elektromanyetik dalganın hızı, iyonkürde bağımlı frekanstır. Bu durum bize, uydu-alıcı, görüş hattı boyunca iyonkürsel TEİ değerleri alabilmeyi sağlar (Naaman, Alperovich, Wdowinski, Hayakawa, ve Calais, 2001). Buna göre TEİ:

$$TEİ = \frac{\Delta\rho \cdot c}{40.3} \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (4.4)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada f_1 , L1 dalgasının frekansı; f_2 , L2 dalgasının frekansıdır (Hawarey ve Ayan, 2004; Nammab, Alperovich, Wdowinski, Hayakawa ve Calais, 2001).

TEİ, *Eğik Toplam Elektron İçeriği-ETEİ* (STEC-Slant Total Electron Content) ve *Dik Toplam Elektron İçeriği-DTEİ* (VTEC-Vertical Total Electron Content) olmak üzere iki şekilde ifade edilir. ETEİ, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan toplam serbest elektron miktarı, DTEİ ise alıcıya göre yerel zenith doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarıdır (Nayir, 2007). Şekil 4.2, ETEİ ve DTEİ arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekilde θ , yatıklık (oblik) açısı; R, Yer'in yarıçapı ve R+h, Yer'in merkezinden iyonkürdeye olan uzaklık olarak temsil edilmiştir.



Şekil 4.2. ETEİ ve DTEİ geometrisi.

$O(\theta)$ yatıklık faktörüne bağlı ETEİ ve DTEİ arasındaki ilişki:

$$DTEİ = ETEİ \cdot O(\theta) \quad (4.5)$$

olarak ifade edilir (Eftaxiadis vd., 1999). Basit trigonometrik tanımlamayla yatıklık faktörü

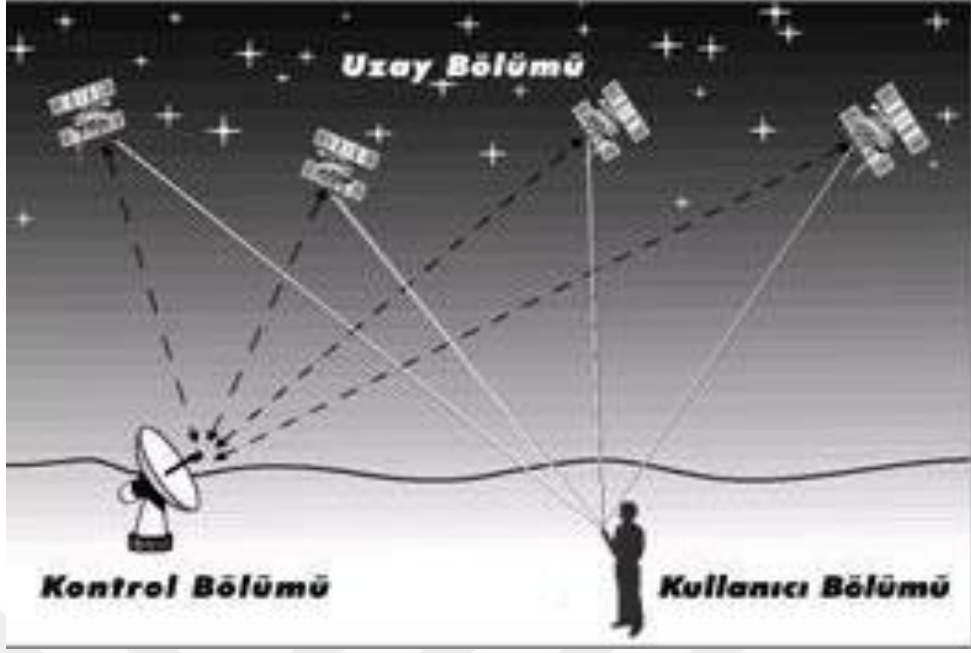
$$O(\theta) = 1/\cos \left[\arcsin \frac{R \cos(\theta)}{R+h} \right] \quad (4.6)$$

şeklinde yazılır. Burada h , etkili (geçerli) iyonküresel yüksekliktir (Eftaxiadis vd., 1999).

İyonküresel Toplam Elektron İçeriğinin küresel haritaları, yerel istasyonlardan toplanan YKS gözlemlerinin haritalandırılmasıyla gerçek-zamanlı (RT-Real Time) içinde üretilir. Bu gerçek-zamanlı TEİ haritaları, radyo seyir sistemlerinde doğru iyonküresel ölçümler alabilmeyi sağlar.

4.1. Yerküresel Konumlama Sistemi

Yerküresel Konumlama Sistemi-YKS (GPS-Global Positioning System) şeklinde açılımı olan sistem, uydu tabanlı radyo seyir sistemine verilen addır. Amerikan Savunma Bakanlığı'nın denetiminde ve kontrolünde olup askeri veya sivil amaçlı olarak kullanılmaktadır. YKS, Uzay segmenti, Kontrol segmenti ve Kullanıcı segmenti olmak üzere üç ana kısımda incelenebilir. Uzay segmenti yaklaşık 20.200 km yükseklikte bulunan 24 aktif uyduyu kapsamaktadır. Bazı eski uydularının yerine yenilerinin gönderilmesi nedeniyle bu sayı değişebilmektedir. Her bir uydu dünya üzerindeki turunu 12 saatte tamamlamaktadır. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki hareketinden dolayı her bir uydu dünya üzerindeki belirli bir noktadan 24 saat içinde iki kez geçmektedir. İlk uydu 1978 yılında yörüngeye oturtulmuş olup 24 aktif uyduya ulaşılması 1994 yılında gerçekleşmiştir. YKS uyduları güneş enerjisi ile çalışmaktadır. Güneş enerjisini kullanmadığı durumlarda faaliyetlerinin devamı için uydular üzerinde yedek piller bulunmaktadır. Her bir uydunun ömrü yaklaşık 10 yıldır (Nayir, 2007). Kontrol Segmenti YKS uydularını izler, uydular için gerekli olan zaman ve yörünge düzeltme bilgilerini sağlar. YKS kontrol segmenti beş yer istasyonundan oluşmaktadır. Ana kontrol merkezi Colorado'da bulunan Falcon Hava Kuvvetleri Üssüdür. Burada YKS uydularından alınan işaretlerin seviyelerine göre yörünge verileri hesaplanır, yörünge ve zaman düzeltme bilgileri uydulara gönderilir (Nayir, 2007). Herhangi bir zamanda, dünyanın herhangi bir yerinde bulunan bir kullanıcının konumunu belirleyen ve en az 4 uydudan kod-faz varış zamanının ölçülmesi esasına dayanan bir uydu ölçme sistemidir. Uyduların yörünge hareketi 12 saat sürer. Ufuk çizgisi üzerinde erişilebilen maksimum uydu sayısı günün saati ve konuma bağlı olarak 8–12 arasında değişir. 3 boyutlu pozisyon elde edebilmek için en az 4 adet uydudan yayınlanan sinyalin işlenmesi gerekir. Normal şartlarda yani çevrede YKS sinyallerini engelleyecek fiziksel engel yok ise en az 6–8 arası sayıda uydu ile iletişim kurulur (Karatay, 2010). Şekil 4.3'te Yerküresel Konumlama Sistemi'nin Uydu segmenti, Kontrol segmenti ve Kullanıcı segmenti gösterilmiştir.

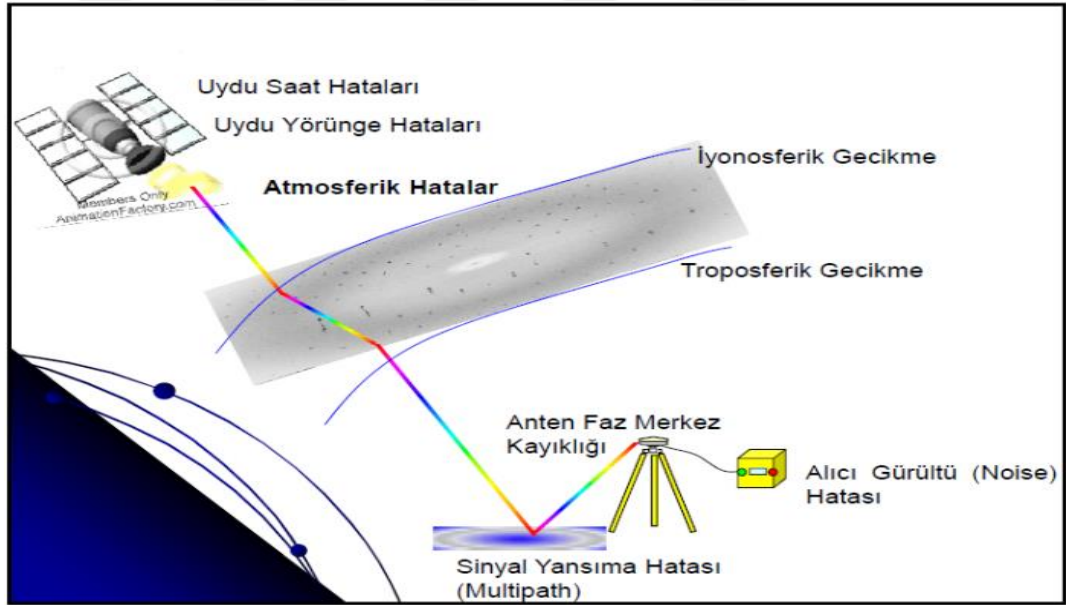


Şekil 4.3. Yerküresel Konumlama Sistemi'nin Uydu segmenti, Kontrol segmenti ve kullanıcı segmenti.

Uyduların her biri, L1 ve L2 olmak üzere iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Sivil YKS alıcıları L1 frekansını (UHF bandında 1575.42 Mhz), ABD Savunma bölümü alıcıları L2 (1227.60 Mhz) frekansını dinlemektedirler. Bu sinyal *Görüş Hattında* (Line of Sight) ilerler. Yani bulutlardan, camdan ve plastikten geçebilir ancak duvar ve dağ gibi katı cisimlerden geçemez. YKS sinyalleri binalardan yansıdığı için şehir içlerinde araziye oranla hassasiyeti azalır. Yeraltına kazılan tünellerde ise sinyal elde edilemez. Hatalı sinyallerin elde edilebileceği ya da hiç sinyal elde edilemeyen bölgelerde kullanılmak üzere geliştirilen Diferansiyel YKS'ler tarafından bu hatalar en aza indirilerek daha hassas bir yer ölçümü yapılabilir. Daha rahat anlaşılması için, bildiğimiz radyo istasyonu sinyalleri ile L1 frekansını kıyaslamak istersek; FM radyo istasyonları 88 ile 108 Mhz arasında yayın yaparlar, L1 ise 1575.42 Mhz'i kullanır. Ayrıca YKS'in uydu sinyalleri çok düşük güçtedirler. FM radyo sinyalleri 100.000 Watt gücünde iken L1 sinyali 20-50 Watt arasındadır. Bu yüzden YKS uydularından temiz sinyal alabilmek için açık bir görüş alanı gereklidir (URL-13).

Her uydu yerdeki alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel pseudo-random (şifrelenmiş rastgele kod) kodu yayınlar. Bunlar Korunmalı (Protected P code) kod ve Coarse/Acquisition (C/A code) kodudur. P kodu karıştırılarak sivil izinsiz

kullanımı engellenir, bu olaya *Anti-Spoofing* adı verilir. P koduna verilen başka bir isimde P(Y) ya da sadece Y kodudur. Bu sinyallerin ana amacı yerdeki alıcının, sinyalin geliş süresini ölçerek, uyduya olan mesafesini hesaplamayı mümkün kılmasıdır. Uyduya olan mesafe, sinyalin geliş süresi ile hızının çarpımına eşittir. Sinyallerin kabul edilen hızı ışık hızıdır. Gelen bu sinyal, uydunun yörünge bilgileri ve saat bilgisi, genel sistem durum bilgisi ve iyonküresel gecikme bilgisini içerir. Uydu sinyalleri çok güvenilir atom saatleri kullanılarak zamanlanır. Yer'in yüzeyinden itibaren yaklaşık 50 km kalınlığındaki tabakayı Troposfer, buradan itibaren yaklaşık 950 km kalınlığındaki tabakayı ise iyonküre olarak kabul ediyoruz. Uydu sinyalleri alıcıya ulaşmaya kadar bu tabakalarda bir yol izlemektedir (URL-13). Bu tabakalarda karşılaştığı dirençten dolayı bir gecikmeye uğrar. Şekil 4.4'te, YKS sinyallerinin gecikme uğramasının nedenleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. YKS gözlemlerine etki eden hata kaynakları.

Askeri uygulama alanında YKS, seyir (cruise) füzelerinde (kıtalar arası füzelerde) ve hassas güdümlü füzelerde kullanılmaktadır. Balistik füzelerde de fırlatma pozisyonunun daha doğru olarak hesaplanması için kullanılmaktadır. Ayrıca Amerikan Nükleer Patlama Gözleme Sisteminin büyük bir parçası olarak YKS uyduları nükleer patlama detektörleri içerir. Türk Silahlı Kuvvetleri'nin de izlediği savunma politikasına paralel olarak birçok alanda YKS uygulamalarından yararlanmaktadır. Örnek olarak komando birlikleri intikal, travers, arazide yön bulma

gibi birçok alanda YKS'den faydalanmaktadır. Sivil YKS alıcılarına füze yapma amaçlı kullanılmamaları için 18 km yükseklik ve 450km/s hız gibi limitler getirilmiştir (URL-13).

Araştırma alanında ise en pahalı YKS alıcıları haritacılar tarafından sınırların, yapıların, harita işaretlerinin konum tespiti ve yol yapım çalışmaları için kullanılmaktadır. Görme engelliler için 1980'lerin sonlarına doğru uygulamaya giren YKS ile birlikte MoBIC, Drishti, Brunel Navigation System for the Blind, NOPPA, BrailleNote YKS ve Trekker isimli projeler yürütülmeye başlamıştır. Havacılıkta da YKS, uçaklarda da diğer yön bulma aygıtlarına ek olarak kullanılmaktadır. Bazı firmalar yolcuların el tipi YKS alıcılarını kullanmalarına izin vermemektedir. Bunların dışında, birçok senkronizasyon sistemi referans saat kaynağı olarak YKS'yi kullanılmaktadır. YKS sistemi UTC (Universal Time Coordinated) ve GMT'den (Greenwich Mean Time) farklı olarak kendi uyduları üzerindeki atomik saatleri kullanılmaktadır. Bunlar 6 Haziran 1980'de sıfırlanmışlar ve artık saniyeleri düzeltmesi yapılmadığı için UTC'den 14 saniye ileridedirler. Bu nedenle periyodik olarak YKS alıcılarına UTC saat bilgisi gönderilir (URL-13).

5. LİTERATÜR ÖZETİ

İyonkürenin karakteristiğini belirlemede ve geliştirmede, HF iletişimi, uydu haberleşmesi, navigasyon ve yönlendirme sistemleri, Yer alçak yörüngesi (LEO) uydu sistemleri, uzay gemisi tırmanışı ve atmosfere girişi ve uzay havası çalışmaları önemli bir yere sahiptir. Bu anlamda, IONOLAB grubunun (www.ionolab.org) yaptığı çalışmalar, Türkiye iyonküresini karakterize etmede önemli bir rol oynamaktadır. IONOLAB grubu Türkiye üzerindeki iyonküreyi karakterize ederken ve uzay havası çalışmalarında, Harita Genel Komutanlığı'nın Türkiye üzerinde konumlandırılmış TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı) ağındaki 147 YKS istasyonunu, TÜBİTAK tarafından desteklenmiş ulusal projeler çerçevesinde kullanmıştır. Bu istasyonlar Mayıs 2009 itibariyle işlevsellik kazanmıştır. IONOLAB grubu şu anda uzay-zaman interpolasyonu için yeni teknikleri ve TÜBİTAK projeleri ile TEİ'nin otomatik olarak haritalanması çalışmalarını yürütmektedir. Jeodezik sistemlerde de iyonküresel gecikmenin düzeltilmesi için bölgesel stokastik modellerin geliştirilmesi ve iletişim bağlantısı karakterizasyonu için bilimsel bir temel oluşturulması büyük önem taşımaktadır. IONOLAB grubu uzay havanın izlenmesi ve TUSAGA-Aktif ağını kullanarak iyonküreye bağlı jeodezik konumlandırma hatalarının düzeltilmesi çalışmalarını da yürütmektedir. Bununla birlikte IONOLAB grubu, TEİ kullanarak deprem öncülü çalışmalarında deprem alarm sinyali üretmek için bir model geliştirmeye çalışmaktadır (www.ionolab.org).

Hernández-Pajares vd. (2006) çalışmasında, 20 dakikadan daha kısa sürelerdeki OÖKİB karakteristik, (oluşumu, hızı, dikey yayılımı) gibi özelliklerinin tahmin edilmesi için basit bir teknik sunulmuş ve bu tekniğin bir güneş döngüsü ve Kuzey ve Güney Yarımküre'deki dört yerel ağdan elde edilen bir set YKS verisi üzerinde zamansal ve uzaysal bir uygulaması sunulmuştur. Bu çalışmada sunulan başlıca sonuçlardan bazıları, güneş terminatörüne bağlı olarak yerel yaz ve kış aylarında gündüz vakti meydana gelen ve güneş döngüsü tarafından modüle edilen OÖKİB'dir. Bu tür OÖKİB'in, ekvator yönünde saniyede 100 ile 400 m arasında; batı yönünde ise saniyede 50 ile 200 m arasındaki hızlara sahip olduğu bulunmuştur. Bu hızlara bağlı periyotlar da Brunt-Väisälä frekansı (yaklaşık 600 s) ile ilişkili olan nötr atmosfer kaldırma frekansı ile verilen teorik tahmin ile uyumludur. Ancak, daha yüksek KİB

verimliliğinin esas olarak aşağı doğru dikey yayılma ile ilişkili olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, hassas uydu navigasyonu gibi uygulamalardaki etkisini azaltmak için OÖKİB modellerinin geliştirilmesi olasılığını ortaya koymuştur.

Ding vd. (2007) çalışmasında, 29-30 Ekim 2003 tarihlerinde gözlenen büyük jeomanyetik fırtınanın YKS TEİ üzerinde yarattığı BÖKİB incelenmiştir. Amerika YKS ağından ve Uluslararası GNSS (Global Navigation Satellite System) servisinden sağlanan TEİ verileri kullanılarak Kuzey Amerika üzerinde iki boyutlu toplam TEİ tedirginlik haritaları oluşturulmuştur. Bu BÖKİB'in faz cephelerinin Amerika Birleşik Devletleri üzerinden geçtiği ve ~ 4000 km'lik maksimum ön genişlikle ve 2 saatten daha az bir süre ile güneybatıya doğru ~ 2000 km mesafeye ilerlediği gözlenmiştir. Bu çalışmada gözlenen süper-fırtına sırasında BÖKİB'in yerküresel yayılma özelliklerini elde etmek için çapraz spektral analiz de yapılmıştır. Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya'nın tamamında gözlenen bu ekvator yönündeki BÖKİB'in auroral alt fırtınalarla yüksek ilintili olduğu bulunmuştur.

Wang vd. (2007) çalışmasında yine Ekim 2003'de meydana gelen fırtınalar sırasında dünya çapındaki YKS ağı kullanılarak KİB görüntülenmiştir. Görüntüleme için Asya-Avustralya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da konumlandırılmış YKS ağlarından elde edilen TEİ verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada GNSS web sitesindeki 900'den fazla YKS istasyonundan en kapsamlı TEİ verisi kümesini toplanmış ve burada KİB parametrelerini elde etmek için polinom uydurma ve çok kanallı maksimum entropi spektral analizini bir araya getiren bir yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenebilir: (1) Manyetik fırtınanın ani başlangıcından sonra her bölgede BÖKİB ve OÖKİB tespit edilmiş ve özellikleri enleme ve boylama bağlı olarak gösterilmiştir. KİB süresi, en fazla 16 saat ile yüksek enlemlerde gözlenmiş ve bu enlemlerdeki sürenin orta enlemlere göre daha uzun olduğu saptanmıştır. BÖKİB'in TEİ genliğinin, Kuzey Amerika'da diğer iki bölgeden daha büyük olduğu bulunmuştur. Alt enlemlerde, iyonküresel tedirginliklerin daha karmaşık ve süreleri ile genliklerinin nispeten uzun ve daha büyük olduğu gözlenmiştir. (2) Bu üç bölgede KİB periyotları ve faz hızları farklıdır. Avrupa'da, KİB güneye doğru yayılmıştır. Kuzey Amerika ve Asya'da KİB güneybatıya doğru yayılmıştır. Ekvatora yakın bölgelerde, 210 derecelik azimut ile yayılan bozulmalar, Coriolis kuvvetinin etkisinde yayılmıştır. Güney Yarımküre'de, ise BÖKİB eşzamanlı olarak kuzeybatıya doğru yayılmıştır.

Güneybatı ve kuzeydoğuya doğru yayılan BÖKİB ekvator bölgesinde bulunmuştur. Bu sonuçlar, Coriolis etkisinin BÖKİB'in dalga yayılımı için göz ardı edilemeyeceğini ve yayılma yönünün polar manyetik aktivite ile ilintili olduğunu göstermiştir.

Tsugawa vd. (2007) çalışmasında Gece ve gündüz saatlerindeki OÖKİB, birden fazla YKS alıcı ağı kullanılarak Kuzey Amerika üzerinden yoğun ve geniş kapsamlı TEİ haritaları ile incelenmiştir. TEİ haritaları 60°B ile 130°B boylamları ve 24°K-54°K enlemleri arasındaki geniş bir alanı kaplamaktadır. TEİ haritaları ilk kez, gece saatlerindeki OÖKİB'in Kuzey Amerika üzerinden 200-500 km dalga boyu Kuzey Amerika üzerinde güneybatıya doğru yayıldığını ve 2.000 km'den uzun dalga cephesine sahip olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, 300 ile 1000 km dalga uzunluğuna sahip gündüz vakti OÖKİB'in öğleden sonraki saatlerde güneydoğu yönünde; akşama doğru da güneybatı yönünde yayıldığı gözlenmiştir. Öğleden sonraki saatlerden akşam saatlerine doğru ise bu farklı yönde yayılan OÖKİB üst üste binmektedir. Bu çalışmada, TEİ haritalarının, OÖKİB'i araştırmak için yeni ve güçlü bir araç olabileceği ortaya konmuştur.

Federenco vd. (2013)'de, güneş aktivitesinin, KİB'in etki alanını arttırdığını doğrulamak için bir çalışma yapılmıştır. Bunun için de çok ölçekli yarı deneysel bir model geliştirilmiştir. Model şu varsayımlara dayanmaktadır: (1) KİB, Akustik Yerçekimi Dalgaları (AGW-Acoustik Gravity Waves') tarafından üretilir ve basınç dalgaları olarak çoğalırlar. (2) Bir bozulma kaynağındaki atmosferik basınç titreşimlerinin birbirine çok yakın uç noktaları (maksimum ve minimum noktalar) arasındaki zaman aralıkları sabittir. (3) Basınç uç noktaları, kaynağı sabit bir yatay hızla 14 000 km'ye kadar yayılır. (4) Her bir uç değerin hızı, sadece bir TID eğitimindeki sayısı ile belirlenir. Çalışmada geliştirilen model, yaklaşık 20 yüzey ve yüksek rakım nükleer patlamalar, iki yanardağ patlaması, bir deprem ve kuzey yarım kürenin manyetosferik birleşme noktası içindeki enerjik proton tetiklemesi olayları ile meydana gelen bozulmalardaki literatürde kullanılmış verileri kullanarak doğrulanmıştır. Literatür verilerinin kullanıldığı model testleri, uzamsal ve zamansal KİB sürelerinin % 12'lik bir doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermiştir. Modelin yeterliliği, trans-iyonküresel sondaj kullanılarak toplanan gözlemlerle de doğrulanmıştır. Akustik Yerçekimi Dalgaları (AYD) ve uyarma kaynağı arasındaki mesafe arttıkça genlik, yatay uzamsal periyotlar ve dikey düzlemde bir KİB ön eğim

açısı gibi bazı parametreler de artmıştır. KİB olaylarının ilgili döneme ait toplam gözlem sayısına oranı olarak tanımlanan KİB oluşumunun günlük ve mevsimsel değişkenliği gözlenememiştir. Bununla birlikte, KİB oluşumunun, 1987'de % 50'den 2010'da % 98'e arttığı tespit edilmiştir. TID oluşumunun güneş lekeleri sayısına bağlı olmadığını ve manyetik aktivitenin doğrulandığını ileri süren diğer çalışmaların sonuçları bu çalışmada da saptanmıştır. KİB oluşumunun, güneş lekeleri sayıları ile ilişkili olmayan artan güneş aktivitesini gösteren 1987'den 2010'a kadar geçen süre içinde iki katına çıktığı gözlenmiştir. Bu çalışmada, uzamsal yatay dönemlerin dinamikleri 150-35000 km aralığında incelenmiştir.

IONOLAB grubunun 10 yılı aşkın süredir yürüttüğü iyonküreyi uzaktan algılama ve 2-b görüntüleme çalışmalarında, TÜBİTAK EEEAG 105E171 ve 109E055 projeleriyle, çift frekanslı YKS'nin sözde menzil ve faz gecikmesi kullanılarak yeni bir Toplam Elektron İçeriği (TEİ) tahmin yöntemi olan IONOLAB-TEC geliştirilmiştir. IONOLAB-TEC hesaplaması, www.ionolab.org adresinden önemli ve benzersiz bir şekilde elde edilebilmektedir. Uzay Havası servisi, sağlam, güvenilir ve tek istasyonlu TEİ değerlerini kestirebilmektedir. YKS-TEİ'nin uzay ve zamandaki seyrek tahminleri, bölgesel ve küresel olarak interpolate edilmektedir ve TUSAGA-Aktif IONOLAB-TEİ değerleri, uzay-zaman interpolasyon yöntemleri kullanılarak haritalanmaktadır. İyonküresel iklim model olan IRI-Plas, literatürde ilk kez hızlı ve sağlam elektron yoğunluk dağılımları için bir arka plan olarak kullanılmaktadır. Küresel ve bölgesel dağılımları elde etmek için kullanılan kritik iyonküresel parametreler interpolate edilmektedir. Kritik frekans ve yükseklik haritaları www.ionolab.org adresinde başka bir Uzay Havası Servisi olarak hizmet vermektedir (Arikan vd., 2014).

Efendi ve Arikan (2017) çalışmasında iyonküresel bozulmaların otomatik tespiti için TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT-Differential Rate Of TEC) isminde hızlı bir algoritma geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan algorithmada, ETEİ verisindeki değişkenlik otomatik olarak saptanması sağlanmıştır. Geliştirilen yöntem, TEİ Oranı (ROT-Rate Of TEC) yöntemine dayanmaktadır. ROT yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır ve genellikle haritalama fonksiyonu kullanılarak iyonküreyi delme noktasındaki (IPP-Ionospheric Pierce Point) ışın yolu boyunca ETEİ'nin düşey doğrultudaki izdüşümüne karşılık gelen DTEİ verilerine uygulanmıştır. Bu çalışmada

geliştirilen DROT yöntemi, ROT ve onun temel bant trendi arasındaki normalize edilmiş (düzgelenmiş) metrik norm olarak tanımlanabilir. DROT'un performansı da önce, bozulmaların genlik, frekans ve süresi üzerindeki değişken sınırlarla kullanılarak sentetik veri üzerinde test edilmiştir. Buna göre DROT yönteminin bozulmaları üç kategori içinde tespit ettiği gözlenmiştir: % 50'den az olan DROT değerleri için STEC verisinde önemli bir bozulma yoktur. %50 ve %70 arasında değişen DROT değerleri için OÖKİB gözlenebilmektedir. %70'den büyük olan DROT değerleri için de BÖKİB gibi çeşitli bozulmalar gözlenebilmektedir. Bu çalışmada DROT yönteminin, dalga benzeri salınımların genliğine oldukça duyarlı olduğu ortaya konmuştur. Genliği 1.01 TECU kadar olan bir bozulma için, 20 dakikaya eşit veya daha uzun süreleri olan ve 1.095 mHz'den daha yüksek frekanslara sahip olan bozulmalar, DROT'un %50 değeri ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir. Benzer şekilde, 0.511 mHz'den yüksek frekanslar ve 55 dakikadan uzun sürelerdeki bozulmalar da %50 DROT değerleri ile otomatik olarak tespit edilebilir. DROT yöntemi, jeomanyetik olarak bozulmalı günlerde orta enlemlerden kaydedilen ETEİ verilerine uygulandığında ise yöntemin, istasyonlardan alınan YKS verilerinin 15 dakikalık aralıklarla yüklenmesine rağmen, bozulmaları neredeyse gerçek zamanlı olarak tespit edebildiği gözlenmiştir.

Arıkan ve Yarıçı (2017) çalışmasında dalga benzeri salınımların TEİ üzerinde yarattığı bozulmaların frekans ve süresi kestirilmiştir. Bu salınımların spektral analizi yapılırken IONOLAB gurubu tarafından geliştirilen özel bir Hızı Fourier Dönüşümü (I-FFT) kullanılmıştır. I-FFT yöntemi, salınımın olduğu dönemlerde ETEİ verileri üzerine uygulanıp, salınımların ortaya çıktığı zaman aralıklarında ETEİ üzerinde meydana getirdiği bozulmanın ne kadar sürdüğü ve frekansının ne olduğu hesaplanmıştır. I-FFT, ilk olarak bilinen frekanslara ve sürelerle sahip sentetik salınımlar kullanılarak geliştirilmiştir. Daha sonra, I-FFT, orta ve büyük ölçekli KİB'in frekans ve sürelerinin tespiti için bazı orta enlemlerde konumlanmış GPS istasyonlarından alınan ETEİ verilerine uygulanmıştır. I-FFT'nin şu durumlarda %80'den fazla hassasiyetle KİB'i tahmin edebileceği gözlenmiştir: 0.6 mHz'den 2.4 mHz'e kadar olan frekanslar ve 10 dakikadan uzun süreler; 0.15 mHz ila 0.6 mHz arasındaki frekanslar ve 50 dakikadan uzun süreler; 0.29 mHz'den yüksek frekanslar ve 50 dakikadan uzun süreler.

6. IONOLAB HIZLI FOURIER DÖNÜŞÜMÜ (I-FFT) YÖNTEMİ

Yeryüzündeki bir YKS alıcısına göre yerel zenith yönünde hesaplanan toplam serbest elektron miktarına Dikey Toplam Elektron İçeriği (DTEİ) denir. Toplam örnek sayısı N , örnekleme numarası n ve matris devriği T olmak üzere bir u alıcısının d . günü için DTEİ vektörü Eşitlik (6.1)'deki gibi ifade edilebilir:

$$\mathbf{x}_{u,d} = [x_{u,d}(1) \dots \dots x_{u,d}(n) \dots \dots x_{u,d}(N)]^T \quad (6.1)$$

Burada $1 \leq n \leq N$ 'dir. DTEİ verisindeki küçük ölçekli yüksek frekanslı salınımları veya ani kesintileri düzeltmek için veriye T_{f1} uzunluğunda bir medyan filtre uygulanır:

$$\mathbf{a}_{u,d} = \text{medfilt}(\mathbf{x}_{u,d}, T_{f1}) \quad (6.2)$$

DTEİ vektörünün yönsemesini (trend) bulmak için T_{f2} uzunluğunda ikinci bir medyan filtre uygulanır:

$$\hat{\mathbf{Y}}_{u,d} = \text{medfilt}(\mathbf{a}_{u,d}, T_{f2}) \quad (6.3)$$

Eşitlik (6.1) ve (6.3) kullanılarak $\mathbf{D}_{u,d}$ fark vektörü aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\mathbf{D}_{f_{u,d}} = \mathbf{x}_{u,d} - \hat{\mathbf{Y}}_{u,d} \quad (6.4)$$

Eşitlik (6.4) ile ifade edilen fark vektörünün türevi, Eşitlik (6.5)'teki gibi hesaplanır:

$$D_{u,d}(n) = D_{f_{u,d}}(n+1) - D_{f_{u,d}}(n) \quad (6.5)$$

Bozulmaların başlıca salınım sürelerini kestirmek için fark vektörünün düzgünleştirilmiş türevi kullanılır. Birinci adımda, $D_{u,d}(n)$ fark vektörünün mutlak değerinin en büyük değeri elde edilir. İkinci adımda, bu en büyük değerin% 10'u eşik olarak kabul edilir. $D_{u,d}(n)$ 'nin büyüklükleri kontrol edilir ve eşik üzerindeki ilk değerin indisi ana eşiğin başlangıç noktası olarak kullanılır. Daha sonra, sürenin kestirim vektörü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\mathbf{D}_{p_{u,d}} = [D_{p_{u,d}}(1) \dots D_{p_{u,d}}(n_p) \dots D_{p_{u,d}}(N_p)]^T \quad (6.6)$$

Burada $1 \leq np \leq Np$ 'dir. Np ile temsil edilen, büyüklüğü maksimum mutlak genliğin% 1'i içinde olan $D_{u;d}$ türev vektörünün sahip süresidir. Denklem (6.5)'te verilen türev vektörünün gürültü benzeri davranışını azaltmak için, $D_{u;d}$ 'ye pencere uzunluğu 3 olan kayan pencere medyan filtresi Eşitlik (6.7)'deki gibi uygulanır:

$$\mathbf{D}_{t_{u;d}} = \text{medfilt}(\mathbf{D}_{p_{u;d}}, 3) \quad (6.7)$$

Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD), $\mathbf{D}_{t_{u;d}}$ vektörüne uygulandığında Eşitlik (6.8) ve (6.9) elde edilir:

$$\mathbf{F}_{u;d} = \text{fft}(\mathbf{D}_{t_{u;d}}) \quad (6.8)$$

$$\mathbf{F}_{u;d} = \left[F_{u;d} \left(\frac{1}{N_{u;d}} \right) \dots F_{u;d} \left(\frac{n_f}{N_{u;d}} \right) \dots F_{u;d} \left(\frac{N_f}{N_{u;d}} \right) \right]^T \quad (6.9)$$

Burada N_f and n_f , frekans bölgesindeki veri uzunluğunu ve örnek numarasını temsil etmektedir ($1 \leq n_f \leq N_f$). AFD'nin numerik uygulaması Hızlı Fourier Dönüşümü-HFD (Fast Fourier Transform-FFT) olarak adlandırılır. Bu aşamada algoritma,, frekans bileşenlerini elde etmek için n_L döngü sayacına bir döngü sunar. İlk olarak, frekans alanındaki verilerin en büyük genlik bileşeni, $n_L = 1$ için aşağıdaki gibi elde edilir:

$$a_{u;d}(1) = \max(|\mathbf{F}_{u;d}|) \quad (6.10)$$

En büyük genlik ile ilişkili dönüm noktası bulunarak ana kulakçık kestirilir. Kestirilmiş ana kulakçık Eşitlik (6.11) ile ifade edilebilir:

$$\mathbf{S}_{u;d}(1) = \left[|S_{u;d}(1)| e^{-j\Phi_1} \dots |S_{u;d}(n_s)| e^{-j\Phi_{n_s}} \dots |S_{u;d}(N_s)| e^{-j\Phi_{N_s}} \right]^T \quad (6.11)$$

Burada Φ , ana kulakçığın faz bilgisini; $|S_{u;d}(1)|$, ana kulakçıktaki bileşenlerin büyüklüğünü; N_s ise ana kulakçıktaki toplam örnek sayısını göstermektedir ($1 \leq n_f \leq N_f$). Kestirilen edilen ana kulakçıktaki bileşenler, Eşitlik (6.12)'deki gibi sinüzoidal fonksiyonlar olarak tanımlanabilir:

$$S_{u;d}(n; 1) = \sum_{n_s=1}^{N_s} \left(|S_{u;d}(n_s)| \frac{\cos f(n_s) n}{N} + \Phi(n_s) \right) \quad (6.12)$$

Burada f ile temsil edilen, ana kulakçıktaki frekans bilgisidir. Sinüs fonksiyonlarının toplamı ile düzgelenecek (normalize edilmiş) toplam farkın yüzdesi türev verileriyle Eşitlik (6.13)'teki gibi elde edilir:

$$e_{u,d}(1) = \frac{|D_{u,d} - S_{u,d}(1)|_2}{|D_{u,d}|_2} \times 100 \quad (6.13)$$

Döngünün bu basamağında eğer $e_{u,d}(1) \geq 40$ ise kestirilen ana kulakçık, Denklem (6.8)'de verilen frekans alanındaki spektrumdan çıkarılır. Daha sonra işlem Eşitlik (6.10)'a döner ve döngü devam eder.

$$G_{u,d}(1) = |F_{u,d}| - S_{u,d}(1) \quad (6.14)$$

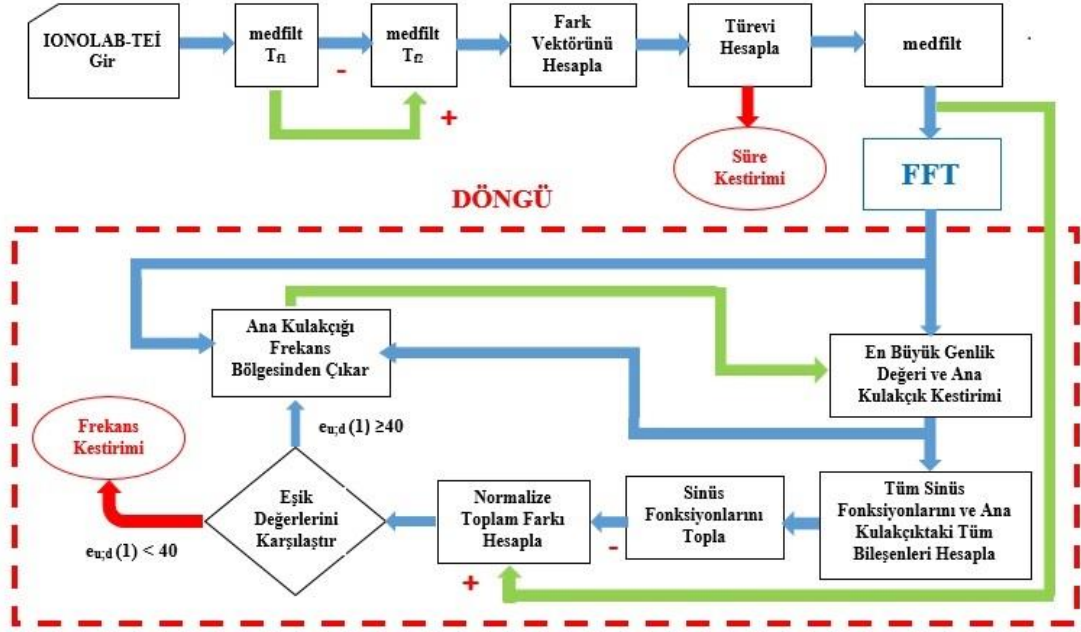
Eğer $e_{u,d}(1) < 40$ ise, döngü sonlanır ve Eşitlik (6.15) elde edilir:

$$f_{u,d} = [f_{u,d}(1) \dots f_{u,d}(n_L) \dots f_{u,d}(N_L)]^T \quad (6.15)$$

Böylelikle, en büyük genliklerle ilişkili frekanslar, Eşitlik (6.15) kullanılarak hesaplanır.

Yukarıda matematiksel eşitliklerle ifade edilen I-FFT algoritması TEİ verilerine şu aşamalarla uygulanır: Girdi için Arikan vd. (2003) ve Arikan vd. (2004)'de detaylı bir şekilde anlatılan Reg-Est (Regularized Estimation of TEC) algoritması ile hesaplanan Dikey Toplam Elektron İçeriği (IONOLAB-TEC) kullanılır. Daha küçük ölçekli, yüksek frekanslı salınımların veya ani bozulmaların düzeltilmesi için, TEİ vektörlerine 5'lik kayan pencere medyan filtresi uygulanır. Yönsenin yapısını kestirmek için 101'lik ikinci bir kayan pencere medyan filtresi uygulanır. Fark vektörü, medyan filtrelenmiş vektörler arasından elde edilir. Sinyalin enerjisini azaltmak için, türev vektör hesaplanır. (p) ana salınımın süresi, $D_{p,u,d}$ vektörü kullanılarak belirlenir. Farklılaşmış verileri düzeltmek için verilere, uzunluğu 3 olan başka bir kayan pencere medyan filtresi uygulanır. Farkın düzeltilmiş türevinin AFD'si Denklem (6.8)'de olduğu gibi hesaplanır. Kestirilen frekans alanındaki spektrumun en büyük genlik değerini hesaplarırken, bu en büyük genlikle ilişkili ana kulakçık kestirilir. Sinüs fonksiyonları, ana kulakçıktaki frekans bileşenleri ile ilişkili sinüs fonksiyonlarının hesaplanmasıyla toplanır. Türev ve toplam sinüs fonksiyonları arasındaki düzgelenecek toplam fark, eşik ile karşılaştırılarak elde edilir. Eğer fark eşik değeri olan % 40'tan

büyükse, ana kulakçık, frekans alanından çıkarılır. Daha sonra döngü, spektrumun en büyük genlik değerinin Eşitlik (6.1) 'de olduğu gibi belirlendiği adımdan tekrar eder. Eğer fark % 40'tan azsa, döngü sonlandırılır ve en büyük genliklerle ilişkili frekanslar hesaplanır. IONOLAB-FFT algoritmasındaki bu adımlar Şekil 6.1'deki blok şemada gösterilmiştir.

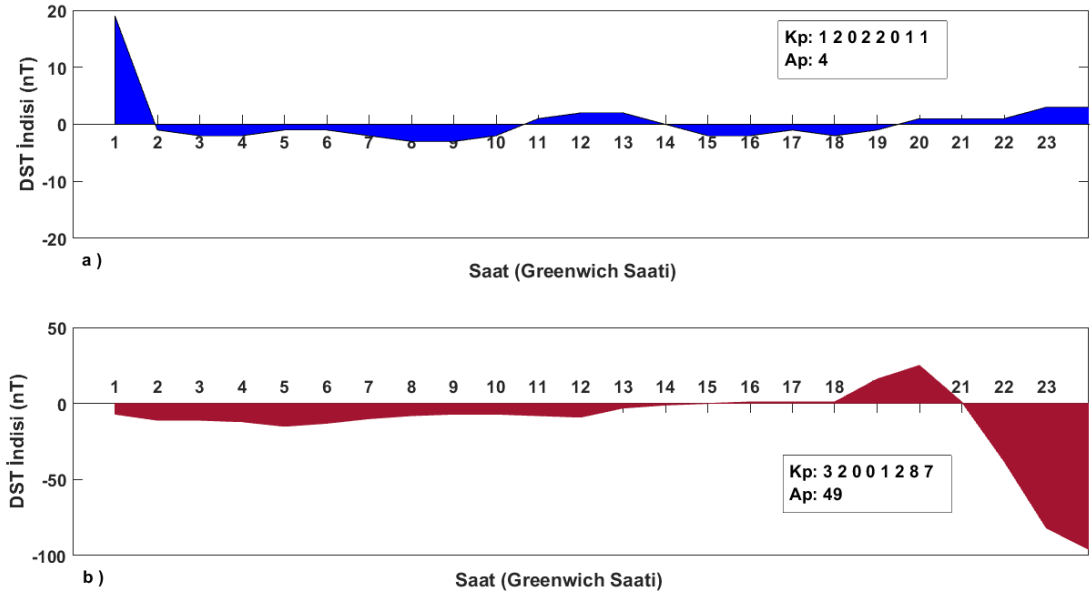


Şekil 6.1. IONOLAB-FFT (I-FFT) blok şeması.

Bir sonraki bölümde, IONOLAB-FFT uygulaması, literatürde özellikle OÖKİB ve BÖKİB olarak tanımlanan iyonküresel bozulmalar için Türkiye çapında konumlandırılmış bölgesel çift frekanslı Sabit Çalışma Referans İstasyonu (CORS) YKS Ağındaki 18 istasyondan elde edilmiş DTEİ verilerine uygulama sonuçlarına yer verilmiştir. 18 TUSAGA-Aktif YKS istasyonundan 2010, 2011 ve 2012 yılları için DTEİ verileri, IONOLAB-TEC algoritmasıyla kestirilmiştir (www.ionolab.org).

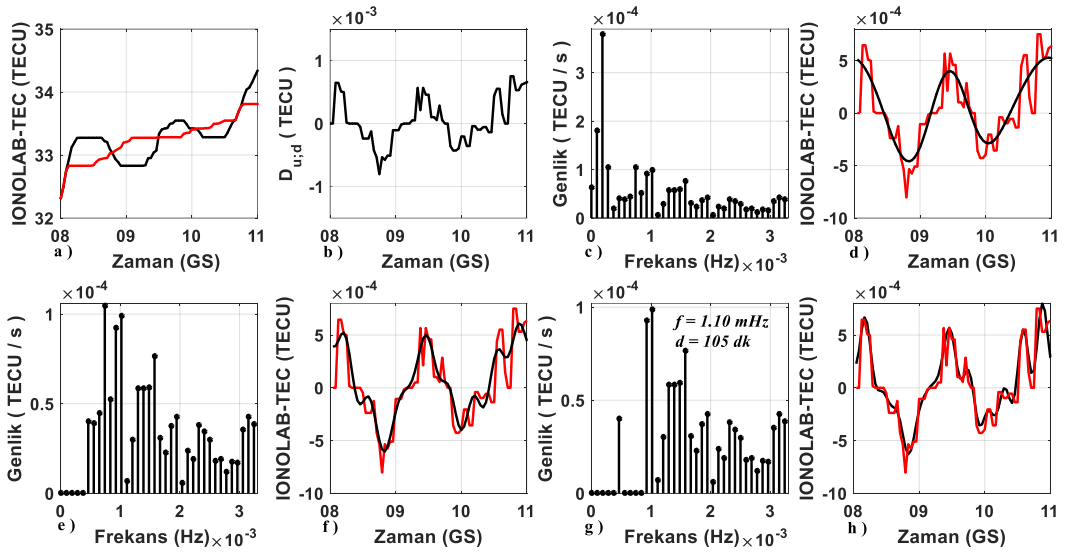
YKS-TEİ verileri, IONOLAB grubu tarafından geliştirilen ve www.ionolab.org adresinden rahatlıkla elde edilebilen, yüksek çözünürlüklü, güvenilir ve gürbüz bir YKS-TEİ kestirim algoritması ile hesaplanmıştır (Arikan vd., 2003; Arikan vd., 2007; Nayir vd., 2007; Arikan vd., 2008; Sezen vd., 2013). Bu çalışmada kullanılan DTEİ verileri, www.ionolab.org adresinde tanımlanan IONOLAB-TEC olarak hesaplanmıştır. IONOLAB-TEC servisi, DTEİ Toplam Elektron İçeriği Kestirim algoritmasını kullanan bir JAVA uygulamasıdır. D-TEİ kestirim için Yerküresel Konumlama Sistemi verilerini kullanır. IONOLAB-TEC, TEİ kestirimlerini grafik olarak ya da 2.5 dakikalık bir zaman çözünürlüğünde Excel dosyası olarak kullanıcıya verebilmektedir. TEİ kestirimleri yalnız sözde menzil ya da sözde menzile dayandırılmış faz verileri ile elde edebilmektedir (www.ionolab.org).

I-FFT metodunun performansını ve Şekil 6.1’de blok şeması verilen algoritmanın uygulama adımlarını gösterebilmek için önce I-FFT metodu, Şekil 7.1’deki haritada yer alan 39.89°N enlemi ve 32.85°D boylamında bulunan anrk istasyonuna uygulanmıştır. Test için jeomanyetik bozulmalı gün olan 05 Ağustos 2011 (d=217) ve jeomanyetik sakin gün olan 19 Kasım 2011 (d=323) günleri seçilmiştir. Bu iki güne ait Dst, Kp ve Ap indisleri, Şekil 7.2’de verilmiştir (URL-14; URL-15).

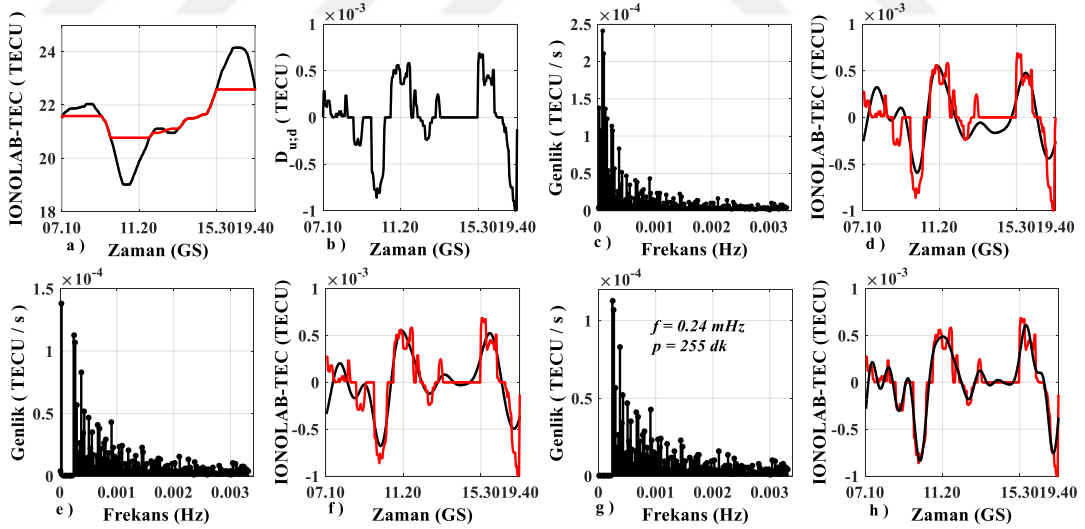


Şekil 7.2. a) 19 Kasım 2011 ve b) 05 Ağustos 2011 günleri için DST, Kp ve Ap indisleri.

Bu iki günde anrk istasyonundan elde edilen ETEİ verilerine I-FFT yönteminin uygulama aşamaları Şekil 7.3'te sakin gün için ve 7.4'te bozulmalı gün için verilmiştir. I-FFT yönteminin ilk basamağında, DTEİ'nin yönsemesini (trend) tespit etmek için kayan pencere ortalama filtresi uygulanmıştır (Şekil 7.3a ve 7.4a). Fark vektörünü elde etmek için ilk medyan filtre geçirilmiş DTEİ'den yönsemesi çıkarılır (Şekil 7.3b ve 7.4b). Fark vektörünün türevi alınarak sinyaldeki gürültüler azaltılmış olunur. Ana salınım süresi bu noktada, fark vektörü kullanılarak elde edilir. Farklılaşmış verileri düzeltmek için verilere, uzunluğu 3 olan başka bir kayan pencere medyan filtresi uygulanır. Kestirilen frekans alanındaki spektrumun en büyük genlik değerini hesaplarken, bu en büyük genlikle ilişkili ana kulakçık kestirilir. Sinüs fonksiyonları, ana kulakçıktaki frekans bileşenleri ile ilişkili sinüs fonksiyonlarının hesaplanmasıyla toplanır. Hızlı Fourier Dönüşümü algoritması olarak uygulanan Hızlı Fourier algoritması uygulanır ve spektrumun en önemli tepe noktaları KİB frekansı olarak işaretlenir. Şekil 7.3g ve 7.4g'de en büyük genliklerle ilişkili frekansların hesaplandığı adım gösterilmiştir. Literatürde orta ölçekli KİBlerin süresi yarım ila bir saat; büyük ölçekli KİBlerin süresi de bir ila üç saat veya daha fazla olarak tanımlanmaktadır. Arikan ve Yarici (2017) çalışmasında, ETEİ verileri üzerine uygulanan I-FFT yönteminin OÖKİB ve BÖKİB frekans ve sürelerini %80 ve daha fazla doğrulukla kestirebildiği bulunmuştur. Bu çalışmaya göre 10 dk ila 50 dk arasındaki frekanslar 0.6 MHz ile 2.4 MHz arasında; 50dk'dan daha uzun sürelerdeki frekanslar da 0.15 MHz ila 0.6 MHz arasında değişmektedir. Şekil 7.3 ve 7.4'te verilen örnekler için aynı yılın sakin gününde frekans 1.1 MHz ve süre 105 dk (1 saat 45 dakika) olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, literatürde tanımlanan OÖKİB süresine, Arikan ve Yarici (2017) çalışmasındaki frekans aralığına karşılık gelmektedir. Yine aynı yılın jeomanyetik olarak bozulmalı olduğu günde 255 dk (4 saat 15 dakika) olarak hesaplanan süre literatürde BÖKİB için tanımlanan süreye karşılık gelmektedir. 05 Ağustos 2011 günü, jeomanyetik aktivitenin oldukça şiddetli olduğu bir gündür. Bu günde anrk istasyonunda bir BÖKİB gözlenmiştir. Kestirilen 0.24 MHz frekans değeri de, Arikan ve Yarici (2017) çalışmasında bulunan 50 dk'dan daha uzun sürelerde gözlenen frekans aralığı içinde kalmaktadır. Yöntemin performansı bir istasyonun aynı yılının iki farklı günü için test edilmiş ve I-FFT yönteminin OÖKİB ve BÖKİB frekans ve süresini kestirmede oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

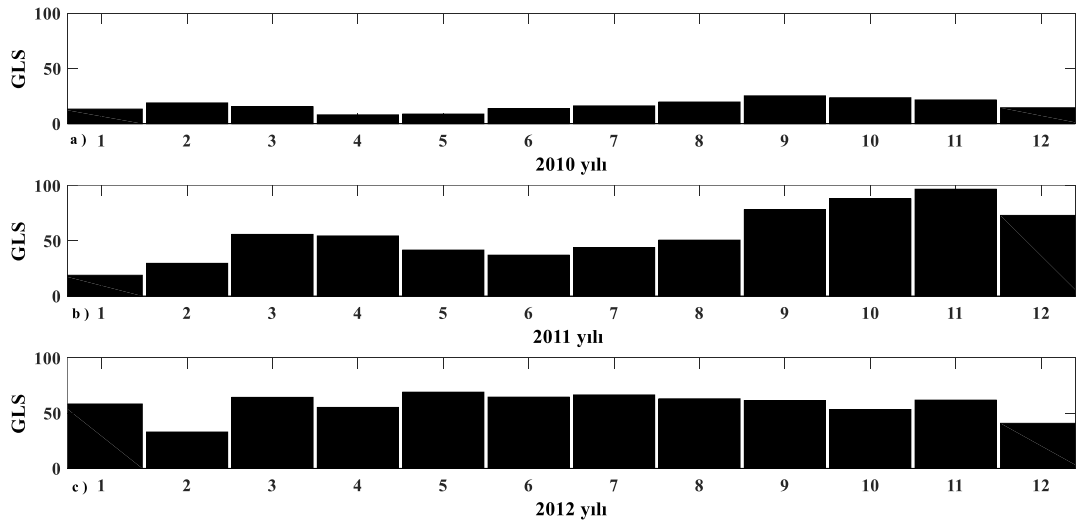


Şekil 7.3. 19 Kasım 2011 günü GS 08.00-11.00 saatleri arasında anrk istasyonundan elde edilen DTEİ verilerine I-FFT uygulaması: a) 5'lik (siyah) ve 101'lik (kırmızı) uygulanmış DTEİ; b) $D_{p_{u,d}}$ fark vektörü; c) frekans alanındaki en büyük genlik bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; d) farkın türevi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı); e) ikinci en büyük frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; f) farkın türevi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı); g) en baskın frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; h) eşik değerinden daha az olan farkın enerjisi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı).



Şekil 7.4. 05 Ağustos 2011 günü GS 07.10-19.40 saatleri arasında anrk istasyonundan elde edilen DTEİ verilerine I-FFT uygulaması: a) 5'lik (siyah) ve 101'lik (kırmızı) uygulanmış DTEİ; b) $D_{p_{u,d}}$ fark vektörü; c) frekans alanındaki en büyük genlik bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; d) farkın türevi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı); e) ikinci en büyük frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; f) farkın türevi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı); g) en baskın frekans bileşeni için $F_{p_{u,d}}$ spektrumu; h) eşik değerinden daha az olan farkın enerjisi (siyah) ve toplanmış sinüs fonksiyonları (kırmızı).

Bu çalışmanın en önemli amacı, Türkiye üzerindeki iyonkürede meydana gelen dalga benzeri salınımların neden olduğu bozulmaların genliği, süresi ve frekansının güneş hareketliliğine bağlı olarak inceleyip yapısını ortaya koymaktır. Bu nedenle, çalışma kapsamında 2010, 2011 ve 2012 olmak üzere üç yıl incelenmiştir. Dünya üzerinde herhangi bir yerde, herhangi bir zamanda meydana gelen güneş ya da jeomanyetik hareketlilik kaynaklı bozulmaların şiddetini ölçebilmek için birçok indis geliştirilmiştir. Bunların en önemlilerinden birisi de, Güneş yüzeyindeki lekelerin ya da grup lekelerinin sayısını ifade eden Güneş Lekesi Sayısı'dır (GLS). GLS, yaklaşık 11-yıllık bir döngü içinde azalır ve artar (Banks ve Kockarts, 1973; Tascione, 1988; Whitten ve Poppoff, 1971). Bu 11-yıllık döngü içinde GLS, maksimum ve minimumların gözlendiği yıllara sahip olur. Bu yıllar "Güneş maksimum" veya "Güneş minimum" yılları olarak adlandırılır. Bu lekelerin en önemli etkisi, jeomanyetik hareketliliği tetiklemesi ve TEİ gibi iyonkürede birçok parametrede önemli ölçülerde anormallikler yaratmasıdır. Çalışmanın amacı için seçilen 2010 yılı, güneş hareketliliğinin az olduğu ve minimum olarak kabul edilen yıldır. GLS is oldukça küçük değerlere sahiptir. 2010'dan 2012 yılına gidildikçe güneş hareketliliği ve buna bağlı olarak GLS de artmıştır. Bu anlamda, 2012 yılı da maksimum olarak kabul edilen yıllardan biri sayılmıştır. Şekil 7.5'te, 2010, 2011 ve 2012 yılları için GLS değişimleri verilmiştir (URL-16).



Şekil 7.5. Güneş Lekesi Sayısının yıllara göre değişimi: a) 2010; b) 2011; c) 2012 (URL-16).

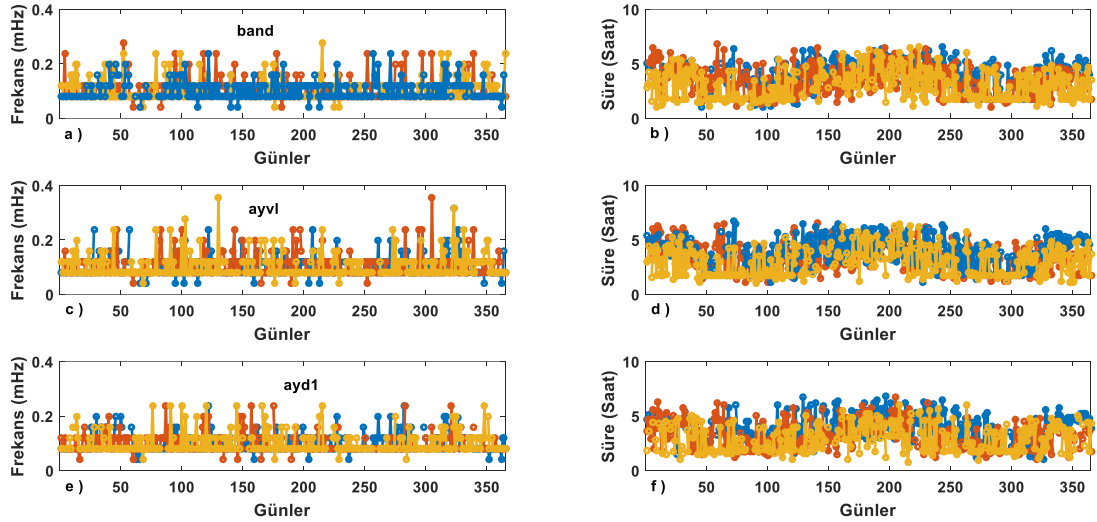
Çalışmada kullanılan ve Şekil 7.1.'de de verilen toplam on sekiz istasyon, üç enlem bölgesi içinde değerlendirildi. Z₁ olarak adlandırılan bölge 40°K ile 42°K enlemleri arasında, Z₂ olarak adlandırılan bölge 38°K ile 40°K enlemleri arasında, Z₃ olarak adlandırılan bölge de 36°K ve 38°K enlemleri arasında yer almaktadır. Çalışmada kullanılan on sekiz istasyonun coğrafik koordinatları ve istasyon kodları, Tablo 7.1.'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Çalışmada kullanılan YKS istasyonlarının kodu ve konumlandığı coğrafik koordinatlar.

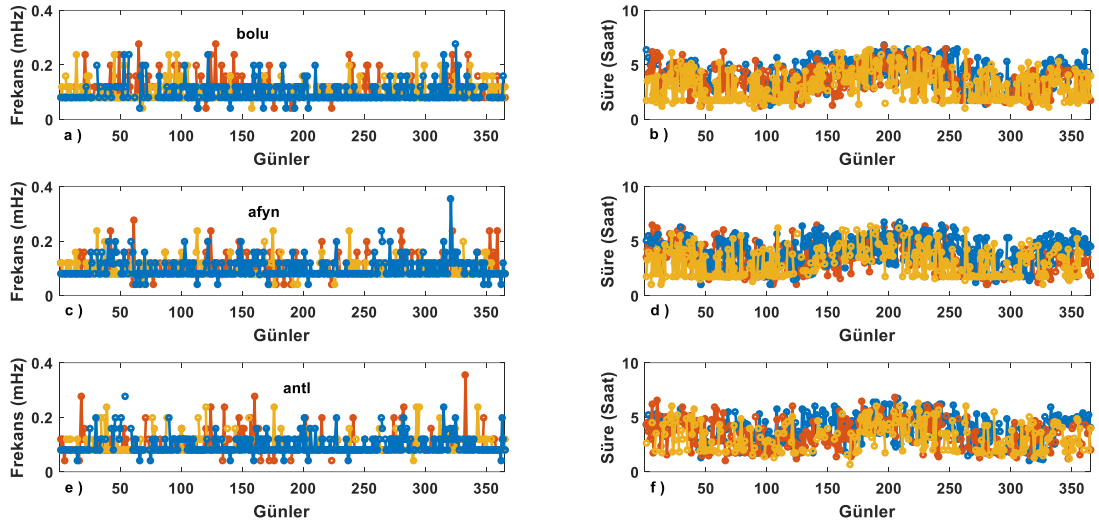
YKS İstasyonu	İstasyon Kodu	Enlem (°K)	Boylam (°D)
Adıyaman	adiy	37.75	38.23
Afyon	afyn	38.74	30.56
Ağrı	agrd	39.72	43.03
Amasya	amas	40.67	35.85
Anamur	anmu	36.07	32.87
Ankara	anrk	39.86	32.85
Gaziantep	ante	37.06	37.37
Antalya	antl	36.89	30.67
Ardahan	ardh	41.11	42.70
Aydın	aydl	37.84	27.84
Ayvalık	ayvl	39.31	26.69
Bandırma	band	40.33	28.00
Bayburt	bayb	40.25	40.19
Bingöl	bing	38.89	40.50
Boğazlıyan	bogz	39.19	35.26
Bolu	bolu	40.73	31.60
Boyabat	boyt	41.46	34.80
Batman	btmn	37.86	41.15

Tablo 7.1.'de yer alan her bir istasyonun 2010-2012 yıllarının her bir günü için önce IONOLAB-TEC algoritması ile DTEİ kestirimleri elde edilmiştir. Her bir istasyonu bu üç yılının her günü için elde edilen DTEİ kestirimlerinin GS (Greenwich Saati) 08.00-15.00 saatleri arasındaki değerlerine I-FFT yöntemi uygulanmış ve on sekiz istasyonun üç yıldaki her günü için GS 08.00-15.00 saatleri arasındaki frekans ve süre kestirilmiştir. Karatay vd. (2017) çalışmasında, Türkiye üzerindeki iyonkürede öğle ve sonrası saatlerde, özellikle kış mevsiminde TEİ dağılımında çökme şeklinde gözlenen bozulmalar tespit edilmiştir. Bu nedenle, Karatay vd. (2017) çalışması referans alınarak bu çalışma için zaman aralıkları GS 08.00-15.00 saatleri arası seçilmiştir. On

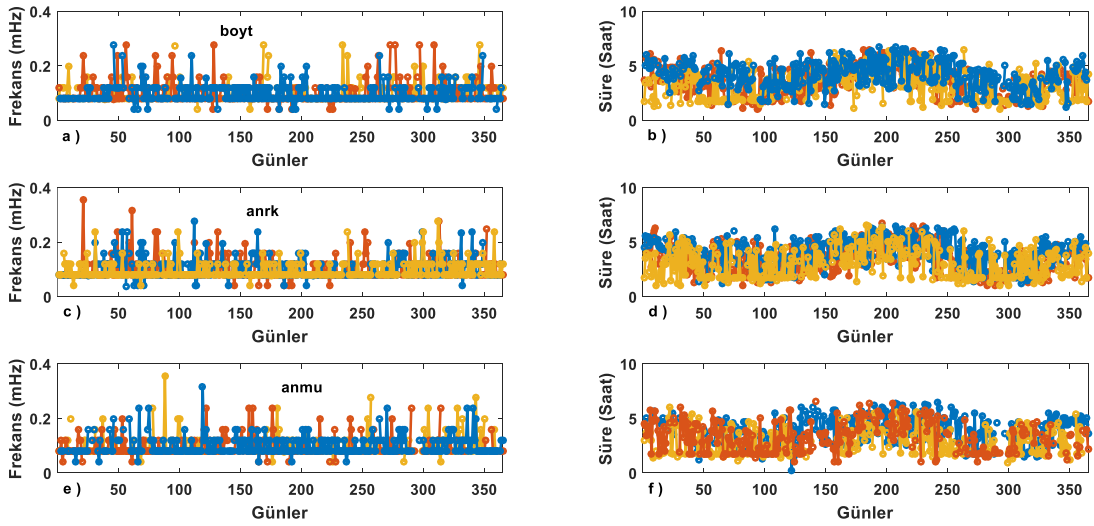
sekiz istasyon Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya doğru incelendiğinde, frekansların Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya doğru azaldığı gözlenmiştir. 42°K ile 40°K enlemleri arasında yer alan altı istasyonun frekanslarının, daha alt enlemlerde yer alan istasyonlar için elde edilen frekanslardan nispeten daha büyük olduğu gözlenmiştir. İyonkürenin enleme bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterdiği bilinmektedir. İyonkürenin enleme bağlı olarak değişim gösterdiği, on sekiz istasyon üzerinden yapılan üç yıllık inceleme analizinde görülmüştür. Bir istasyonun frekans değerinde bir pik gözleendiği zaman, diğer istasyonların da aynı gününde pikler gözlenmiştir. Bu da, Türkiye üzerindeki iyonkürenin güneş ya da manyetik alanı kaynaklı değişimlerden eşit ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Sürelerin üç yıllık değişimlerinin bütün istasyonlar için hemen hemen aynı kaldığı gözlenmiştir. Özellikle 36°K ile 38°K enlemleri arasındaki istasyonlar için en küçük değerlerde frekanslar gözlenmiştir. Güneş hareketliliğinin arttığı 2012 yılına doğru bozulma frekansların küçüldüğü, sürelerin de arttığı gözlenmiştir. Şekil 7.6-7.11'de Kuzey'den Güney'e ve Doğu'dan Batı'ya doğru sıralanmış olarak on sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yılları için frekans ve süre değerleri verilmiştir. Yukarıda sayılan bu sonuçlar bu altı şekilde görülebilmektedir.



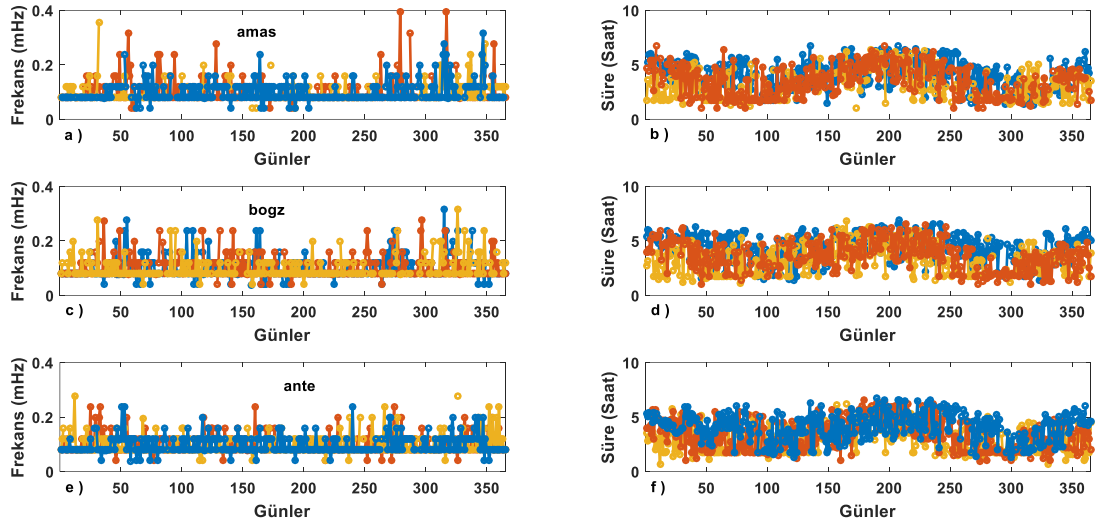
Şekil 7.6. 36°K ile 42°K enlemleri ve 26°D ile 29°D boylamları arasındaki bölgede: a) band istasyonu frekansları; b) band istasyonu süreleri; c) ayl istasyonu frekansları; d) ayl istasyonu süreleri; e) ayd1 istasyonu frekansları; f) ayd1 istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çizgiler 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.



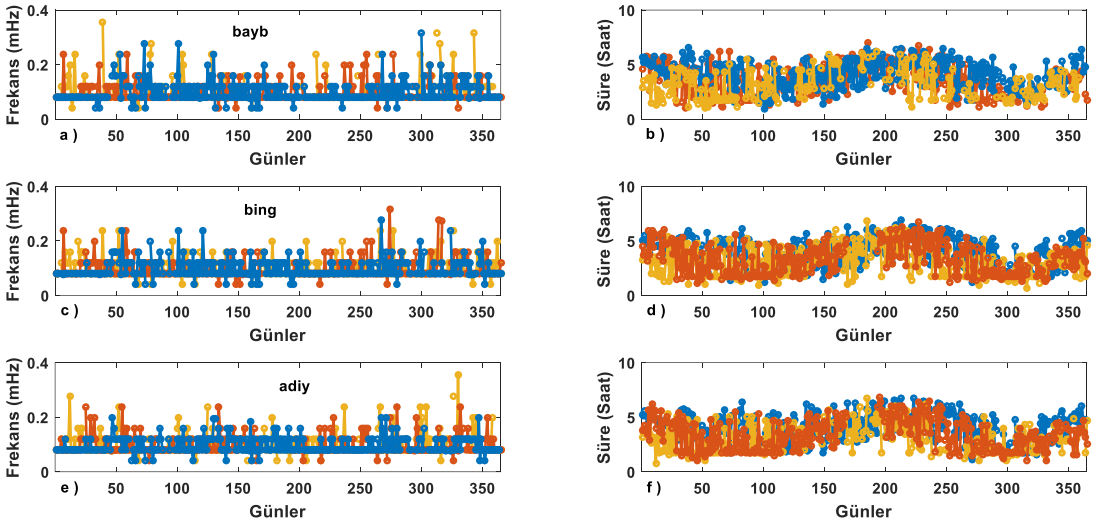
Şekil 7.7. 36°K ile 42°K enlemleri ve 29°D ile 32°D boylamları arasındaki bölgede: a) bolu istasyonu frekansları; b) bolu istasyonu süreleri; c) afyn istasyonu frekansları; d) afyn istasyonu süreleri; e) antl istasyonu frekansları; f) antl istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çizgiler 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.



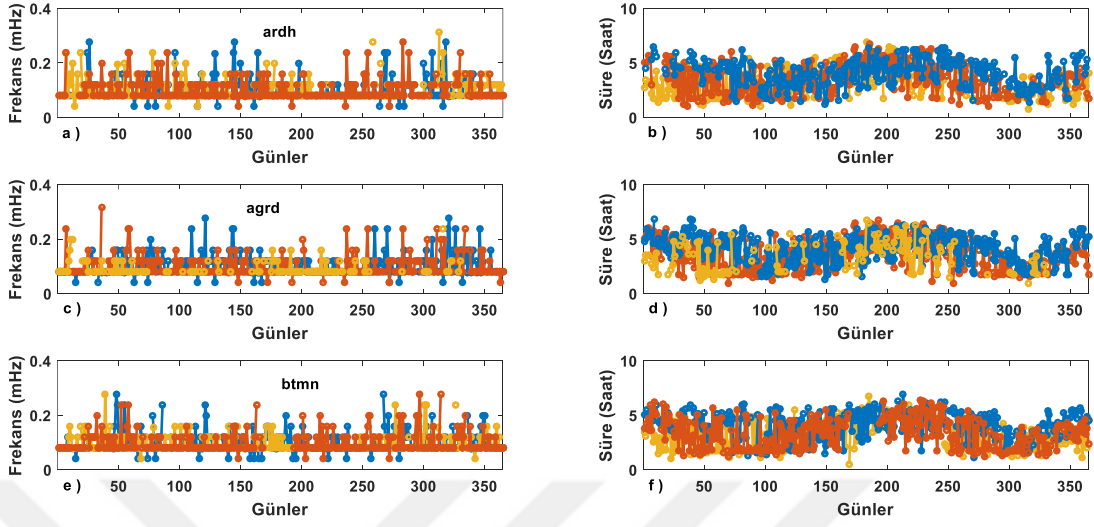
Şekil 7.8. 36°K ile 42°K enlemleri ve 32°D ile 35°D boylamları arasındaki bölgede: a) boyt istasyonu frekansları; b) boyt istasyonu süreleri; c) anrk istasyonu frekansları; d) anrk istasyonu süreleri; e) anmu istasyonu frekansları; f) anmu istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çizgiler 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.



Şekil 7.9. 36°K ile 42°K enlemleri ve 35°D ile 38°D boylamları arasındaki bölgede: a) amas istasyonu frekansları; b) amas istasyonu süreleri; c) bogz istasyonu frekansları; d) bogz istasyonu süreleri; e) ante istasyonu frekansları; f) ante istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çığiler 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.



Şekil 7.10. 36°K ile 42°K enlemleri ve 38°D ile 41°D boylamları arasındaki bölgede: a) bayb istasyonu frekansları; b) bayb istasyonu süreleri; c) bing istasyonu frekansları; d) bing istasyonu süreleri; e) adiy istasyonu frekansları; f) adiy istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çığiler 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.



Şekil 7.11. 36°K ile 42°K enlemleri ve 41°D ile 44°D boylamları arasındaki bölgede: a) ardh istasyonu frekansları; b) ardh istasyonu süreleri; c) agrd istasyonu frekansları; d) agrd istasyonu süreleri; e) btmn istasyonu frekansları; f) btmn istasyonu süreleri. Mavi çizgiler 2010 yılını, kırmızı çığiller 2011 yılını ve sarı çizgiler 2012 yılını göstermektedir.

Tablo 7.2.'de çalışma kapsamında kullanılan on sekiz istasyonun 2010, 2011 ve 2012 yıllarının tüm günleri için elde edilen frekanslarının en büyük, en küçük değerleri ile standart sapmaları verilmiştir. Benzer şekilde, Tablo 7.3'te, bu istasyonların 2010, 2011 ve 2012 yıllarının tüm günleri için elde edilen sürelerinin en büyük, en küçük değerleri ile standart sapmaları verilmiştir. Güneş hareketliliğinin ve GLS'nin az olduğu 2010 yılından GLS'nin çok olduğu 2012 yılına doğru frekansların en büyük ve en küçük değerinin, özellikle de standart sapma değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum, güneş hareketliliğinin iyonkürde yarattığı büyük ölçekli bozulmalardan ziyade, hareketliliğin olmadığı sakin iyonkürde ortaya başka etkenlerle ortaya çıkan bozulmaların daha hassasiyetle gözlenebilmesinin muhtemel sonucudur. Güneş hareketliliğinin az olduğu sakin iyonkürde meydana gelen bozulmalar orta ölçekli bozulma sınıfından çıkarak büyük ölçekli bozulma etkisi göstermektedir. Yani iyonkürde sakin olduğu durumlarda, güneş ya da manyetik alandan başka etkenlere daha büyük tepkiler verebilmektedir. Üç yılın ölçülen sürelerinin karşılaştırmasında, en küçük, en büyük ve standart sapma değerlerinin üç yıl için birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Tablo 7.2. Çalışma kapsamında seçilen istasyonların 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen frekanslarının en küçük değeri, en büyük değeri ve standart sapması.

İstasyon	Frekans (mHz)								
	2010			2011			2012		
	En küçük	En büyük	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Standart Sapma
adiy	0.039	0.19	0.028	0.039	0.23	0.033	0.039	0.35	0.043
afyn	0.035	0.35	0.035	0.039	0.27	0.035	0.039	0.23	0.030
agrđ	0.039	0.27	0.037	0.039	0.317	0.037	0.079	0.23	0.028
amas	0.039	0.31	0.037	0.039	0.39	0.047	0.039	0.35	0.038
anmu	0.039	0.31	0.035	0.039	0.23	0.035	0.039	0.35	0.040
anrk	0.039	0.27	0.037	0.039	0.35	0.040	0.039	0.27	0.032
ante	0.039	0.23	0.032	0.039	0.23	0.033	0.039	0.27	0.036
antl	0.039	0.27	0.033	0.039	0.35	0.039	0.039	0.23	0.037
ardh	0.039	0.27	0.041	0.039	0.27	0.037	0.039	0.31	0.039
ayđ1	0.039	0.23	0.032	0.039	0.23	0.034	0.039	0.23	0.038
ayvl	0.039	0.31	0.037	0.039	0.35	0.040	0.039	0.357	0.042
band	0.039	0.23	0.034	0.039	0.27	0.038	0.039	0.27	0.037
bayb	0.039	0.31	0.038	0.039	0.23	0.034	0.039	0.35	0.052
bing	0.039	0.27	0.033	0.039	0.31	0.035	0.039	0.23	0.035
bogz	0.039	0.31	0.040	0.039	0.27	0.040	0.039	0.317	0.039
bolu	0.039	0.27	0.035	0.039	0.27	0.039	0.039	0.23	0.033
boyt	0.039	0.27	0.033	0.039	0.27	0.041	0.039	0.27	0.036
btmn	0.039	0.27	0.038	0.039	0.27	0.035	0.039	0.27	0.033

Tablo 7.3. Çalışma kapsamında seçilen istasyonların 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen sürelerin en küçük değeri, en büyük değeri ve standart sapması.

İstasyon	Süre (saat)								
	2010			2011			2012		
	En küçük	En büyük	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Standart Sapma	En küçük	En büyük	Standart Sapma
adiy	1.1	6.7	1.24	1	6.8	1.37	0.8	6.7	1.30
afyn	1	6.7	1.24	1	6.5	1.34	1	6.4	1.33
agrd	1.3	6.8	1.22	0.90	6.7	1.41	0.90	6.7	1.40
amas	1.3	6.7	1.30	1	6.7	1.40	1	6.4	1.36
anmu	0.20	6.5	1.25	1	6.6	1.35	0.90	6	1.23
anrk	1.2	6.5	1.22	1	6.7	1.31	1	6.6	1.34
ante	1.3	6.7	1.25	0.90	6.6	1.41	0.70	6.2	1.26
antl	1	6.7	1.25	1	6.8	1.34	0.70	6.3	1.29
ardh	1.2	6.5	1.21	1	6.7	1.39	0.80	6.9	1.32
aydl	1	6.8	1.27	1	6.7	1.29	0.80	6	1.22
ayvl	1.1	6.7	1.27	1.1	6.6	1.33	1	6.5	1.30
band	1	6.6	1.21	1	6.8	1.29	1	6.6	1.33
bayb	0.90	6.6	1.26	1	7	1.44	1	6.2	1.30
bing	1.2	6.9	1.24	1.1	6.7	1.35	0.70	6.8	1.32
bogz	1.4	6.9	1.22	1	6.6	1.34	1.1	6.8	1.35
bolu	1.3	6.8	1.24	1.1	6.7	1.35	1	6.5	1.37
boyt	1.2	6.7	1.25	1	6.5	1.38	1	6.5	1.37
btmn	1.1	6.9	1.20	1.2	6.4	1.34	0.50	6.7	1.21

Çalışmanın son kısmında, her yılın en bozulmalı olduğu, Kp ve Ap indislerinin en büyük olduğu bir gün ile iyonkürenin en sakin olduğu, Kp ve Ap indisinin en küçük olduğu iki gün seçilmiştir. Üç yılın seçilen bu iki gününde her bir istasyon için frekans

ve süreler hesaplanmıştır. On sekiz istasyonun üç yılının her günü için, jeomanyetik hareketliliğin olduğu, özellikle K_p ve A_p indisinin büyük değerlerde olduğu günlerde frekansları küçük, sürelerin de büyük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bu dönemlerde gözlenen frekanslar 0.1 mHz ile 0.39 mHz arasında değişmektedir. Bozulmaların süresi de en az 157.5 dakika, yani 2 saat 37.5 dakikadır. Bu da literatürde tarif edilen BÖKİB sürelerine karşılık gelmektedir. Sakin olarak seçilen günlerde A_p indisi genel olarak 0; K_p indisinin en büyük değeri 1'dir. Bu günler için frekanslar 0.21 mHz ile 0.99 mHz arasında değişmiştir. Bu günlerdeki en büyük süre ise yine 157.5 dakika, yani 2 saat 37.5 dakikadır. Sakin günler için elde edilen frekans aralığı ve süreler, bu günlerde OÖKİB varlığını işaret etmektedir. Üç yıl birbirleriyle karşılaştırıldığında, bozulmalı ve sakin günlerin frekansları 2010 yılından 2012 yılına doğru artmıştır. Buna ters ilintili olarak da süreler de 2010 yılından 2012 yılına doğru azalmıştır. Karatay vd. (2017) çalışmasında elde edilen sonuçlara benzer olarak, güneş hareketliliğinin az olduğu yıllarda iyonküre, daha büyük ölçüde bozulmaya tepki vermektedir. Bu çalışmada, Arıkan ve Yarıcı (2017) çalışmasında OÖKİB ve BÖKİB için elde edilen frekans ve süre değerleri ile birbirine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. I-FFT metodununun 85 dakika veya daha fazla süreler için frekans aralığını 0.21 mHz ile 1.0 mHz; 157 dakika ve daha fazla süreler için frekans aralığını 0.11 mHz ile 0.39 mHz olarak %80'den büyük bir doğrulukla ölçtüğü gözlenmiştir. Tablo 7.4'te, üç yılın seçilen bozulmalı ve sakin günlerine ait K_p ve A_p indisleri verilmiştir. Tablo 7.5-7.7'de ise bu günlerde on sekiz istasyon için hesaplanan frekanslar ve süreler verilmiştir.

Tablo 7.4. 2010, 2011 ve 2012 yıllarında seçilen bozulmalı ve sakin günler için K_p ve A_p indisi değerleri (URL-15).

İndisler	2010		2011		2012	
	05 Nisan	23 Aralık	05 Ağustos	15 Mart	09 Mart	07 Aralık
K_p	3 4 4 7	0 0 0 0	3 2 0 0	0 0 0 0	5 6 7 7	0 0 0 0
	6 5 4 4	0 0 0 0	1 2 8 7	0 0 0 0	6 5 4 2	0 0 0 0
A_p	49	0	49	0	67	1

Tablo 7.5. 05 Nisan 2010 ve 23 Aralık 2010 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri.

İstasyon Kodu	05 Nisan		27 Aralık	
	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)
band	0.19	305	0.27	142.5
bolu	0.19	292	0.27	142
boyt	0.17	272	0.27	145
amas	0.19	280	0.27	140
bayb	0.17	350	0.24	117.5
ardh	0.17	342.5	0.24	117.5
ayvl	0.11	307.5	0.27	140
afyn	0.17	297.5	0.23	137.5
anrk	0.19	297.5	0.35	152.5
bogz	0.27	315	0.54	92.5
bing	0.17	295	0.23	135
agrd	0.13	327.5	0.27	137
aydl	0.17	315	0.27	137.5
antl	0.17	307.5	0.27	140
anmu	0.17	297.5	0.23	135
ante	0.19	302.5	0.23	132
adiy	0.19	310	0.23	135
btmn	0.10	335	0.29	132.5

Tablo 7.6. 23 Ağustos 2011 ve 15 Mart 2011 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri.

İstasyon Kodu	05 Ağustos		15 Mart	
	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)
band	0.17	237.5	0.33	90
bolu	0.27	235	0.31	85
boyt	0.11	187.5	0.23	107.5
amas	0.11	175	0.21	105
bayb	0.11	225	0.31	100
ardh	0.11	182.5	0.51	87
ayvl	0.17	250	0.27	102.5
afyn	0.17	205	0.35	105
anrk	0.11	220	0.23	117.5
bogz	0.15	187.5	0.75	100
bing	0.29	167.5	0.39	107.5
agrd	0.11	192.5	0.35	107.5
aydl	0.18	192.5	0.39	100
antl	0.15	210	0.23	105
anmu	0.18	182.5	0.39	107.5
ante	0.17	297.5	0.35	115
adiy	0.17	305	0.51	97.5
btmn	0.39	170	0.79	107.5

Tablo 7.7. 09 Mart 2012 ve 07 Aralık 2012 için elde edilen on sekiz istasyonun frekans ve süreleri.

İstasyon Kodu	09 Mart		07 Aralık	
	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)	Frekans (mHz)	Süre (Dakika)
band	0.11	250	0.23	115
bolu	0.23	212	0.67	102
boyt	0.23	157.5	0.47	105
amas	0.39	130	0.59	105
bayb	0.13	295	0.26	110
ardh	0.23	190	0.75	103
ayvl	0.11	247	0.47	107.5
afyn	0.23	215	0.55	102
anrk	0.39	180	0.71	100
bogz	0.23	212.5	0.79	100
bing	0.35	267	0.87	90
agrd	0.23	232	X	X
aydl	0.13	240	0.27	127.5
antl	0.35	160	0.39	150
anmu	0.11	240	0.39	157.5
ante	0.23	195	0.83	105
adiy	0.23	202.5	0.99	65
btmn	0.23	195	0.71	115

Bu çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde, IONOLAB-FFT yöntemi, iyonüresel bozulmaların tespiti için etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır. IONOLAB-FFT yöntemi ile iyonküresel bozulmalar, hızlı ve otomatik şekilde tespit edilebilir, sınıflandırılabilir. Yakın gelecekte yapılacak ve bu çalışmanın devamı mahiyetinde yapılacak çalışmalarda, Türkiye üzerindeki iyonürede meydana gelen bozulmalar, daha güncel veriler, özel belirlenmiş günler ve daha sınırlanmış zaman aralıkları için IONOLAB-FFT yöntemi ile tespit edilecek ve Türkiye üzerindeki iyonküre karakterize edilip modellenecektir.



8. SONUÇ

İyonküre konuma, mevsimlere, güneş, jeomanyetik ve simik hareketliliğe bağlı olarak uzay ve zamanda değişiklik gösterir. İyonkürenin uydu sinyallerine olan etkisi, sinyalleri zamanla sönüme, soğrulmaya veya kesintiye uğratmasıdır. İyonkürenin bu etkisi, uydu tabanlı iletişim sistemlerinde ve Kısa Dalga (KD) haberleşmesinde önemli hatalara yol açmaktadır. Bu nedenle, uydu tabanlı ve KD iletişimde bu hataların giderilmesi için iyonkürenin yapısını anlamak, karakterize etmek ve modellemek çok önemlidir. Bu çalışmada, Türkiye üzerinde konumlanmış TUSAGA-Aktif ağından elde edilen DTEİ verisi kullanılarak 2010, 2011 ve 2012 yılları boyunca iyonkürede GS 08.00 ile 15.00 saatleri arasında meydana gelen bozulmaların varlığı ve yapısı tespit edilmeye çalışılmıştır. TUSAGA-Aktif ağında yer alan on sekiz istasyondan 2010, 2011 ve 2012 yılları için elde edilen DTEİ verilerine IONOLAB Grubu tarafından geliştirilen IONOLAB Hızlı Fourier Dönüşümü (I-FFT) önce üç yılın her günü için uygulanmıştır. Bu yolla elde edilen sonuçlarda frekansların Kuzey'den Güney'e ve Batı'dan Doğu'ya doğru azaldığı gözlenmiştir. Özellikle 42°K ile 40°K enlemleri arasında yer alan altı istasyonun frekanslarının, daha alt enlemlerde yer alan istasyonlar için elde edilen frekanslardan nispeten daha büyük olduğu gözlenmiştir. Güneş hareketliliğinin arttığı 2012 yılına doğru bozulma frekansların küçüldüğü, sürelerin de arttığı gözlenmiştir. Güneş hareketliliğinin ve GLS'nin az olduğu 2010 yılından GLS'nin çok olduğu 2012 yılına doğru frekansların en büyük ve en küçük değerinin, özellikle de standart sapma değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Çalışmanın ikinci kısmında, I-FFT yöntemi, 2010, 2011 ve 2012 yıllarında seçilen iki güne uygulanarak, iyonkürenin sakin ve bozulmalı olduğu günler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Seçilen bozulmalı günler, o yılın Kp ve Ap indisinin en büyük değerinde olduğu günlerdir. On sekiz istasyonun üç yılının her günü için, jeomanyetik hareketliliğin olduğu, özellikle Kp ve Ap indisinin büyük değerlerde olduğu günlerde frekansları küçük, sürelerin de büyük değerlerde olduğu gözlenmiştir. Bozulmalı günlerde elde edilen frekans aralığı ve süreler, literatürde tanımlanan Büyük Ölçekli Kayan İyonküresel Bozulma frekans ve sürelerine karşılık gelmektedir. Üç yıl birbirleriyle karşılaştırıldığında, bozulmalı ve sakin günlerin frekanslarının 2010 yılından 2012 yılına doğru arttığı; bunana ters ilintili olarak sürelerin de 2010 yılından

2012 yılına doğru azaldığı gözlenmiştir. Bu çalışmada iyonkürenin sakin ve bozulmalı günleri için I-FFT metodu ile elde edilen frekans ve sürelerinin, literatürde tanımlanan BÖKİB ve OÖKİB frekans ve süreleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Buna göre, I-FFT metodu 85 dakika veya daha fazla süreler için frekans aralığını 0.21 mHz ile 1.0 mHz; 157 dakika ve daha fazla süreler için frekans aralığını 0.11 mHz ile 0.39 mHz olarak %80'den büyük bir doğrulukla ölçebilmektedir.

Bu tez çalışması TUBİTAK 114E541 numaralı proje tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmayla Türkiye coğrafyası üzerindeki iyonkürenin uzay ve zamana bağlı değişimleri analiz edilmiş; iyonkürenin sakin ve bozulmalı olduğu günlerde frekans aralığı ve bozulma süreleri belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları ve I-FFT yöntemi, gelecekte Kayan İyonküresel Bozulmaların yönünü ve kapsamını tahmin etmek için daha geniş YKS ağına ve zaman dilimine uygulanacaktır. Ayrıca, güneş ve jeomanyetik hareketlilik nedeniyle oluşan hata ve risklerin kestirilebilmesinde Yer Tabanlı İyileştirme Sistemleri için gözetleme sistemlerinin algoritmalarının geliştirilmesinde kullanılacaktır.

KAYNAKLAR

- Afraimovich, E., Kosogorov, E., Lesyuta, O., Ushakov, I. (2001). Geomagnetic control of the spectrum of traveling ionospheric disturbances based on data from a global GPS network. *Radiophysics and Quantum Electronics*, 44(10), 763-773.
- Arikan. F., Erol. C.B., Arikan. O. (2003). Regularized estimation of vertical total electron content from Global Positioning System data. *Journal of Geophysical Research-Space Physics*. 108(A12), 1469-1480.
- Arikan, F., Erol, C.B., Arikan, O. (2004). Regularized estimation of vertical total electron content from GPS data for a desired time period. *Radio Science*. 39(6), 1-10.
- Arikan. F.. Arikan. O.. Erol. C.B. (2007). Regularized estimation of TEC from GPS data for certain mid-latitude stations and comparison with the IRI model. *Advances in Space Research*, 39, 867-874.
- Arikan, F., Nayir. H., Sezen. U., Arikan. O. (2008). Estimation of single station interfrequency receiver bias using GPS-TEC. *Radio Science*, 43(4), 1-13.
- Arikan, F., Toker, C., Sezen, U., Deviren, M.N., Cilibas, O., Arikan, O. (2014). Remote sensing and 2-D imaging of ionosphere by IONOLAB group. 22. *Sinyal İşleme ve Uygulamaları Kurultayı*, 1520-1523, Trabzon.
- Arikan, F., Yarici, A. (2017). Spectral investigation of traveling ionospheric disturbances: IONOLAB-FFT. *Geodesy and Geodynamics*, 8(5), 297-304.
- Astafyeva, E.I., Afraimovich, E.L. (2006). Long-distance traveling ionospheric disturbances caused by the great Sumatra-Andaman earthquake on 26 December 2004. *Earth, Planets and Space*, 58(8), 1025-1031.
- Aydoğdu, M. (1980). Ariel 4 Uyduyuyla Elde Edilen Elektron Yoğunluğu Verilerinin 70°-80°D ve 60°-70°B Boylamları Arasında İncelenmesi. Doktora Tezi, *Ege Üniversitesi, Fen Fakültesi*, İzmir.
- Bailey, G., Su, Y., Oyama, K.I. (2000). Yearly variations in the low-latitude topside ionosphere. *Annales Geophysicae*, 18(7), 789-798.
- Banks, P., Kockarts, G. (1973). *Aeronomy Part B*. California: Academic Press.
- Bergeot, N., Chevalier, J.M., Bruyninx, C., Pottiaux, E., Aerts, W., Baire, Q., Huang, W. (2014). Near real-time ionospheric monitoring over Europe at the Royal Observatory of Belgium using GNSS data. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 4(A31), 1-10.
- Bhuyan, P., Kakoty, P. (2002). Theoretical simulation of O⁺ and H⁺ concentrations obtained by the indian SROSS C2 satellite in the topside F-region and comparison with the IRI. *Advances in Space Research*, 29(6), 859-864.

- Borries, C., Jakowski, N., Jacobi, Ch., Hoffmann, P., Pogoreltsev, A. (2007). Spectral analysis of planetary waves seen in ionospheric total electron content (TEC): First results using GPS differential TEC and stratospheric reanalyses. *Journal of Atmospheric and Solar Terrestrial Physics*, 69(2007) 2442-2451.
- Cliver, E., Clette, F., Svalgaard, L. (2013). Recalibrating the sunspot number (SSN): the SSN workshops. *Central European Astrophysical Bulletin*, 37(2), 401-416.
- Davis, M. (1971). On polar substorms as the source of large-scale traveling ionospheric disturbances. *Journal of Geophysical Research*, 76(19), 4525-4533.
- Davis, T.N. and Sugiura M., (1966). Auroral electrojet activity index AE and its universal time variations, *Journal of Geophysical Researches*, 71, 785-801.
- De Canck, M.H. (2007). Ionosphere properties and behaviors, *Antennex*, 119, 6-7.
- Deviren, M.N., Arikan, F., Arikan O. (2013). Spatio-temporal interpolation of total electron content using a GPS network. *Radio Science*, 48(3), 302–309.
- Ding, F., Wan, W., Liu, L., Afraimovich, E., Voeykov, S., Perevalova, N. (2008). A statistical study of large-scale traveling ionospheric disturbances observed by GPS TEC during major magnetic storms over the years 2003–2005. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 113(A3), 1-8.
- Ding, F., Wan, W., Ning, B., Wang, M. (2007). Large-scale traveling ionospheric disturbances observed by GPS total electron content during the magnetic storm of 29–30 October 2003. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 112(A6), 1-15.
- Dyson, P., McClure, J., Hanson, W. (1974). In situ measurements of the spectral characteristics of F region ionospheric irregularities. *Journal of Geophysical Research*, 79(10), 1497-1502.
- Efendi, E., Arikan, F. (2017). A fast algorithm for automatic detection of ionospheric disturbances: DROT. *Advances in Space Research*, 59(12), 2923-2933.
- Eftaxiadis, K., Cervera, M.A., Thomas, R.M. (1999). A Global Positioning System Receiver for Monitoring Ionospheric Total Electron Content. *Defence Science And Technology Organisation*, Canberra, Australia.
- Fedorenko, Y.P., Fedorenko, V., Lysenko, V. (2011). Parameters of the medium-scale traveling ionospheric disturbances model deduced from measurements. *Geomagnetism and Aeronomy*, 51(1), 88-104.
- Fedorenko, Y.P., Tyrnov, O.F., Fedorenko, V.N., Dorohov, V.L. (2013). Model of traveling ionospheric disturbances. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 3(A30), 1-28.
- Hawarey, M., Ayan, T. (2004). Uzay mekiği tırmanışı, deprem ve füze fırlatışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, 3, 45-46.

- Hernández-Pajares, M., Juan, J., Sanz, J. (2006). Medium-scale traveling ionospheric disturbances affecting GPS measurements: Spatial and temporal analysis. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111(A7), 1-13.
- Hocke, K. and Schlegel, K. (1996). A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995. *Annales Geophysicae*, 14(9), 917-940.
- Husin, A., Abdullah, M., Momani, M. (2011). Observation of medium-scale traveling ionospheric disturbances over Peninsular Malaysia based on IPP trajectories. *Radio Science*, 46(02), 1-10.
- IONOLAB: www.ionolab.org
- Jakowski, N., Béniguel, Y., De Franceschi, G., Pajares, M. H., Jacobsen, K. S., Stanislawski, I., Wautelet, G. (2012). Monitoring, tracking and forecasting ionospheric perturbations using GNSS techniques. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 2(A22), 1-14.
- Kalikhman, A. (1980). Medium-scale travelling ionospheric disturbances and thermospheric winds in the F-region. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 42(8), 697-703.
- Karatay, S. (2005). İyonküre Plazmasında Kış Anormalliği, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karatay, S. (2010). Deprem ile İyonküre Toplam Elektron İçeriği Arasındaki İlişkinin Arastırılması. *Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.*
- Karatay, S., Arikani, F., Arikani, O. (2010). Investigation of TEC variability due to seismic and geomagnetic disturbances in the ionosphere. *Radio Science*, 45(5), 1-12.
- Karatay, S., Cinar, A., Arikani, F. (2017). Ionospheric responses during equinox and solstice periods over Turkey. *Advances in Space Research*, 60(9), 1958-1967.
- Katamzi, Z., Smith, N., Mitchell, C., Spalla, P., Materassi, M. (2012). Statistical analysis of travelling ionospheric disturbances using TEC observations from geostationary satellites. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 74, 64-80.
- Kelley, M.C., (2009). *The Earth's Ionosphere: Plasma Physics and Electrodynamics*. New York: Academic press.
- Kim, M., Choi, Y., Jun, H.-S., Lee, J. (2015). GBAS ionospheric threat model assessment for category I operation in the Korean region. *GPS Solutions*, 19(3), 443-456.
- Komjathy, A. (1997). *Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System*. University of New Brunswick Fredericton, New Brunswick, Canada.

- Koroglu, O., Arıkan, F. (2017). Regional ionospheric trend statistics: IONOLAB-PDF. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25, 1773-1783.
- Lee, C., Liou, Y., Otsuka, Y., Chu, F., Yeh, T., Hoshino, K., Matunaga, K. (2008). Nighttime medium-scale traveling ionospheric disturbances detected by network GPS receivers in Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 113(A12), 1-6.
- Letfus, V., Apostolov, E.M. (1982). Solar Cycle and Seasonal Variations in the Efficiency of Solar Flares in Producing Sudden Ionospheric Disturbances. *Journal of Atmospheric And Solar Terrestrial Physics*, 44(4) 359-362.
- Liu, J.Y., Sun, Y.Y. (2011). Seismo-traveling ionospheric disturbances of ionograms observed during the 2011 Mw 9.0 Tohoku Earthquake. *Earth, planets and space*, 63(7), 70.
- McNamara, L.F. (1994). *Radio Amateur's Guide to the Ionosphere*. Florida: Krieger Pub Co.
- Millward, G., Rishbeth, H., Fuller-Rowell, T., Aylward, A., Quegan, S., Moffett, R. (1996). Ionospheric F 2 layer seasonal and semiannual variations. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 101(A3), 5149-5156.
- Mosna, Z., Sauli, P., Santolik, O. (2007). Preparation of a database for the study of scaling phenomena in the ionosphere, *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers*, 2, 86-92.
- Naaman, S., Alperovich, L., Wdowinski, S., Hayakawa, M., Calais, E. (2001). Comparison of simultaneous variations of the ionospheric total electron content and geomagnetic field associated with strong earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Science*, 1(1/2), 53-59.
- Nasa/TM, (2001). Understanding Plasma Interactions with the Atmosphere: the Geospace Electrodynamics Connections Mission, Report of the NASA and Technology Definition Team, 2-3.
- Nayir, H. (2007). Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanarak İyonküre Toplam Elektron İçeriği Kestirimi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Nicolls, M.J., Kelley, M.C., Coster, A.J., Gonzalez, S.A., Makela, J.J. (2004). Imaging the structure of a large-scale TID using ISR and TEC data, *Geophysical Research Letters*, 31(9), 1-4.
- Özcan, O. (1987). Elazığ Üzerindeki İyonkürenin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ.
- Rapoport, Z. T., Snelnikov, V. (1996). Experimental Electron-Density Profiles in the Mid-Latitude Lower Ionosphere and the Winter Anomaly. *Geomagnetism and Aeronomy*, 36(2), 248-252.

- Rishbeth, H. (1967). A review of ionospheric F region theory. *Proceedings of the IEEE*, 55(1), 16-35.
- Rishbeth, H., Garriott, O. (1969). *Introduction to Ionospheric Physics*. New York: Academic Press.
- Šauli, P., Abry, P., Altadill, D., Boška, J. (2006). Detection of the wave-like structures in the F-region electron density: Two station measurements. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 50(1), 131-146.
- Sayın, I. (2008). Kriging ve Rassal Alan Öncülü ile Toplam Elektron İçeriği Haritalaması. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Schuh, H., Hobiger, T., Boehm, J. (2002). Determination of Ionospheric Parameters by Geodetic VLBI. *Report of Institute of Geodesy and Geophysics IGG*, University of Technology, Vienna.
- Schunk, R., Nagy, A. (2009). *Ionospheres: physics, plasma physics, and chemistry*: Cambridge University Press.
- Sezen, U., Arikan, F., Arikan, O., Ugurlu, O., Sadeghimorad, A. (2013). Online automatic near-real time estimation of GPS-TEC: IONOLAB-TEC. *Space Weather*, 11(5), 297-305.
- Stauning, P. (2013). The Polar Cap index: A critical review of methods and a new approach. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 118(8), 5021-5038.
- Stening, R. (1995). What drives the equatorial electrojet? *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 57(10), 1117-1128.
- Tascione, T.F., (1988). *Introduction to the Space Environment*. Florida: Orbit Book Company.
- Tsugawa, T., Otsuka, Y., Coster, A., Saito, A. (2007). Medium-scale traveling ionospheric disturbances detected with dense and wide TEC maps over North America. *Geophysical Research Letters*, 34(22), 1-5.
- Türel, N. (2008). İyonosfer Katmanının Toplam Elektron İçerisinin İzgel Güç Yoğunluğu ve Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu Kestirimi. Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- URL-1. <https://www.britannica.com/science/ionosphere-and-magnetosphere>.
- URL-2. <https://en.0wikipedia.org/index.php?q=aHR0cHM6Ly9lbi53aWtpcGVKaW Eub3Jn L3dpa2kvSW9ub3NwaGVyZQ>.
- URL-3. <http://www.haarp.alaska.edu>.
- URL-4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ionosphere>.
- URL-5. http://roma2.rm.ingv.it/en/research_areas/4/ionosphere.

- URL-6. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Fountain_effect.jpg.
- URL-7. <http://academic.emporia.edu/aberjame/student/johnson5/sunspotcycle.html>.
- URL-8. http://www.allsyllabus.com/aj/note/ECE/Antennas_and_Propagation/Unit8/Day%20and%20night%20structure%20of%20ionosphere.php#.WgddmdUrLIU.
- URL-9. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Cycle_Prediction.gif.
- URL-10. http://academic.emporia.edu/aberjame/student/johnson5/sunspot_img3.gif.
- URL-11. <http://www.harp.alaska.edu>
- URL-12 <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive/2017/09/06/xray>.
- URL-13. <https://www.bilgiustam.com/gps-nedir-ve-nasil-calisir/>
- URL-14. http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_final/index.html
- URL-15. ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/
- URL-16. <http://www.ngdc.noaa.gov/stp/spaceweather/>
- Wang, M., Ding, F., Wan, W., Ning, B., Zhao, B. (2007). Monitoring global traveling ionospheric disturbances using the worldwide GPS network during the October 2003 storms. *Earth, Planets and Space*, 59(5), 407-419.
- Whitten R.C., Poppoff, I.G. (1971). *Fundamentals of Aeronomy*. New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.
- Yoon, M., Lee, J. (2014). Medium-scale traveling ionospheric disturbances in the Korean region on 10 November 2004: Potential impact on GPS-based navigation systems. *Space Weather*, 12(4), 173-186.
- Zhang, S. R., Oliver, W., Fukao, S., Otsuka, Y. (2000). A study of the forenoon ionospheric F 2 layer behavior over the middle and upper atmospheric radar. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 105(A7), 15823-15833.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Raja S. O. MOMIN
Doğum Yeri ve Yılı : Libya- Albaida -31/3/1978
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : raja1978momin@gmail



Eğitim Durumu

Lise : Lise
Lisans : Libya Ömer Muhtar Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği
Bölümü

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Öğretmen, Libya- Albaid Lisesi