

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**BAYES TEOREMİ VE NAIVE BAYES SINIFLANDIRICISI
KULLANILARAK İYONKÜRENİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

MUNA OMAR ADELSALAM ALGAHANI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ SEÇİL KARATAY

OCAK - 2021
KASTAMONU

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde 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, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Muna Omar Adelsalam ALGAHANI

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BAYES TEOREMİ VE NAİVE BAYES SINIFLANDIRICISI KULLANILARAK İYONKÜRENİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

MUNA OMAR ADELSALAM ALGAHANI

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ SEÇİL KARATAY

İyonküre, atmosferin 60 ila 1000 km yükseklikleri arasında yer alan ve metreküpte 1012 elektron yoğunluğuna sahip, güneşten gelen radyasyonla plazma durumuna iyonize olmuş önemli bir katmandır. İyonküre plazmasının en belirleyici parametresi, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketlilikle ve güneş patlamaları, güneş lekesi sayısı, güneş rüzgârı, jeomanyetik fırtınalarla değişkenlik ve bağlaşım gösteren elektron yoğunluğudur. Elektron yoğunluğunun ölçülebilir önemli bir niceliği de iyon küre ve üst atmosferin yapısını araştırmak için etkili bir yol sağlayan Toplam Elektron İçeriği'dir (TEİ). TEİ, bir ışın yolu boyunca elektron yoğunluğunun çizgi integrali veya bir ışın yolu boyunca toplam elektron sayısı olarak tanımlanmaktadır. Son on yılda, dünya çapındaki alıcı ağına sahip olan Yerküresel Konumlandırma Sistemi (YKS), TEİ'nin (GPS-TEC) kestiriminde kolay bir yol sağlamaktadır. İyonkürenin uzamsal-zamansal değişkenliği, ayrıca, uzamsal-zamansal yönsemeler ve jeomanyetik alandaki bozulmalar, yerçekimi dalgaları ve sismik aktivitelerin üst atmosfere ve iyon küreye bağlaşımından da etkilenmektedir. Bu değişkenliklerin bazıları iyon kürede belirli bir frekans, süre ve hızda yayılan dalga benzeri salınımlar üretir. Bu çalışmada, sismik, güneş ve jeomanyetik hareketliliğe bağlı olarak iyon kürede meydana gelen bozulmaların ve iyon kürenin sakin olarak nitelendirilen durumundan sapmaların tespitini sağlayan Bayes Teoremi ve Naive Bayes Sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Bayes Teoremi ve Naive Bayes Sınıflandırıcısı, Türkiye üzerinde konumlandırılmış YKS istasyonlarından 1999 yılında meydana gelen güneş tutulması ve Marmara Depremi periyodunca kestirilen IONOLAB-TEİ verilerine uygulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: İyonküre, Toplam Elektron İçeriği, YKS, Bayes Teoremi, Naive Bayes Sınıflandırıcısı

Ocak 2021, 73 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

STATISTICAL ANALYSIS OF THE IONOSPHERE USING BAYES' THEOREM AND NAIVE BAYES CLASSIFIER

MUNA OMAR ADELSALAM ALGAHANI

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. SEÇİL KARATAY

The ionosphere is an important layer of the atmosphere that lies between 60 and 1000 km altitude and has a density of 10^{12} electrons per cubic meter, ionized to the plasma state by radiation from the sun. The most determining parameter of ionospheric plasma is the electron density, which shows variability and correlation with solar, geomagnetic and seismic activity and solar flares, sunspot number, solar wind, geomagnetic storms. An important measurable quantity of electron density is the Total Electron Content (TEC), which provides an efficient way to investigate the structure of the ionosphere and upper atmosphere. TEC is defined as the line integral of electron density along a beam path or the total number of electrons along a beam path. In the last decade, the Global Positioning System (GPS), which has a worldwide receiver network, provides an easy way to predict TEC (GPS-TEC). The spatial-temporal variability of the ionosphere is also affected by the spatial-temporal trends and disturbances in the geomagnetic field, gravitational waves and seismic activities coupled to the upper atmosphere and ionosphere. Some of these variations produce wave-like oscillations that propagate in the ionosphere at a certain frequency, duration, and speed. In this study, Bayes Theorem and Naive Bayes Classifier are used to detect the disturbances in the ionosphere, disturbances due to seismic, solar, geomagnetic activities and deviations from the quiet state of the ionosphere. Naive Bayes classifier and Bayes Theorem is applied to the IONOLAB-TEC data obtained from GPS stations located in Turkey during 1999 solar eclipse and Marmara Earthquake.

KEYWORDS: Ionosphere, Total Electron Content, GPS, Bayes Theorem, Naive Bayes Classifier

January 2021, 73 Page

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamın her adımında desteğini ve yardımını gördüğüm; bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen değerli danıőmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Seçil KARATAY'a teőekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, tez çalıőmam süresince göstermiş olduğu anlayıő ve yardımlarından dolayı değerli hocalarım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faruk ERKEN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Cafer BUDAK'a çok teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen, her zaman yanımda olan aileme sonsuz teőekkürler.

Muna Omar Adelsalam ALGAHANI

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. İYONKÜRE KATMANININ YAPISI	5
2.1 D-Bölgesi.....	5
2.2 E-Bölgesi	7
2.2.1 Düzensiz E-Bölgesi.....	8
2.3 F-Bölgesi	9
3. İYONKÜRE BOZULMALARINA NEDEN OLAN ETMENLER	11
3.1 Güneş Hareketliliği ve Güneş İndisleri	12
3.1.1 Güneş Akısı (F10.7).....	15
3.1.2 Güneş Lekelerinin Sayısı	16
3.1.3 Güneş X-Işını Akısı	18
3.2 Jeomanyetik Hareketlilik.....	18
3.2.1 K İndisi	20
3.2.2 Kp İndisi	21
3.2.3 a ve A İndisleri.....	22
3.2.4 Ap İndisi	23
3.2.5 Dst İndisi.....	23
3.2.6 AE İndisi	24
3.3 Sismik Hareketlilik.....	24
4. İYONKÜRENİN RADYO DALGALARINA ETKİSİ	28
4.1 Toplam Elektron İçeriği	30
4.2 Yerküresel Konumlama Sistemi.....	32
5. LİTERATÜR İNCELEMESİ	36
6. BAYES TEOREMİ VE NAİVE BAYES SINIFLANDIRICISI	41
6.1 Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı.....	43
6.2 Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı	44
7. BULGULAR	46
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	63
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	73

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1	Atmosfer katmanlarının sıcaklıklarının ve santimetreküpteki plazma yoğunluğunun yükseklikle değişimi	2
Şekil 2.1	İyon küredeki elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi ve iyon küre bölgeleri	10
Şekil 3.1	(a) 1610'dan 1985'e kadar yıllık ortalama Güneş Lekelerinin Sayısı; (b) 1985'ten 2008'e kadar Güneş Lekelerinin Sayısı	14
Şekil 3.2	Maunder ve Dalton minimumlarını ve Modern maximumu gösteren dört yüz yıllık GLS geçmişi.....	16
Şekil 3.3	Ekvator üstündeki E-Bölgesi'ndeki termosferik rüzgarların, iyonları B boyunca sürüklenirken dinamo elektrik alanları oluşturması	19
Şekil 3.4	Kp indisinden türetilen 3 saatlik Ap (eşdeğer aralık) indisi	23
Şekil 4.1	ETEİ ve DTEİ'nin Yer'e göre geometrisi	32
Şekil 4.2	Yerküresel Konumlama Sistemi'nin bölümleri	33
Şekil 7.1	Çalışma kapsamında kullanılan IGS istasyonları ve Deprem Merkezi (DM).....	47
Şekil 7.2	1 ila 20 Ağustos 1999 tarihleri arasındaki Ap, Kp, Dst, AE, GLS ve F10.7 indislerinin değişimi	48
Şekil 7.3	11 Ağustos 1999 tarihinde a) ankr, c) tubi ve 17 Ağustos 1999 tarihinde b) ankr, d) tubi istasyonları için IONOLAB-TEC değerleri	49
Şekil 7.4	Tubi istasyonu için AE, Ap, Dst, Kp, F10.7 ve GLS indisleri ile IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları	50
Şekil 7.5	Tubi istasyonu için IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları.....	51
Şekil 7.6	Tubi istasyonu için normal, deprem ve güneş durumları için ANOVA analizi	52
Şekil 7.7	Tubi istasyonu için parametreler arası Öznitelik İlinti Isı Haritası... ..	52
Şekil 7.8	Tubi istasyonu için IONOLAB-TEC (tec), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası Öznitelik İkiliği	53
Şekil 7.9	ankr istasyonu için AE, Ap, Dst, Kp, F10.7 ve GLS indisleri ile IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları.....	56
Şekil 7.10	ankr istasyonu için IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları	56
Şekil 7.11	ankr istasyonu için normal, deprem ve güneş durumları için ANOVA analizi	57
Şekil 7.12	ankr istasyonu için parametreler arası Öznitelik İlinti Isı Haritası ..	58
Şekil 7.13	ankr istasyonu için IONOLAB-TEC (tec), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası Öznitelik İkiliği	59
Şekil 7.14	tubi ve ankr istasyonları için TEİ (TEC), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası birleşik Öznitelik İkiliği.....	62

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1 Manyetik alan ve K indisi değerleri arasındaki genel ilişki ve K indisinin dereceleri	21
Tablo 3.2 K indisi ve A indisi değerleri arasındaki genel ilişki.....	22
Tablo 7.1 Tubi istasyonu için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri	50
Tablo.7.2 ankr istasyonu için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri	55
Tablo 7.3 ankr ve tubi istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri.....	61
Tablo 7.4 ankr ve tubi istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri.....	61

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

° D	: Derece Doğu
B	: Manyetik Alan
foF2	: F2-Bölgesi kritik frekansı
K	: Kelvin
nm	: nano metre
nT	: nono Tesla
MHz'	: Mega Hertz
Mw	: Richter ölçeği büyüklüğü
SFU	: Güneş Akısı Birimi
TECU	: Toplam Elektron İçeriği Birimi

Kısaltmalar

AE	: Auroral Electrojet
AGW	: Acoustic Gravity Waves
ANOVA	: Analysis of Variance
CME	: Coronal Mass Ejection
Dst	: Disturbance storm time
DTEİ	: Dik TEİ
Es	: Sporadic E-Bölgesi
EUV	: Extrem Ultra Violet
ETEİ	: Eğik TEİ
FFT	: Fast Fourier Transform
FM	: Frequency Modulation
GLS	: Güneş Lekelerinin Sayısı
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GS	: Greenwich Saati
HF	: High Frequency
IGS	: International GPS Service
IGW	: Internal Gravity Waves
KD	: Kısa Dalga
KİB	: Kayan İyonküresel Bozulmalar
MUF	: Maximum Usable Frequency
Reg-Est	: Regularized-Estimation
SF	: Solar Flare
SSC	: Sudden Storm Commencement
SSN	: Sun Spots Number
STEC	: Slant Total Electron Content
TEC	: Total Electron Content
TEİ	: Toplam Elektron İçeriği

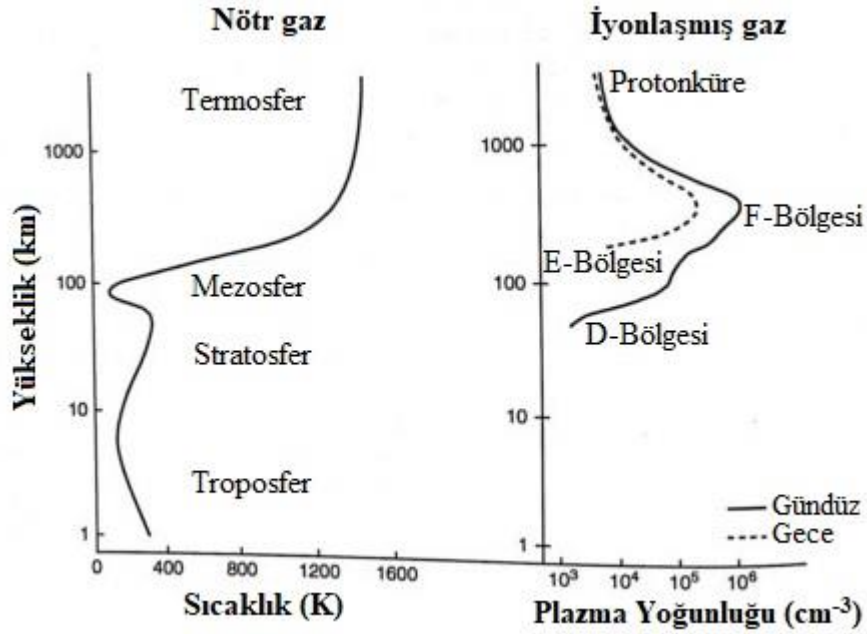
UV	: Ultra Violet
VHF	: Very High Frequency
VTEC	: Vertical Total Electron Content
YF	: Yüksek Frekans
YKS	: Yerküresel Konumlama Sistemi
YZ	: Yerel Zaman

1. GİRİŞ

İyon küre, atmosferin 50 ila 1000 km arasında yer alan önemli bir katmandır. İyon küre, aynı şekilde, plazma olarak anılan, yeterli miktarda yüklü parçacıkların bulunduğu üst iklim alanıdır. Çevrenin küçük bir parçası olmasına rağmen, ortamın özelliklerini ve davranışını derinden etkileyen bir katmandır. Elektron yoğunluğunun ve iyon dağılımının düşey doğrultudaki özellikleri, iyon kürenin, tıpkı güneş ışığına dayalı özellikleri gibi gündüz veya akşam zaman periyoduna dayanan çeşitli bölgelerini meydana getirir. İyon küre elektriksel olarak nötrdür; ancak güneş ışınları nüfuz ettiğinde, nötr parçacıklar iyonlaşarak iyon küre plazmasını iletken hale getirir. Radyo dalgalarının iyon kürede çoğaldığı noktada yansıma, kırılma, dağılım, emilim, polarizasyon ve yayılım gerçekleşir. Bu nedenle iyon küre katmanı, radyo telekomünikasyon, uydu haberleşme, HF yayılımı, plazma fiziği ve uzay havası çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. (Fuller-Rowell vd., 1999).

İyon küredeki iyonlaşmanın temel kaynağı, güneşten gelen ışınlardır. Termosfer içinde yer alan ve mezosfer ve ekzosferin de bir kısmını oluşturan iyon küre, elektrik yüklü parçacıklarından (iyonlaşmış) oluşur. Temel olarak, F-Bölgesi, E-Bölgesi ve D-Bölgesi olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır; Gündüzleri F-Bölgesi, F1 ve F2 olmak üzere iki katmana ayrılır ve geceleri yeniden birleşir. İyon kürenin ilk önce E-Bölgesi keşfedildi. 1901'de Guglielmo Marconi, Avrupa ile Kuzey Amerika arasında bir sinyal iletti ve yaklaşık 100 km yükseklikte elektriksel olarak iletken bir katmandan geçtiğini gösterdi. 1927'de Sir Edward Appleton, bu iletken tabakayı Elektriksel (E) katman olarak adlandırdı. Daha sonra keşfedilen ek iletken katmanlara basitçe D-Bölgesi ve F-Bölgesi adı verildi. Üç bölge de gündüz saatlerinde daha yoğundur. Gece saatlerinde, en büyük değişikliğe uğrayan D-Bölgesi ile tüm bölgelerin yoğunluğu azalır. Çoğu gece boyunca, D-Bölgesi tamamen kaybolur ve bu katmandaki iyon sayısı azaldıkça E-Bölgesi zayıflar. Her sabah, X ışınları ve UV (Ultra Violet) ışığı geri dönerken, D ve E bölgelerinde iyonlaşma artar. En yüksek rakımlı F bölgesinin gece boyunca varlığı devam eder, ancak genellikle gündüzleri bir üst F2 katmanına ve bir alt F1 katmanına ayrılır. İyon küre bölgeleri, tipik olarak troposfer ve stratosfer gibi ayrı katmanlar olarak kabul edilmez. Bunun yerine, standart atmosferik katmanların

içine gömülü iyonize bölgeler olduğu kabul edilir. Şekil 1.1’de nötr atmosferik sıcaklık ve iyon küredeki plazma yoğunluğunun bölgelere göre dağılımını gösterilmiştir (Kelley, 2009).



Şekil 1.1 Atmosfer katmanlarının sıcaklıklarının ve santimetreküpteki plazma yoğunluğunun yükseklikle değişimi (Kelley, 2009)

İyon kürenin en önemli parametresi, coğrafik konum, zaman, yükseklik, güneş hareketliliği ile jeomanyetik ve sismik hareketlilikle değişim gösteren ve metreküpte 10⁸ ile 10¹³ arasındaki değerlere sahip elektron yoğunluğudur. İyon kürenin elektron yoğunluğu özellikle güneşteki ve buna bağlı olarak Yer’in manyetik alanındaki değişimlere bağlı olarak önemli değişimler sergiler. Güneş hareketliliğindeki ve buna bağlı olarak Yer’in manyetik alanındaki bu değişimler, bazı özel indislerle ölçülmektedir. İyon kürenin elektron yoğunluğunu bilmek, radyo telekomünikasyon, uydu izleme ve uzaydan Dünya gözlemi gibi çok çeşitli uygulamalar için çok önemlidir. İyon küre için önemli bir diğer tanımlayıcı nicelik de Toplam Elektron İçeriği’dir (TEİ). 1 metrekare kesitli bir silindir boyunca toplam serbest elektron miktarı olarak da yorumlanan TEİ’nin birimi TECU’dur. 1 TECU, metrekarede 10¹⁶ elektrona eşittir. TEİ değerleri incelenerek iyon küredeki kısa ve uzun dönem değişimler yakından izlenebilir. İyon küre araştırmaları ve TEİ kestirimi için, teorik ve deneysel modellerin yanında yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Yer tabanlı teknikler arasında İyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve

Evre uyumsuz Geri Saçılım Radarı sayılabilir. Bu tekniklerin ortak özelliği, iyon küreye radyo dalgaları gönderilerek incelemeler yapılmasıdır. TEİ kestirimi için uydulardan gönderilen işaretlerden de yararlanılmaktadır. Bu uydu sistemlerinden bazıları Yer küresel Konumlama Sistemi (YKS), GLONASS ve TOPEX / Poseidon sistemleridir. Son yıllarda, Yer küresel Konumlandırma Sistemi (YKS), alıcılarından oluşan sistemle, TEİ (YKS-TEİ) değerlendirmesinde ve dünya çapındaki kara kütesinin kritik bir boyutunda iyon kürenin değişebilirliğini gözlemlemede uygun maliyetli bir düzenleme sağlar (Arikan, 2003; Nayir, 2007; Sayın, 2008). YKS, Yer yüzeyinden 20000 km yükseklik alanında bulunan 28 aktif uydudan sürekli olarak iki taşıyıcı frekans ($f_1=1572,42$ MHz ve $f_2=1227,6$ MHz) sinyalleri gönderir. Çift frekanslı YKS alıcılarından elde edilen TEİ ölçümleri, Yer iyon küresini araştırmanın en önemli yöntemlerinden biridir.

İyon kürenin elektron yoğunluğu miktarı, 11-yıllık güneş döngüsüne, gece ve gündüze göre, dünyanın güneş etrafındaki ve ayın dünya etrafındaki aylık, mevsimlik ve yıllık hareketlerine bağlıdır. İyon küre bu süreçlerde özellikle güneş hareketliliği ve buna bağlı olarak da jeomanyetik hareketliliğinin etkisinde, bazı aykırılıklar (anormallikler) sergiler. Özellikle jeomanyetik fırtına ve güneş fırtınaları dönemlerinde iyon küredeki TEİ gibi bazı parametrelerde, ciddi bozulmaların olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte, özellikle Yer'in güneş etrafındaki hareketine bağlı olarak iyon küre, kış anormalliği, ekvatorial anormallik ve ekvatorial elektrojet olarak isimlendirilen bazı aykırılıklar sergiler. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sismik hareketliliğin de iyon kürede büyük ölçekli bozulmalar yarattığı ortaya konmuştur (Pulinets vd., 2003; Chen vd., 2004; Liu vd., 2004; Pulinets vd., 2007; Karatay vd., 2010). Güçlü sismik sarsıntılardan önce, iyon küre parametrelerinde, özellikle F2-Bölgesi kritik frekansında (f_oF_2), parçacık sıcaklıklarında (T_i) ve TEİ'de önemli ölçüde aykırılıklar ve bozulmalar gözlenir (Arikan, 2004). İyonkürede gözlenen bazı konumsal-zamansal değişimler, dalga-benzeri salınımlar olarak ortaya çıkarlar. Bu dalga-benzeri salınımlar, Kayan İyonküresel Bozulmalar-KİB (Traveling Ionospheric Disturbances-TIDs) olarak adlandırılırlar. Bu tip bozulmalar, frekansına ve yayılma sürelerine bağlı olarak iyon kürede önemli değişimlere ve bozulmalara yol açabilirler (Davies ve Baker, 1965; Leonard ve Barnes, 1965; Sun vd., 2007).

Literatürde, iyon küresel bozulmaların tespiti için tipik olarak, yer tabanlı çift frekanslı Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS) alıcılarından kestirilen TEİ verilerine dayanan zamansal türev tabanlı yöntemler kullanılmıştır (Krankowski vd., 2006; Cherniak vd., 2014; Efendi ve Arıkan, 2017; Koroglu ve Arıkan, 2019; Karatay vd., 2017, Karatay, 2020a, 2020b). Hargreaves (1992)'de, KİB'lerin etkileri, iki sabit uydu ve tek bir yer istasyonundan alınan TEİ ölçümlerinden gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, yerçekimi dalgalarının aşağı doğru hareketinin TEİ'de ortalama %1 değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Efendi ve Arıkan (2017), Köroğlu ve Arıkan (2019) ve Karatay (2020a) çalışmalarında, iyon küre bozulmalarının otomatik tespiti için TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT) yöntemi geliştirilmiştir. Arıkan ve Yarici (2017) ve Karatay (2020b) çalışmalarında, IONOLAB-FFT yöntemi, TEİ üzerindeki olası frekans bileşenlerini kestirmek ve spektrumun önemli bir bölümünü oluşturan ana bileşenleri tanımlamak için geliştirilmiştir.

İstatistikte Naive Bayes sınıflandırıcıları, özellikler arasındaki güçlü (naif) bağımsızlık varsayımları ile Bayes Teoremi'nin uygulanmasına dayanan basit "olasılıksal sınıflandırıcılar" ailesidir. Bir Naive Bayes sınıflandırıcı, her özneliğin birbirinden koşulsal bağımsız olduğu ve öğrenilmek istenen kavramın tüm bu özneliklere koşulsal bağlı olduğu bir Bayes ağı olarak düşünülmektedir (Domingos ve Pazzani, 1997; Hand ve Yu, 2001). Bu çalışmada, 11 Ağustos 1999 güneş tutulması ve 17 Ağustos 1999 büyük Marmara Depremi dönemlerinde veri elde edilebilen iki YKS istasyonundan kestirilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, Naive Bayes Sınıflayıcısı literatürde ilk defa bu bağlamda TEİ veri seti üzerinde uygulanmıştır. Naive Bayes Sınıflandırıcısı ve elde edilen sonuçlara sırasıyla, 5. ve 6. bölümlerde yer verilmiştir.

2. İYONKÜRE KATMANININ YAPISI

İyon küre katmanı içinde atomlar ve moleküller, kendi ağırlıklarına göre, farklı yüksekliklerde yer alırlar. Dolayısıyla, iyon küre içinde iyonlaşma miktarı, her örçek yüksekliğinde farklılık gösterir. Bu sebeple, iyon küredeki iyonlaşma, atom ve moleküllerin ölçek yükseklikleri ve iyon kürenin güneşe göre olan konumuna bağı olduğu için, her bölgesi aynı değildir. İyon küre, iyonlaşma miktarına göre D, E, F1 ve F2 ile isimlendirilen bölgelerden oluşmaktadır. İyon kürede yükseklik arttıkça iyonlaşma da artmaktadır. Aynı şekilde, güneşin aktif olduğu gündüz saatlerinde iyonlaşma ve buna bağı olarak da elektron miktarı, gece saatlerinden daha fazladır. Ayrıca, Güneş Lekesi Sayısı (GLS) ve güneş patlamaları, güneşten gelen ışınımların seviyesini ve dolayısıyla iyon küredeki serbest elektron miktarını önemli ölçüde etkiler.

İyon küredeki dalga yayılımı, iyon kürenin serbest elektron miktarıyla ilişkilidir. İyon kürenin yapısı ve elektron miktarı; zaman, konum, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketlilik ile yakından ilgilidir. İyon kürenin konumuna göre değışen kırılma indisi, YKS uydu işaretleri için taşıyıcı frekansların fonksiyonudur. Bu bölümde, iyon küredeki dalga yayılımını sağılayan ve etkileyen, iyon küre bölgelerinin yapısına yer verilecektir.

2.1 D-Bölgesi

D-Bölgesi, dünya yüzeyinden yaklaşık 50 km ila 90 km yükseklikte yer alan katmandır. Bu bölge, yaklaşık 65 km'de maksimum iyonlaşmayla oluşan D katmanı ve yaklaşık 55 km'de maksimum iyonlaşmayla oluşan C katmanı i olmak üzere iki farklı katmandan oluşur. Sakin koşullarda bu bölge yalnızca gündüz saatlerinde mevcuttur; bununla birlikte, güneşten kaynaklanan ve jeomanyetik bozulmalarla ilişkili yüksek enerjili elektronlar ve protonlar tarafından günün veya gecenin herhangi bir saatinde ek D-katmanları üretilebilir. Ancak bu bölgenin iyonizasyonu metreküpte 107 ila 1010 elektron oranında çok düşüktür ve sonuç olarak Yüksek Frekans (YF) (HF-High Frequency) radyo dalgaları bu bölge tarafından yansıtılmaz ve bu bölge yüksek frekanslı radyo dalgalarının soğırulmasından sorumludur. Bir radyo dalgası

iyon küreye girdiğinde, serbest elektronlar dalgadaki alternatif elektrik alanı tarafından harekete geçirilir. Dalgadan serbest elektronlara aktarılan enerji, elektronlar bir molekülle çarpıştığında kaybolur. Bu nedenle en büyük enerji kaybı, soğrulma kaybının orantılı olduğu Nn miktarının (N elektron yoğunluğu ve n elektronlar ve nötr moleküller arasındaki çarpışma frekansı) maksimum değerine ulaştığı D bölgesindedir (URL-1).

D-Bölgesi, iyonlaşmanın en az olduğu bölgedir. Bu bölgede iyonlaşma, yüksek enerjili X ışınları ile gerçekleşir ve güneşin doğmasının hemen ardından iyonlaşma başlar. İyonlaşmanın etkisiyle uzun dalga ve orta dalga frekans bandındaki işaretler D-Bölgesi tarafından ya soğrulur ya da zayıflatılır. Bu bölgedeki soğurulma saptırıcı olmayan soğurulma diye adlandırılır çünkü yansıma seviyesinin altında meydana gelir ve kırılma indisinin gerçek kısmı yaklaşık 1 olduğu zaman ($n \sim 1$) baskın hale gelmektedir (ICEPAC).

D-Bölgesi'ndeki iyonlaşmanın temel kaynağı, Galiktik ışınlarıdır. Ayrıca, 121,6 nanometre (nm) boyundaki Lyman dalgaları, NO'yi iyonlaştırır. Bundan başka, yüksek güneş ışığı temelli etki, N_2 ve O_2 'yi iyonlaştırarak, elektron yoğunluğu kaynağı oluşturur. D-Bölgesi'ndeki elektron yoğunluğu ortalama, metreküpde 1010 civarındadır (Karatay, 2010).

D-Bölgesi, dalga kılavuzu içinde yol alan çok alçak frekans dalgalarını etkiler. Bu durum, uzun menzil çok alçak frekans iletişimi için önemlidir. Kısa menzil iletişim için alçak frekans ve orta frekans dalgalarını kırar. Yüksek Frekans (YF) dalgalarını (1 MHz in üzerindeki frekanslar) emer. D-Bölgesi'ndeki soğrulma, tüm frekanslar için önemlidir çünkü iyonlaşması Ultraviyole (UV) ışınması ile gerçekleşir. Soğurulma derecesi, soğurulma faktörü ile ifade edilir. Soğurulma faktörü, çarpışma frekansı ve elektron yoğunluğunun çarpımı ile doğru, dalga frekansının karesi ile ters orantılıdır. Değişimi de $\cos \chi$ ile gösterilir. Burada χ , güneşin zirve açısıdır. Gün batımından sonra D-Bölgesindeki iyonlaşma hızla azalır. Gün batımından 2 ila 3 saat sonra saptırıcı olmayan soğurulma da ihmal edilebilir seviyeye düşer (ICEPAC).

D-Bölgesi'ndeki iyonlaşma derecesi ayrıca GLS döngüsüyle birlikte değişir. GLS maksimumları sırasında, gündüz vakti, 5 MHz'e kadar olan radyo dalgaları genellikle tamamen korunur. 5 MHz'den 10 MHz'e kadar, dalgalar hala ciddi ölçüde soğrulmayla karşı karşıya kalır. 10 MHz'den yukarıya doğru dalgalar, sonraki katmanı karşılamak için hareketlerine devam eder ve önemli ölçüde daha az daralma ile D-Bölgesi'ne sızar. Akşam saatlerinde D-Bölgesi'nde iyonlaşması neredeyse tamamen kaybolur ve bu nedenle hiçbir şekilde azalma olmaz. Güneş patlamaları ve güneş hareketliliğiyle ilgili diğer durumlar, D-katmanını önemli ölçüde iyonlaştırabilir ve bir şekilde geçici bir radyo haberleşmesinde güç kesintisine neden olabilir (Rishbeth ve Garriott, 1969).

2.2 E-Bölgesi

E-Bölgesi, 90 ila 140 km yüksekliklerinde yer alır. Yaklaşık 120 km'de (metreküp 1011 elektron) maksimum elektron yoğunluğuyla birlikte E-Bölgesi, D-Bölgesi gibi O_2^+ ve NO^+ iyonları ile şekillenir. D-Bölgesi'ne benzer şekilde E-Bölgesi, yerel öğlen saatlerinde maksimum iyonlaşma ile gündüz özellikleri gösterir. Bu bölgedeki serbest elektron miktarı, gerçekte, maksimum yüksekliğe karşılık gelen günlük maksimum ve yazın mevsimsel maksimum ile güneşin zirve açısına büyük ölçüde bağlıdır. Sakin koşullarda E-Bölgesi'nde gece vakti de iyonlaşma gerçekleşir. Bu bölge içinde, farklı mekanizmalar nedeniyle, Es tabakası (Es: Sporadic E-Layer) olarak adlandırılan oldukça değişken yoğun ve ince bir tabaka ortaya çıkar. Bu tabakanın kalınlığı 0,2 ile 2 km arasında değişmektedir. Orta ve düşük enlemlerde bu katmanın ortaya çıkma olasılığı yaz mevsimi gündüz saatlerinde fazladır. Yüksek enlemlerde ise meydana gelme olasılığı gece saatlerinde daha yüksektir (URL-1).

E-Bölgesi, işaretler üzerinde kırım etmesine sahiptir. Gün içinde 20 MHz'e kadar olan YF dalgalarını kırar. Bu bölgede iyonlaşma gece saatlerinde büyük ölçüde azalır. E-Bölgesi, düşük enerjili X-ışınları ile şekillenir ve uydu işaretlerine etkisi çok azdır. Es katmanında, 100-150 MHz arasındaki frekanslara sahip sinyaller yansır ve 1000 km üstünde mesafelere ulaşabilir. Düzensiz E-Bölgesi'nin çok ince olduğu saatlerde, radyo dalgaları bölgeden içeri kolaylıkla girer ve dünyaya daha yukarıdaki bölgelerden geri dönerler (Nayir, 2007).

E-Bölgesi, çoğunlukla hassas X-ışınları ve UV ışınları tarafından iyonlaştırılır. İyonlaşma, 1-10 nm boyundaki X-ışınlarına ve atomik oksijenin UV ışınlarıyla iyonlaşmasına dayanır. Genellikle 5 ile 10 km kalınlığında hafif bir katmandır. En fazla iyonlaşma, öğleden sonraya yakın olur ve genellikle akşam saatlerinde kaybolur. 1980'lerin ortalarında yapılan araştırmalarda, E-Bölgesi'nin akşam saatlerinde tamamen kaybolmadığını ortaya çıkardı. İyonlaşma şafaktan sonra hızla artar, akşam karanlığında hızla azalır ve en büyük yoğunluğa öğleden sonra erken saatlerde ulaşır. E-Bölgesinin düşey profil özellikleri, esas olarak iyonlaşma ve yeniden birleşmenin olası etkileri tarafından kontrol edilir. Akşam saatlerinde E-Bölgesi zayıflar. Alacakaranlıktan sonra E-Bölgesi'ndeki bir genişleme, radyo dalgalarının katmandan yansıma yoluyla gidebileceği alanı genişletir (Canck, 2007).

E-Bölgesi'nin haberleşme açısından en önemli karakteristik özelliği, kritik frekansının zamana ve coğrafik konuma bağlı değişimidir. Bu nedenle, E-Bölgesi ile ilgili diğer özelliklerin çoğu öngörülebilir özelliklerdir. E-Bölgesi'nin en alt yüksekliği ve elektron yoğunluğunun en büyük değeri, zamanın ve coğrafik konumun fonksiyonu olarak iyonogramlardan elde edilebilmektedir. Es için yoğun araştırmalar yapılmakla birlikte, bu kavramın sınıflandırılması henüz açıklığa kavuşturulamamıştır. Farklı Es durumlarının, eğik radyo yayılımının eğiş gelişi üzerindeki etkileri henüz tespit edilememiştir. Bu nedenle, Es'yi şekillendirmek için anlamlı istatistiklerin derlenmesi zor olmaktadır (ICEPAC).

2.2.1 Düzensiz E-Bölgesi

Düzensiz E-Bölgesi, (Es), E-Bölgesi'nin en fazla iyonlaşmaya sahip olduğu yüksekliğin yakınında gözlenmektedir. Es, çok yüksek frekanslara kadar (75 MHz'den büyük) dalgaları ya tamamen yansıtılabilmektedir (örtme) ya da kısmen yansıtılabilmektedir (yarısaydam). Bu etki, radyo haberleşmesi için hem faydalı hem de zararlı olabilmektedir. Bu bölge, aynı zamanda kullanışlı frekans aralığını genişletebilmektedir. Bu bölgedeki iyonlaşmanın fiziksel yapısı tam olarak anlaşılammıştır. Fakat farklı coğrafik bölgeleri için mekanizmanın farklı olabileceği kabul edilmektedir (Bowles, 1966; ICEPAC).

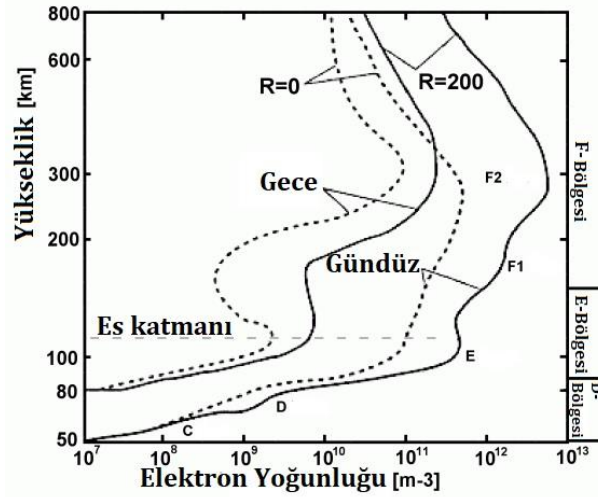
Tek bir Es bulutu kullanılarak 800–2200 km iletişim mesafeleri gerçekleştirilebilir. Mesafedeki bu değişkenlik, bulut yüksekliği ve yoğunluğu gibi bir dizi faktöre bağlıdır. En büyük Kullanılabilir Frekans (MUF-Maximum Usable Frequency) da büyük ölçüde değişir fakat en çok da FM yayın bandı (87,5-108 MHz), Band I VHF (Very High Frequency) televizyon (Amerikan kanalları 2-6, Rus kanalları 1-3 ve Avrupa kanallarını içeren 25-150 MHz aralığındadır 2-4, ikincisi artık Batı Avrupa'da kullanılmamaktadır), CB radyo (27 MHz) ve 2 metrelik, 4 metrelik, 6 metrelik ve 10 metrelik amatör radyo bantları içeren 25-150 MHz aralığında değişmektedir (Davies, 1990).

2.3 F-Bölgesi

F-Bölgesi, Kısa Dalga (KD) haberleşmesi açısından, iyon kürenin en önemli bölgesidir. İyonkürenin 140 km yüksekliği itibariyle başlar ve UV ışınlarıyla şekillenir. Elektron yoğunluğu bakımından iyon kürenin en zengin bölgesidir. Gündüz saatlerinde bu bölge, F1 ve F2 katmanı olmak üzere iki katmana ayrılır. Geceleri bu iki katman, genellikle F2 katmanı olarak adlandırılan tek bir F katmanı oluşturmak için birleşir. F-Bölgesi, düzenli değildir ve bu düzensizliği nedeniyle KD sistemlerinin çalışma parametrelerinin öngörülerinin güvenilir olabilmesi için bu bölgenin karakteristiklerinin kısa zaman ölçekli kestirimlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

F1 katmanı, gündüz F katmanının alt kısmıdır. Yer'in yaklaşık 140 ila 240 km yukarısına uzanır ve yalnızca gündüz saatlerinde var olur ve geceleri kaybolur. F1 katmanında en fazla NO^+ ve O_2^+ iyonları bulunur. İkinci olarak da O^+ ve N^+ iyonları bulunur. Bu katmandaki elektron yoğunluğu ile güneşin gelme açısı arasında sıkı bir ilişki vardır. Bu katmandaki maksimum elektron yoğunluğu, metreküpte 1011 elektrondur ve maksimum yoğunluk, güneşin doğrudan tepede olduğu yerel saatle öğleden kısa bir süre sonra ortaya çıkar. F1 katmanının en önemli özelliği, F2 katmanından geçen YF dalgalarını soğurmasıdır. GLS'nin azlığında ve jeomanyetik fırtınalar döneminde bu katman, yaz mevsiminde kıştan daha berraktır (URL 1; McNamara, 1994; Komjathy, 1997; Türel, 2008; Karatay, 2010).

F2 katmanı, Yer'in yaklaşık 245 ila 400 km yukarısına kadar uzanır. Günün 24 saati mevcuttur ancak coğrafi konum, güneş aktivitesi ve yerel saate göre tepe yüksekliği (F2 piki) değişir. Bu katman için kritik frekans yerel öğleden sonra zirve yapar (metreküpte 1012 elektron) ve gece boyunca kademeli olarak azalır. F-Bölgesi'nin alt kısmındaki iyonlar esas olarak NO^+ 'dır ve üst kısımda ağırlıklı olarak O^+ ve H^+ 'dır. F2 katmanının maksimumunun yanı sıra, elektron yoğunluğu tekdüze bir şekilde azalmaya başlar ve üst iyon küre, sarkan manyetosfer ile yavaşça birleşir. Şekil 2.1'de iyon küredeki elektron yoğunluğunun gündüz ve gece profilleri ve buna bağlı olarak iyon küre bölgeleri verilmiştir. Bu şekilde R ile ifade edilen, aylık medyan güneş indisini temsil etmektedir (URL-1).



Şekil 2.1 İyon küredeki elektron yoğunluğunun yükseklikle değişimi ve iyon küre bölgeleri (URL-1)

F2 katmanı, KD yayılımı açısından iyon kürenin en önemli katmanıdır. Elektron yoğunluğuna en fazla sahip bölge olmasından dolayı, YF radyo dalgalarını diğer bölgelere göre daha fazla yansıtır. Bu katmanda O^+ iyonuyla birlikte H^+ , He^+ ve N^+ iyonları da bulunur. F2 katmanı, KD işaretlerini yansıtıcı özelliğe sahip olduğundan, dünya çapında KD haberleşmesinin yapılabilmesine önemli ölçüde kolaylık sağlamaktadır. Bu katman, iyonlaşmanın çok değişken bir katmandır. F2 katmanının uzunluğu ve yoğunluğu zamana, mevsime ve güneş hareketliliğine göre değişimler sergiler (Karatay, 2005). Bu bölgenin kritik frekansı, ocak ayında yaz aylarından daha yüksek olabilmektedir. Bu katmanın elektron yoğunluğu, güneş hareketliliğine bağlı olarak metreküpte 1012 elektrona çıkmaktadır.

3. İYONKÜRE BOZULMALARINA NEDEN OLAN ETMENLER

İyon küre, atmosferin çok küçük bir parçası olmasına rağmen, radyo dalgalarının geçişi üzerindeki etkisi nedeniyle çok önemlidir. Radyo dalgalarının iyon kürede yayılması, iyon kürede meydana gelen günlük, mevsimsel, güneş döngüsüne bağlı düzenli değişimlerinden ve ayrıca farklı kısa ve uzun vadeli değişikliklerden güçlü bir şekilde etkilenir. Kısa dönemli değişimler temel olarak, güneş tarafından sürekli olarak yayılan ve “güneş rüzgârı” nı oluşturan elektronlar ve protonlar gibi yüklü parçacık akılarının üst atmosfer üzerindeki etkisinden ortaya çıkar. Güneş aktif olduğunda, manyetik fırtınalara ve iyon kürenin alt bölgelerinde soğurma fenomeni, Yayılmış F (Spread F), iyon küresel fırtınalar, iyon küresel düzensizlikler gibi iyon küre bozulmalarına neden olan olağanüstü parçacık emisyon olayları meydana gelebilir. İyon küre bozulmalarının süresi, enleme, parçacıkların enerjisine, güneş patlamaları, Koronal Kütle Atımı (CME-Coronal Mass Ejection) gibi diğer güneş olaylarının eşzamanlı meydana gelmesine bağlı olarak değişir ve birkaç dakikadan 1-2 güne kadar sürebilir. Farklı olaylar birbiriyle ilişkisiz olabildiği gibi, güneş hareketliliğinin az olduğu bir dönemde de meydana gelebilmektedir. Yüksek enlem bölgelerindeki iyon küre, jeomanyetik alan çizgilerinin düzeni ile doğrudan dış uzaya bağlanır ve daha sonra yukarıda bahsedilen bozulmalara ve karışıklıklara maruz kalır.

Uzun zamandır yapılan çalışmalarda, güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğin, iyon kürenin sakin olarak nitelendirilen durumundan sapmalara neden olduğu saptanmıştır. Literatürdeki çok sayıda çalışmada, jeomanyetik fırtınaların, güneş hareketliliğinin, yüksek GLS'nin ve Güneş Patlamalarının (SF-Solar Flare), elektron yoğunluğunda ve özellikle de TEİ'de güçlü bozulmalara neden olabileceği ortaya konmuştur (Rishbeth ve Garriot, 1969; Vlasov vd., 2003; Zhang ve Xiao, 2003; Biqiang vd., 2007). Jeomanyetik bir fırtına sırasında, uzay havası daha savunmasız hale gelir. Mesela, St Patrick Günü fırtınası (17-21 Mart 2015), Halloween fırtınası (29 Ekim - 3 Kasım), 24-26 Ekim 2011 fırtınası gibi çok şiddetli jeomanyetik sonra, iyon kürede ciddi bozulmalar gözlenmiştir. Yüksek GLS yıllarında ve yaz mevsiminde iyonlaşmanın arttığı ve sonuç olarak TEİ'nin günlük dinamik aralığının orta enlem bölgeleri için 40 TECU'ya ulaştığı da gözlemlenmiştir.

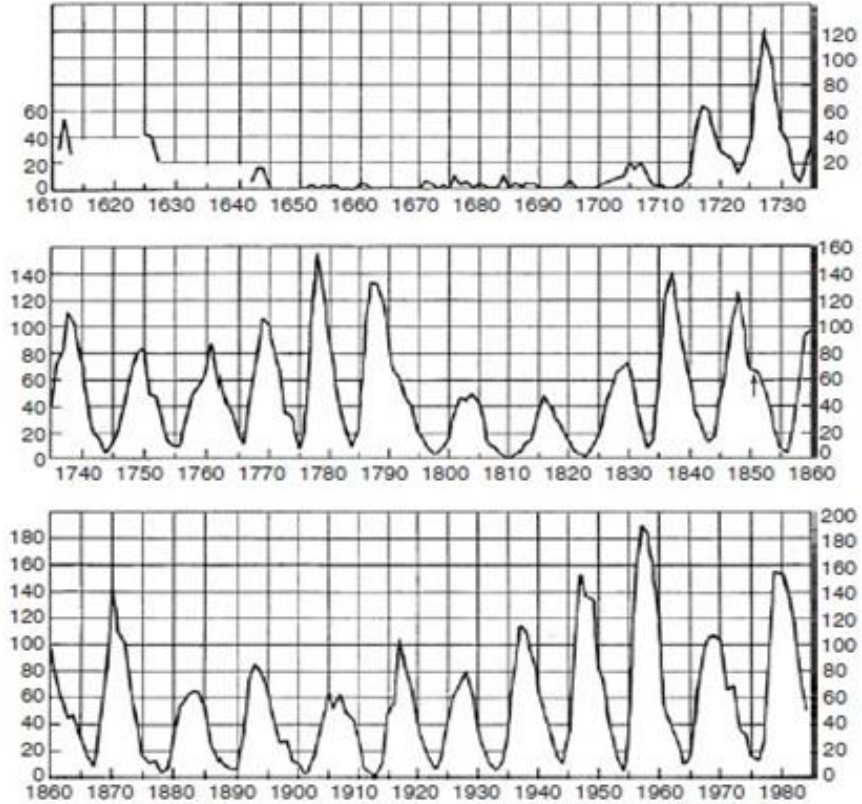
Güneş Patlamaları, uzay havasının en yoğun tedirginliklerinden biri olarak kabul edilir. Güneş Patlamaları sırasında güneş, yüksek enerjili protonları ve elektronları serbest bırakır ve radyo dalgalarının yayılmasını etkileyen tüm dalga boylarındaki radyasyonu artırır. Güneş Patlamaları sırasında, EUV (Extrem Ultra Violet)'nin soğurulmasındaki ani bir artış, iyonlaşmada dakikalardan saatlere kadar sürebilen bir artmaya neden olur (Yasyukevich vd., 2018; Karatay, 2020b).

Son yıllarda yapılan birçok çalışmada, sismik hareketlilik öncesi, süresince ve sonrasında, elektron yoğunluğu, iyon yoğunluğu, iyon küre katmanların kritik frekansları, iyon sıcaklıkları ve TEİ gibi iyon küre parametrelerinde önemli ölçüde bozulmalar gözlenmiştir (Liu vd., 2004; Pulnits vd., 2005; 2007; Karatay vd., 2010; Karatay, 2020a; 2020b). Deprem öncülleri, depremin merkez üssünden birkaç yüz kilometre alana kadar ve birkaç gün sonrasına kadar gözlemlenebilmektedir (Karatay vd., 2010; Karatay, 2020a). Pulnits vd. (2003), Avrupa iyonosonda ağından elde edilen aylık verilerle çalışmış ve olası öncüllerin sismik aktivite ile tutarlı olduğunu gözlemlemiştir. Karatay vd. (2010), araştırmalarında, farklı sismik özelliklere sahip altı deprem seçmiş ve deprem bölgelerine 150 km'den daha az mesafede yer alan istasyonlar için güçlü deprem öncüllerinin tespit edilebileceği ortaya koymuştur. Tüm bu öncüllerle birlikte, depremlerden kaynaklanan iyon küresel bozulmalar, KİB olarak bilinen büyük ölçekli dalgalar ve dalga benzeri salınımları içermektedir. Bu bölümde, çalışmanın ana kapsamı olan iyon küresel bozulmalara neden olan güneş, jeomanyetik ve sismik hareketlilik etmenlerine yer verilecektir.

3.1 Güneş Hareketliliği ve Güneş İndisleri

Güneş yaklaşık 27 günlük bir süre ile döner, ancak güneşin yüzeyi katı olmadığı için ekvator (25 gün) ve kutuplar (31 gün) arasında bir farklılık olmaktadır. Bu dönüş ve plazma yayılımı (konveksiyonu), bir dinamo hareketi yoluyla yoğun elektrik akımları ve manyetik alanlar üretir. Bununla birlikte, üretilen manyetik alanlar, zamansal değişimler gösterir. Özellikle, 22 yıllık bir döngüyü takip eden ve güneşin manyetik kutuplarının polaritesindeki değişikliklerle çakışan manyetik aktivitede genel bir artış ve azalmalar meydana gelir. Güneşin manyetik hareketliliğinin başlıca tezahürlerinden biri, aktif bir güneş üzerindeki karanlık bölgeler olan güneş lekelerinin ortaya

çıkmasıdır. Birkaç saatten birkaç aya kadar sürebilen güneş lekeleri, fotosferde meydana gelir ve fırtınalı yerel manyetik alanların bir sonucu olarak ortaya çıkar. Fırtınalı manyetik alanlar aşağıdan enerji akışını tıkar ve sonuç olarak, güneş lekeleri çevredeki alandan daha soğuk kalır. Bu durum onların karanlık görünümünü açıklar çünkü daha soğuk bölgeler daha az elektromanyetik radyasyon yayar. Güneş Lekelerinin Sayısı (GLS)'nin, 11 yıllık bir döngü ile değiştiği bilinmektedir ve lekelerin kaydı 300 yıldan fazla zamandır tutulmaktadır. GLS, günden güne değiştiği için genellikle yıllık ortalamalar alınır. Şekil 3.1a, 1610 ile 1985 arasındaki yıllık ortalama GLS; Şekil 3.1b de 1985 ile 2008 arasındaki GLS göstermektedir (Schunk ve Nagy, 2009).



(a)



(b)

Şekil 3.1 (a) 1610'dan 1985'e kadar yıllık ortalama Güneş Lekelerinin Sayısı; (b) 1985'ten 2008'e kadar Güneş Lekelerinin Sayısı (Schunk ve Nagy, 2009)

Bazen GLS üzerindeki atmosferde Güneş Patlaması (GP) adı verilen güçlü patlamalar olur. Bu parlak ışık parlamaları yalnızca birkaç dakika ila birkaç saat sürer, ancak patlamalar uzaya enerjik parçacık patlamaları gönderir.

Başka bir tür GP de bir fıskırmadan kaynaklanmaktadır. Güneşin üst atmosferine kadar uzanır ve döngünün uçları güneş lekelerinde köklenmiş, kapalı bir manyetik akı tüpünün döngüsünü takip eder. Güçlü, kavisli manyetik alan sıcak plazmayı hapseder ve yoğun ısınma nedeniyle ısı iletimli cepheler, sıcaklığı 20–30 milyon Kelvin'e yükselterek döngülerin içinden geçebilir. Diğer bir kütle salım biçimi de Koronal Kütle Atımı (CME) olarak isimlendirilir. CME'nin önceleri patlamalarla ortaya çıktığı düşünülüyordu, ancak daha sonra CME'nin patlamalarla ilişkili olmadığı ortaya çıkmıştır.

Güneşteki, enerji kaybı hem elektromanyetik radyasyondan hem de parçacık çıkışından kaynaklanmaktadır; yayılan enerji de kayıp sürecidir. Tüm dalga boylarında saniyede yayılan enerji, yaklaşık olarak sabittir ve 1370 Watt m^{-2} değerinde olan bu enerji, güneş sabiti olarak adlandırılır. Ana enerji katkıları, Kızılötesi (%52), görünür (%41) ve Ultra Viyole (<%7) olmak üzere üç spektral bölgeden oluşur. Radyo ve X-ışını yayılımları büyük dalgalanmalar gösterir, ancak bunların toplam yayılan enerjiye katkıları çok azdır. Parçacık çıkışına (güneş rüzgârı ve CME'ler) bağlı enerji kaybı da çok olmaktadır. Bununla birlikte, güneş rüzgârı ve CME'nin iyon küre ve atmosfer üzerinde çok önemli etkileri vardır. Benzer şekilde, toplam yayılan enerjinin yalnızca

yaklaşık %0,1'ini oluşturan EUV radyasyonu, iyon küre için önemli bir plazma kaynağıdır (Schunk ve Nagy, 2009).

İyonküre-Manyetosfer sistemi ve etkileşimi, çok büyük ölçüde güneş hareketliliğinden etkilenir. Manyetosfer doğrudan güneş rüzgarlarından ve gezegenler arası manyetik alanın doğrultusu ve şiddetinden etkilendiğinde, X-ışınları ve UV ile şekillenmiş olan iyon küre de temel olarak güneş aktivitesi ve jeomanyetik tedirginliklerin etkisiyle değişimlere uğrar. EUV ve X-ışınları dalga boyu aralığındaki güneş radyasyonu, üst atmosferdeki nötr bileşenleri uyarır, ayırır ve iyonlaştırır. Bu yayılımlar güneş atmosferinin farklı bölgelerinden (kromosfer, geçiş bölgesi ve korona) gelir ve bu nedenle hem kısa hem de uzun vadeli değişkenler dalga boyuna bağlıdır. Güneş akısının bu önemli dalga boyu bölgesinin davranışı hakkında ayrıntılı bilgi, termosfer ve iyon küreyle ilgili nicel çalışmalar için çok önemlidir (Perrone ve Francesch, 1998). Tüm bu bahsedilen, güneş hareketliliğinin sonucu olan ve iyon küreyi çok fazla etkileyen bu olgular, güneş indisleri olarak isimlendirilen bazı indislerle tanımlanır. Bu bölümde, güneş indisleri olarak bilinen tüm indislere yer verilecektir.

3.1.1 Güneş Akısı (F10.7)

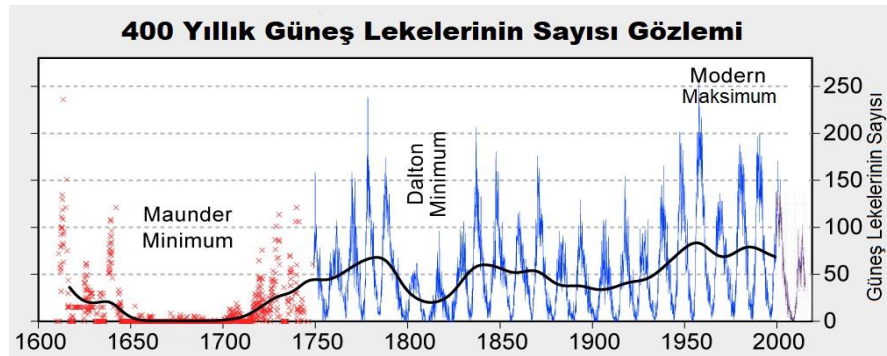
Güneş Akısı (Solar Flux), F10.7, güneş aktivitesinin temel göstergesi olarak ve güneşten alınan seviyeyi veya radyasyonu belirlemek için kullanılır. Birimi, SFU'dur ve 2800 MHz (10,7 cm) frekansında yayılan radyo gürültüsü veya akı miktarı olarak ifade edilir. Bir SFU, Hertz ve metrekare başına 10^{-22} Watt'a eşittir. Kanada, Columbia'daki Penticton Radyo Gözlemevi'nde günlük olarak rapor edilir. Güneş Akısı, iyonlaşma miktarı ve dolayısıyla F2 katmanındaki elektron yoğunluğu ile yakından ilişkilidir. Sonuç olarak, uzun mesafe haberleşmesinde önemli göstergedir (Schunk ve Nagy, 2009; URL-2). Güneşten gelen iyonlaştırıcı radyasyon seviyesi, Güneş Akısı ile orantılıdır. Doğrudan bir ilişki yerine istatistiksel bir ilişki vardır, çünkü 2800 MHz'de alınan radyo gürültüsü yoğunluğu iyon kürede iyonlaşmayı yaratan radyasyondan yaklaşık bir milyon kat daha azdır (URL-3). Güneş Akısı için değerler, 50 kadar düşük veya 300 kadar yüksek olabilir. Düşük değerler, Maksimum Kullanılabilir Frekansın (MUF) düşük olacağını ve özellikle yüksek YF bantlarında genel koşulların çok iyi olmayacağını gösterir. Tersine, yüksek değerler de genellikle normal frekanslardan daha yüksek, uzun mesafe haberleşmesi için yeterli iyonlaşma

olduğunu gösterir. Tipik olarak 200'ü aşan değerler, daha kısa süreler için 300'e kadar yüksek değerlerin gözlemlendiği güneş lekeleri döngüsünün zirvesi sırasında ölçülür (URL-2).

YKS'den türetilen F10.7 indisi, YYS navigasyon sinyalinde iletilen iyon küresel model katsayılarından çıkarılır. J. Klobuchar tarafından YYS tek frekans kullanıcıları için özel olarak geliştirilen bu model, iyon küresinin YYS frekansları üzerindeki etkisinin, konumun, günün saatinin, mevsimin ve F10.7'nin bir fonksiyonu olarak kestirilmesine olanak sağlar (URL-4).

3.1.2 Güneş Lekelerinin Sayısı

Güneş Lekelerinin Sayısı (GLS) (SSN: Sun Spots Number), güneş hareketliliğini tanımlamak için geliştirilmiş en eski indistir. GLS, güneşin fotosferi çevresindeki alanlardan daha koyu lekeler olarak görünen geçici olaylardır. Konveksiyonu engelleyen manyetik alan akı yoğunluğunun neden olduğu düşük yüzey sıcaklık bölgeleridir. GLS genellikle zıt manyetik kutup çiftleri halinde görünür. Sayıları yaklaşık 11 yıllık güneş döngüsüne göre değişir. GLS, uzun dönemlerde değişir. Örneğin, 1900'den 1960'lara kadar, GLS'nin güneş maksimum eğilimi yukarı doğru; sonraki on yıllar boyunca da azmıştır. GLS, uydu ölçümlerinin kullanıma sunulduğu 1979'dan bu yana geçen süre boyunca güneş radyasyonunun yoğunluğu ile ilişkilendirilir. Güneş lekeleri döngüsünün güneş çıkışına neden olduğu değişim, güneş sabitinin %0,1'i düzeyindedir (ortalama güneş sabiti için 1366 W m^{-2} ile karşılaştırıldığında tepeden çukur aralığı $1,3 \text{ W m}^{-2}$). Şekil 3.2'de, dört yüz yıllık GLS gözlemlerindeki maksimum ve minimumlar verilmiştir (URL-5).



Şekil 3.2 Maunder ve Dalton minimumlarını ve Modern maximumu gösteren dört yüz yıllık GLS geçmişi (URL-5)

1848'de İsviçreli gökbilimci Johann Rudolph Wolf, GLS'nin günlük ölçümünü geliştirdi. Bugün hâlâ kullanılan yöntem, güneşin yüzeyinde görünen toplam nokta sayısını ve bunların kümelendiği grupların sayısını hesaplamaktadır çünkü her iki miktar da güneş lekesi hareketliliğini tatmin edici bir şekilde ölçmemektedir. Geliştirilen dizinin başlangıçta adı vardı, ancak şimdi daha çok uluslararası GLS serisi olarak anılmaktadır. Uluslararası güneş lekesi sayısı serisi bugün hâlâ Brüksel rasathanesinde üretilmektedir. Uluslararası sayı serisi, ilk olarak 1843'te Heinrich Schwabe tarafından bulunan, güneş döngüsü olan yaklaşık 11 yıllık bir periyodikliği göstermektedir. Bu nedenle bazen Schwabe döngüsü olarak da adlandırılır. Periyodiklik sabit değildir, ancak kabaca 9,5 ila 11 yıl aralığında değişir. Uluslararası GLS serisinde, yıllık değerler 1700'lere kadar uzanırken, günlük değerler yalnızca 1818'den beri mevcuttur. Olumsuz hava koşulları ve araştırmacının mevcut olmaması nedeniyle, "Güneş Lekelerinin Sayısı" aslında, farklı donanımlarla birden fazla yerde birden fazla kişi tarafından yapılan gözlemlerin ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Hesaplama yapılırken, küçük güneş lekelerini ve öznel hataları telafi etmek için her bir gözlemciye bir k ölçekleme faktörü atanır. Bağlı GLS'yi ifade eden R , aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (URL-5):

$$R = k(10g + s) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde, s , tek tek noktaların sayısını; g , güneş lekesi gruplarının sayısı ve k , gözlem koşullarını ve teleskop tipini (dürbünler, uzay teleskopları vb.) açıklayan değişken bir ölçeklendirme faktörünü (genellikle <1) ifade etmektedir. 1998 yılında, güneş diskinde görünen grupların sayısı şeklinde hesaplanan, farklı bir güneş lekesi hareketlilik indisi geliştirildi. Bu indis, teleskopun icat tarihi olan 1609'dan beri elde edilen güneş lekesi verilerini dâhil etmeye olanak sağladı (URL-5). Gözlemciler, günlük bir değere ulaşmak için, her biri kendi k faktörüne sahip birçok gözlemevinden gelen verileri birleştirerek GLS'yi elde etmektedirler.

GLS'ye bağlı olarak hesaplanan bir alt indis de R_{12} indisidir. R_{12} indisi, GLS'nin (R) 12 aylık koşma ortalaması olarak hesaplanır. Belirli bir k ayı için, R_{12} indisi şu şekilde hesaplanır (Perrone ve Franceschi, 1998):

$$R_{12} = \frac{1}{2} \left[\sum_{n-5}^{n+5} R_k + \frac{1}{2} (R_{n+6} + R_{n-6}) \right] \quad (3.2)$$

Yukarıdaki eşitlikte, R_k , k ayı için günlük GLS ortalamasını; R_{n+6} ve R_{n-6} , k ayından altı ay önceki ve sonraki ilgili R değerlerini ifade etmektedir (Perrone ve Franceschi, 1998).

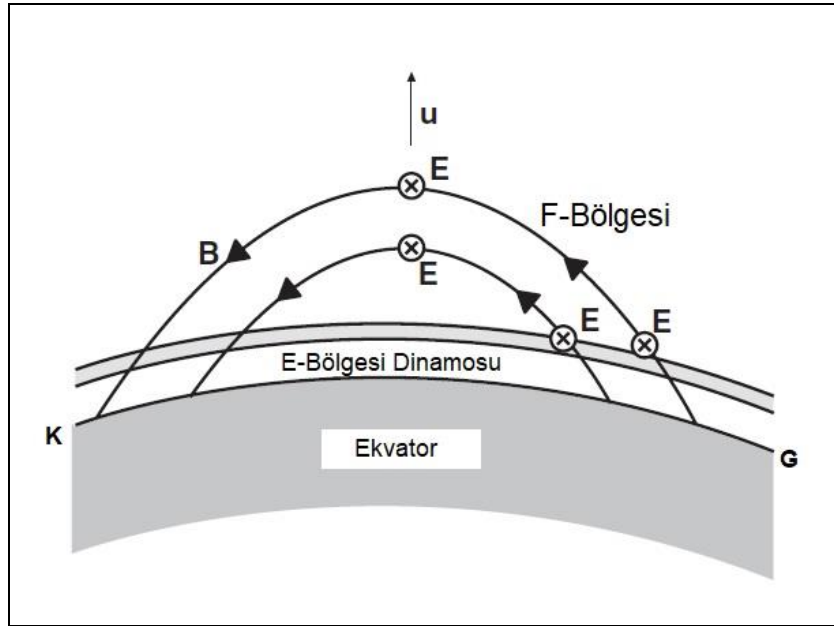
3.1.3 Güneş X-Işını Akısı

Büyük Güneş X-Işını parlamaları, Yer iyon küresini değiştirerek, Yer'in güneşli tarafındaki YF radyo yayınlarını engelleyebilir. Güneş patlamaları ayrıca, sonuçta jeomanyetik fırtınalara yol açabilen Koronal Kütle Atımı (CME) ile ilişkilidir. Bazı büyük işaret fişeklerine, diğer radyo frekanslarını etkileyebilecek ve uydu iletişimi ve radyo navigasyon sistemleri (YKS) için sorunlara neden olabilecek güçlü radyo patlamaları eşlik eder. Bu indiste, "maks" ile ifade edilen, söz konusu belirli parlama için yalnızca maksimum (tepe) X-Işını Akısı'nı belirtir. Bu nedenle, M sınıfı bir olay daha önce meydana gelmiş olsa bile, sonraki parlama yalnızca C sınıfı bir olaysa, tespit edilen bir sonraki parlama tarafından değiştirilecektir. Bir X-Işını olayının başlangıç, maksimum ve bitiş zamanını tanımlamaya yönelik ayrıntılar şu şekilde sıralanabilir: Bir X-Işını olayının başlama zamanı, 0,1-0,8 nm akıdaki dik bir tekdüze artışın 4 dakikalık bir dizide ilk dakikası olarak tanımlanır. X-Işını maksimumu, zirve X-Işını Akısı'nın dakikası olarak alınır. Bitiş zamanı, akı seviyesinin maksimum akı ile parlama öncesi arka plan seviyesinin ortasına düştüğü zaman olarak hesaplanır (URL-6).

3.2 Jeomanyetik Hareketlilik

Yer'in jeomanyetik alanı hem sakin hem de bozulmalı zamanlarda önemli ölçüde değişimler gösterir. Sakin olarak nitelendirilen zamanlarda, manyetik değişimler öncelikle Güneş-sakin (Sq-Solar quiet) ve ay (L-Lunar) akım sistemlerinden kaynaklanır. Bu mevcut sistemler, nötr bileşenler, iyonları jeomanyetik alan çizgileri boyunca sürüklerken dinamo elektrik alanlarının üretildiği E-Bölgesi'nde cereyan eder (Şekil 3.3). Ekvator üstünde E-Bölgesi'ndeki termosferik rüzgarlar, iyonlar B boyunca sürüklenirken dinamo elektrik alanları oluşturur. Bu dinamo alanları ekvatorial

Elektrojetler'den sorumludur. Dinamo alanları ayrıca dipol manyetik alan çizgileri boyunca iyon kürenin F-Bölgesi'ne iletilir. Sq akımı, yalnızca E-Bölgesi'nde iyonlaşmayı üretmekle kalmayan, aynı zamanda atmosferi ısıtan ve rüzgâra neden olan solar EUV radyasyonu tarafından yönlendirilir. Metrekare başına düşen akımını yönlendiren birincil rüzgâr bileşeni, yükseklik ile küçük bir faz ilerlemesine sahip olan günlük gelgitlerdir ve bu nedenle, iyon kürenin her yüksekliğinin katkısı, yapıcı bir etkiye sahiptir. Güneş Sq akım sisteminden sorumlu olduğu için, bu sistem ve ilgili manyetik bozulma, dünya dönerken batıya doğru hareket eder. Sq akımı tipik olarak yaklaşık 90 ila 200 km arasında gözlenir, ancak Pedersen akımının en büyük değere sahip olduğu yaklaşık 150 km'de en büyük değerini alır. Temelde doğu-batı yönünde olan polarizasyon elektrik alanı birkaç $mV m^{-1}$ mertebesinde ve karşılık gelen yer manyetik tedirginlik, orta enlemlerde yaklaşık 20 nT ile en büyük değerine ulaşır (Schunk ve Nagy, 2009).



Şekil 3.3 Ekvator üstündeki E-Bölgesi'ndeki termosferik rüzgarların, iyonları B boyunca sürüklenirken dinamo elektrik alanları oluşturması (Schunk ve Nagy, 2009)

Sq ve L akım sistemlerinin neden olduğu düzenli değişikliklere ek olarak, jeomanyetik alan manyetosferik süreçler tarafından bozulabilir. Bozulma alanı D' , sabit ve sakin değişim alanları, toplam alandan çıkarıldıktan sonra ortaya çıkan manyetik alandır. Bozulmalarla ilgili çoğu karakteristik zamanlar dakikalardan günlere kadar devam edebilir ve neredeyse tamamının etkileri, güneş rüzgârı tedirginliklerinin manyetosfer

üzerindeki etkilerine kadar izlenebilir. En büyük bozulmalara, Manyetik Fırtınalar denir. Tipik olarak, bozulma alanı iki bileşene ayrılır: $D' = Dst + Ds$. Burada Dst , fırtına zamanı değişimi (storm-time-variation) ve Ds , bozulma-günlük değişimini ifade etmektedir. Dst indisiyle ilgili bilgilere bu bölümde yer verilecektir. Manyetik bir fırtınanın genellikle üç aşaması vardır; başlangıç, ana ve düzelme (toparlama) aşamaları. İlk aşama, dünyaya bir güneş rüzgârı kesintisinin (şok, CME) gelmesi nedeniyle manyetosferin sıkışmasından kaynaklanır. Fırtınalar sık olarak aniden başlar ve buna Ani Fırtına Başlangıcı (SSC-Sudden Storm Commencement) denir, ancak fırtınalar Ani Fırtına Başlangıcı olmadan da kademeli olarak başlayabilir. Bazen manyetik alanda dürtüsel bir değişiklik meydana gelir, ancak bir fırtına gelişmez ve buna ani dürtü denir. Bir fırtına tipinin ilk aşaması, manyetosferin sıkışması nedeniyle Dst 'nin arttığı 2-8 saat sürer. Ana aşama sırasında, Dst , fırtına öncesi değerlerine göre genellikle 100 nT'den fazla azalır. Bu azalma, manyetik fırtınaların genellikle güneş rüzgârı ve manyetosferin verimli enerji bağlaşımına izin veren güneşe doğru gezegenler arası manyetik alanla ilişkili olması nedeniyle meydana gelir. Sonuç olarak, ekvatorial enlemlerde dünyayı çevreleyen batıya doğru akım olan halka akımı yoğunlaşır. Artan batıya doğru akım, güneşe doğru (dünyanın dipol alanının tersi) yatay bir H manyetik alanını indükler ve bu, fırtınanın ana fazı sırasında Dst 'nin negatif değerlere sahip olmasına neden olur. Bir günden fazla sürebilen düzelme aşaması, Dst 'nin kademeli olarak ön değerine yükseldiği bir zamana denk gelir. Bu durum, gelişmiş halka akımının kaynağının azalması ve fazla parçacıkların birkaç farklı mekanizma yoluyla kaybolması nedeniyle ortaya çıkar (Schunk ve Nagy, 2009).

Jeomanyetik hareketliliği tanımlamak için bazı indisler geliştirilmiştir. Bu bölümde, üç enlem bölgesindeki jeomanyetik bozulmaların bir göstergesi olarak geliştirilen bu indisler anlatılacaktır.

3.2.1 K İndisi

K indisi, tek bir jeomanyetik gözlemevi alanı için varsayılan sessiz gün eğrisine göre manyetik aktivitede 3 saatlik aralığın yarı-logaritmik yerel indisi olarak tanımlanır. Yarı logaritmik bir sayıdır ve bu nedenle, dünyanın manyetik alanının durumunun daha uzun vadeli bir görünümünü vermek için ortalaması alınmaz. Eylül 1939'da şu

anda Uluslararası Jeomanyetizma ve Aeronomi Derneği (IAGA) olarak adlandırılan Uluslararası Karasal Manyetizma ve Elektrik Birliği (IATME) tarafından kabul edildi. K indisinin hesaplandığı her istasyon için nano Tesla (1 nT=10⁻¹² Tesla) cinsinden manyetik alan ile arasındaki dönüşüm logaritmiktir (De Canck, 2007). K indisi ile manyetik alan arasındaki ilişki ve K indisinin dereceleri Tablo 3.1’de verilmiştir (Lincoln, 1967; Canck, 2007).

Tablo 3.1 Manyetik alan ve K indisi değerleri arasındaki genel ilişki ve K indisinin dereceleri (Lincoln, 1967; De Cranck, 2007)

K-indisi	K İndisi	Manyetik Alan (nT)
Aktif değil	0	0-5
Çok sakın	1	5-10
Sakin	2	10-20
Tedirgin	3	20-40
Aktif	4	40-70
Küçük fırtına	5	70-120
Büyük fırtına	6	120-200
Şiddetli fırtına	7	200-330
Çok şiddetli fırtına	8	330-500
Uç, aşırı fırtına	9	>500

K indisleri tüm enlemlerde hesaplanır ve tüm jeomanyetik indisler arasında en yaygın kullanılanıdır. Üç saatlik K indisi, üç saatlik bir süre boyunca normal günlük değişimden manyetik sapmaların bir ölçüsünü ifade eder. Jeomanyetik hareketlilik hakkındaki bilgiler, 0 ile 9 arasında değişen yarı logaritmik bir sayısal kod aracılığıyla sağlanır ve farklı sayılar, farklı jeomanyetik hareketlilik seviyelerine karşılık gelir (Rostoker, 1972; Perrone ve De Franceschi, 1998; Schunk ve Nagy, 2009).

3.2.2 Kp İndisi

Kp indisi, 44° ile 60° arasındaki güney ve kuzey enlemlerinde yer alan 12-13 istasyondan alınan 3 saatlik K-indisi değerlerinin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanır. Gottingen/ALMANYA’da oluşturulur (URL-7). Yani, Kp indisi, dünya çapındaki gözlemlerinde bulunan tüm K indislerinin gezegensel ortalamasıdır. Kp indisi, değişen adımlar ile bir birimin üçte biri ile belirtilir. Ölçek, bir birimin üçte biri olarak ifade edilen 0’dan 9’a kadardır: 0₀, 0₊, 1₋, 1₀, 1₊,8₋, 8₀, 8₊, 9₋, 9₀. (Schunk ve Nagy, 2009). Kp indisi, Yer’in manyetik alanındaki bozulmalar için mükemmel bir göstergesidir ve bu bozulmalardan etkilenen araştırmacılar için jeomanyetik uyarıların

ve uyarıların verilmesi gerekip gerekmediğine karar vermek için kullanılır. 0 ile 1 arasındaki değerler sakin koşulları temsil eder ve bu, yeterli düzeyde güneş akısına tabi olan iyi YF bandı koşullarını gösterir. 2 ile 4 arasındaki değerler, kararsız veya hatta aktif koşulları gösterir ve muhtemelen YF iletişimde bir bozulmada yaşanacaktır. Ölçeğin yükselmesi, 5 küçük bir fırtınayı, 6 daha büyük bir fırtınayı ve 7'den 9'a kadar YF iletişimlerinde bir kesinti ile sonuçlanacak çok büyük bir fırtınayı temsil eder. Jeomanyetik fırtınalardan etkilenen başlıca araştırmacılar, elektrik güç şebekesi, uzay aracı işlemleri, iyon küreden yansıyan ya da içinden geçen radyo sinyallerinin kullanıcıları ve aurora gözlemcileridir.

3.2.3 a ve A İndisleri

Jeomanyetik hareketliliğin yerel değişimine denk olan 3 saatlik bir eşdeğer genlik indisidir. K indisinin her bir değeri, eşdeğer 3 saatlik dizi olarak bir lineer ölçek olan a-indisine çevrilir (Canck, 2007; URL-7). Her 3 saatlik artışta, bir gözlemevindeki K indis, eşdeğer bir a indisine dönüştürülür. Tablo 3.2'de bu dönüşüm verilmiştir. A indis, ise, Yer'in manyetik alanının doğrusal bir ölçüsüdür. Bunun bir sonucu olarak, değerleri çok daha geniş bir aralığı kapsar. Günlük, ortalama bir indistir. Sekiz tane a indis değerin ortalaması, o gün için A indisini oluşturmak üzere alınır. 100 civarında değerlere kadar değişebilir. Çok şiddetli jeomanyetik fırtınalar sırasında 200'e kadar ve çok nadiren daha fazla değerlere ulaşabilir. Tablo 3.2'de

Tablo 3.2 K indis ve A indis değerleri arasındaki genel ilişki (Lincoln, 1967; De Cranck, 2007)

K indis	A indis
0	0
1	3
2	7
3	15
4	27
5	48
6	80
7	140
8	240
9	400

A indisi okuması bir gözlemevinden diğerine değişir çünkü manyetik parazitler yerel olabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için, indislerin ortalaması dünya genelinde alınır ve aynen Kp indisi gibi gezegensel bir indis olan Ap indisi elde edilir.

3.2.4 Ap İndisi

Bazı özel istasyonlardan elde edilen A indisinin ortalamasıdır. Bir dizi belirli Kp indisi istasyonlarından alınan verilere dayanır. Ap indisi, jeomanyetik hareketlilik için günlük ortalama bir seviye sağlar. K indisi ölçeğinin manyetometre dalgalanmalarıyla doğrusal olmayan ilişkisi nedeniyle, bir dizi K indisinin ortalamasını almak anlamlı değildir. Bunun yerine, her 3 saatlik K değeri, a indisine dönüştürülür. Günlük 8 a-değerinin ortalaması da belirli bir günün Ap indisini verir. Bu nedenle Ap indisi, yüksek seviyelerde jeomanyetik hareketliliğe sahip günlerin daha yüksek günlük Ap değerine sahip olduğu bir jeomanyetik hareketlilik indisidir (URL-8). Şekil 3.4'te, Ap indisi ile Kp indisi arasındaki ilişki verilmiştir (URL-6).

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

Şekil 3.4 Kp indisinden türetilen 3 saatlik Ap (eşdeğer aralık) indisi (URL-6)

Jeomanyetik ve iyon küresel fırtınalar birbiriyle ilişkili olsa da farklı olduklarını belirtmekte fayda vardır. Jeomanyetik bir fırtına, Yer'in manyetik alanının bozulmasıdır ve iyon küresel bir fırtına, iyon kürenin bir rahatsızlığıdır.

3.2.5 Dst İndisi

Dst (Disturbance storm time) indisi, küresel simetrik ekvatorial elektrojetin (halka akımı) yoğunluğunu ölçen, ekvatora yakın jeomanyetik gözlemleri ağından türetilen bir manyetik aktivite indisidir. Dst eşdeğer ekvator manyetik bozulma indisleri, düşük enlem yatay manyetik değişimin saatlik ölçeklendirmelerinden türetilir. Dst indisinin birimi, nano Tesla'dır. Uzay havası kapsamında kullanılan bir göstergedir. Güneş protonları ve elektronlarının neden olduğu, dünya çevresindeki halka akımının şiddeti

hakkında bilgi verir. Dünya etrafındaki halka akımı, dünyanın manyetik alanının tam karşısında olan bir manyetik alan üretir. Yani güneş elektronları ile protonları arasındaki fark yükselirse, dünyanın manyetik alanı zayıflar. Negatif bir Dst değeri, Dünya'nın manyetik alanının zayıfladığı anlamına gelir. Bu, özellikle güneş fırtınaları sırasında ortaya çıkar. Jeomanyetik bir fırtınanın yoğunluğu, ekvatorial enlemlerde, Yer'in manyetik alanına giren güneş yüklü parçacıkların sayısı hesaplanarak ölçülebilir. Bu sayı, bozulma fırtına zamanı veya Dst olarak adlandırılır. Güvenilir Dst ölçümleri 1950'lere kadar uzanmaktadır (URL-6).

Ölçüm alınan her bir istasyon için, sakin gün değişimi saf dışı edilir ve uzun dönem yönsemesi çıkartılır. Ağ istasyonundaki her bir saat için (Greenwich saati), arta kalan alanın, saatlik Dst değerini vermesi için ortalaması alınır. Bu değer daha sonra $\sec \theta_m$ ile çarpılarak düzeltilir. Burada, θ_m , istasyonun ortalama dipol enlemidir (Perrone ve Franceschi, 1998).

3.2.6 AE İndisi

AE (Auroral Electrojet) indisi, ilk olarak 1966'da Davis ve Sugiura tarafından auroral bölgedeki küresel elektrojet aktivitesinin bir ölçüsü olarak türetilmiştir. AE indisi artık, jeomanyetizma, aeronomi ve güneş-yer fiziğindeki araştırmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. AE, kutup bölgesi altında ve içinde akan gelişmiş iyon küresel akımlar tarafından üretilen kutup bölgesi manyetik hareketliliğinin küresel, sayısal (nicel) bir ölçüsünü sağlamak için geliştirilmiştir. İdeal olarak, kutup bölgesi etrafındaki yatay manyetik alanın (H) sakin gündüz değerlerinden bir andaki toplam sapma aralığı olarak ifade edilir. AE indisi, fırtına altı morfolojisi, iletişim uydularının davranışı, radyo yayılımı, radyo parıltısı ve gezegenler arası manyetik alan ile dünyanın manyetosferi arasındaki bağlaşım çalışmalarında bir bağıntı indisi olarak hem nitelik hem de nicelik açısından yararlı bir şekilde kullanılmaktadır (URL-9).

3.3 Sismik Hareketlilik

Atmosferik dalgalar iyon küreye ulaştığında, atmosferik katmandaki elektronların yoğunluğunda tespit edilebilir değişikliklere neden olurlar. Bu değişiklikler, GPS gibi küresel navigasyon uydu sistemlerinden (GNSS) gelen sinyaller iyon küreden

geçerken kaydedilebilir ve ölçülebilir. Aynı uydular, tsunamilerin neden olduğu iyon küredeki bozulmaları da tespit edebilir. Bir tsunami oluştuğunda ve okyanusta hareket ettiğinde, dalgalarının tepeleri ve çukurları, yerçekimi dalgaları olarak bilinen atmosferde hareketler yaratarak üstlerindeki havayı sıkıştırır ve genişletir. Yerçekimi dalgalarının bu dalgalanmaları, irtifa ile daha da incelen bir atmosfere yukarı doğru ilerlerken büyür. İyon küreye ulaştıklarında, yerçekimi dalgaları ayrıca dünyayı çevreleyen GNSS uydularının takımyıldızları kullanılarak da tespit edilebilir (URL-10). Deprem öncülleri için olası mekanizmalar eksik değildir. Bunlar, elektromanyetik gürültünün veya elektrik alanlarının sismik olarak gerilmiş alanlardan iletilmesini ve sismik stresin bulunduğu yerkabuğundan serbest bırakılan radonun ürettiği iyonların iyon küreye taşınmasını içermektedir (Rishbeth, 2006).

Bir depremi takiben iyon küresel etkiler iyi gözlemlenebilmektedir. Bunlar, binlerce kilometre seyahat eden iyon küresel bozulmalar (KİB) olarak bilinen büyük ölçekli dalgaları içerir. KİB'ler normalde yüksek bölge iyon küresindeki auroral bozulmalar veya alt atmosferdeki fırtınalar ve hava cepheleri tarafından başlatılır. 28 Mart 1964'te Alaska, California, Hawaii ve Colorado'daki iyonosondalar tarafından gözlemlenenler, o gün erken saatlerde büyük Alaska depreminin ($M = 9,2$) civarında ortaya çıkmıştır.

Pulinets vd. (2003), Avrupa iyonosonda ağından bir aylık verileri kapsamlı bir şekilde değerlendirdiler ve şüpheli öncüllerin uzamsal ölçeklerinin sismik hareketlilik ile tutarlı olduğu sonucuna vardılar. Silina vd. (2001), derin depremlerin kabuk depremlerinden daha iyi öncüler gösterdiğini bulmuşlar. Chen vd. (2004), 5 günlük keyfi bir gözlem süresi içinde, Tayvan için kestirilen TEİ verilerinde, 1994-1999 için Richter büyüklüğü 5,0 fazla olan 170 deprem ile 307 şüpheli öncül arasında pozitif bir ilinti tespit ettiler.

Literatürde, depremlerden önce olası İç Çekim Dalgaları (IGW-Internal Gravity Waves) veya Akustik Yerçekimi Dalgaları (AGW-Acoustic Gravity Waves) oluşumu üzerine birçok hipotez önerildi. Shalimov (1992), güçlü depremlerden önce iyon kürede gözlemlenen bozulmaların olası bir kaynağı ve sismo-iyon küresel bağlaşım mekanizması olarak atmosfer üzerindeki AGW etkisini ortaya koymuştur. Davies ve Archambeau'nun (1998); 17 Ocak 1994, $M = 6,7$; Northridge depreminin iyon küre

üzerindeki etkisini, GPS TEC tekniği ile deneysel olarak ölçen Calais ve Minster'in (1998) sonuçlarıyla benzer sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmada ise, AGW ile ilişkili TEİ değişimlerinin, iddia edilenden 2–2,5 kat daha az olduğu gözlemlendi.

Literatürdeki bazı çalışmalardaki teorik hesaplamalar (Pulinets vd., 1998a), dikey yer elektrik alanının iyon küreye etkili bir şekilde nüfuz etmeye başladığını ve anormal alan tarafından işgal edilen zemin yüzeyindeki alanın boyutu 200 km'yi aştığında elektron yoğunluğunda düzensizlikler oluşturduğunu göstermiştir. Bu alan, deprem hazırlık bölgesi ile veya başka bir belirleme ile öncül sismik hareketlilik bölgesi ile tanımlanabilir. Burada sismolojide kullanılan ön sarsıntılar, deformasyonlar, sismik dalgalar hız anomallikleri gibi olağan öncüler göz önüne alınır. Dobrovolsky formülü kullanılarak (Dobrovolsky vd., 1979; Pulinets ve Boyarchuk, 2004):

$$\rho = 10^{0,43M} \quad (3.3)$$

Elde edilir. Burada, ρ , depreme hazırlık bölgesinin yarıçapı ve M , depremin büyüklüğüdür. Mesela, $\rho = 100$ km için $M = 4,65$ elde edilir. Garavaglia vd. (2000), gözlemlenen deformasyonlar ile radon yayılımları arasında güçlü bir ilinti olduğu gözlemlenmiştir. Bu gözlemlerle, sismolojide kullanılan deprem hazırlık bölgesinin boyutunu, anormal elektrik alanının meydana geldiği bölge için kullanılan ölçek parametresiyle belirlemek mümkün olur. Radon yoğunluğundaki değişimler, yer kabuğundaki deformasyonlar ve çatlak oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle depreme hazırlık bölgelerinde, Radon yoğunlukları gözlemlenmelidir. Radon gazı, elektrik alanı üretim mekanizması için iyonlaşma kaynağı olarak kullanılabilir; böylece bu bölgeler de tanımlanabilir. Yukarıdaki Eşitlik (3.3) ile verilen tahmin kullanılarak, iyon kürenin tepkisi, büyüklüğü 4,65'ten fazla olan depremlerden beklenilebilir (Pulinets ve Boyarchuk, 2004).

Tahmin için başka bir faktör de basit ölçeklendirmedir. İyon kürenin ilk en iletken bölgesi olan E-Bölgesi ve uzamsal ölçeği iyon küre tabakasının yüksekliğine ulaştığında elektrik alanı iyon küreye girmeye başlar. 100 ile 200 km arasındaki bir yükseklik, elektrik alan alanı ve ilgili iyon küre reaksiyonu için bir geçiş boyutudur ve istatistiksel çalışmaların sonuçlarıyla bu gösterilmiştir (Chen vd., 2004). Sismik şoktan

önceki 5 gün içindeki iyon küresel öncüller, 5 büyüklüğündeki deprem vakalarının %73'ünde ve 6 büyüklüğündeki depremler için %100'ünde gözlemlendi. Bu nedenle $M = 5$ büyüklüğünü depreme hazırlık için iyon küresel duyarlılığının bir eşiği olarak kabul edebiliriz (Pulinets ve Boyarchuk, 2004).

4. İYONKÜRENİN RADYO DALGALARINA ETKİSİ

İyonlaşmış gazların radyo dalgalarını (YF veya kısa dalga) kırma kapasitesi nedeniyle, iyon küre, radyo dalgalarını dünyaya doğru gökyüzüne yansıtabilir. Gökyüzünün bir noktasında koordine edilen radyo dalgaları bu şekilde dünyaya geri dönebilir. "Sıçrama" veya "gökyüzü dalgası" yayılması adı verilen bu olay, 1920'lerden beri dünya çapında veya kıtalar arası ayrımları iletmek için kullanılmaktadır. Geri dönen radyo dalgaları, Dünya'nın yüzeyinden gökyüzüne bir kez daha yansyarak, farklı sıçramalarla daha belirgin yansımaların elde edilmesini sağlar. Bu özel teknik, günün veya gecenin saatine, mevsimlere, iklime ve 11 yıllık güneş lekesi döngüsüne bağlı olarak değişmektedir. Yirminci yüzyılın ilk yarısında, okyanus ötesi telefon ve iletim ve yayılımı, ticari ve politik yazışmalar için geniş ölçüde kullanıldı. Görece aldatıcılığı nedeniyle, Kısa Dalga (KD) iletişimi, büyük ölçüde yayın iletişim endüstrisi tarafından artık pek kullanılmamaktadır, ancak uydu tabanlı radyo iletişimi için önemini korumaktadır.

Bir radyo dalgası iyon küreye ulaştığında, dalğanın elektrik alan birleşeni iyon küredeki elektronları, radyo frekansı ile aynı frekansta titreşime zorlar. Titreşim enerjisi, elektronların yeniden birleşmesini ya da elektronların orijinal radyo frekansını yeniden ortaya çıkarmasını sağlar. İyon kürenin çarpışma frekansı, radyo frekansından düşük ve elektron yoğunluğu yeterli ise bu noktada tam yansıma gerçekleşir. Temel frekans, iyon kürede dikey olarak ilerleyip geri yansıyan bir dalğanın frekansının en üst değeri ile tanımlanır. İletilen frekansın, iyon kürenin plazma frekansından daha yüksek olması ihtimaline karşın, bu noktada elektronlar yeterince hızlı tepki veremezler ve işareti yeniden yaymaya hazır durumda olmazlar. Bu frekans elektron yoğunluğunun en büyük değeri ile doğru orantılıdır ve şu şekilde ifade edilir (Tascione, 1988; Aydogdu vd., 2003):

$$f_c = 9 \times 10^{-3} \sqrt{N_{e_{max}}} \quad (4.1)$$

Burada, $N_{e_{max}}$ ile verilen, metreküpteki elektron yoğunluğunun en büyük değeri ve f_c ise, Hertz cinsinden dalğanın kritik frekansıdır. Eşitlik (4.1) ile verilen frekans, plazma

frekansı olarak bilinir ve bir radyo dalgası için plazma titreşim frekansının dalga frekansına eşit olduğu noktada dalganın yansıdığı frekans olarak tanımlanır.

İyon küre, radyo dalgalarını kırabilir, yansıtabilir ya da yayılım yönünü değiştirebilir. Tüm bu etkiler, iyon küredeki serbest elektronların sayısıyla ilişkilidir. İyon kürede bir dalgaların kırılma indisi de elektron yoğunluğu miktarına bağlı olarak değişir. Kritik elektron yoğunluğu olarak tanımlanan bu yoğunluk değerinde, bir radyo dalgası yansyarak dünyaya geri döner. Tam da bu yansıdığı noktadaki en büyük frekansa değerine de kritik frekans denir (Tascione, 1988; Aydogdu ve Ozcan, 1996; Aydogdu vd., 2003; Aydogdu vd., 2007). İyon küre, yapısı gereği 30 MHz ve altındaki frekanslardaki dalgaları yansıtılmaktadır. 50 MHz'in çok üstündeki işaretler de iyon küreden geçebilir fakat iyon kürede zayıflama ve gecikme etkisine uğrarlar.

Güneşten gelen ışınımlar, iyon küre üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, güneş hareketliliği ve güneş patlamaları, KD sistemlerinde kesintiye yol açabilir. İyon küre saçıcı (dispersif) bir ortamdır. İyon kürenin Yerküresel Konumlama Sistemi (YKS) sinyallerine olan geciktirici, etkisi elektron yoğunluğuna bağlıdır. İyon küre, gezen bir elektromanyetik dalgayı, iki biçimde etkiler: Dalganın faz hızı artarken grup hızı azalır. Her iki etki de aynı büyüklükte ve ters işaretlidir. Başka bir deyişle, YKS kod ölçümleri gecikir ama taşıyıcı faz ölçümleri de hızlanır. Bu nedenle, uydu ile alıcı arasındaki metrik uzunluğa kıyasla kod ön-uzunlukları (pseudoranges) daha uzun, taşıyıcı faz ön-uzunlukları (pseudoranges) daha kısa hesaplanır. İşte iyon kürenin neden olduğu kırılmanın yarattığı uzunluktaki değişim, iyon kürenin Toplam Elektron İçeriği (TEİ) ile ilişkilidir (Nayir, 2007).

Uydulardan Yer üzerindeki alıcılara gönderilen sinyaller, iyon kürede, frekansın fonksiyonu olarak kırılmaya uğrar. Bu durum uydu sistemleri için düzeltilmesi gereken temel hataları ortaya çıkarır. Bu bölümde, uydulardan gönderilen elektromanyetik dalgaların, iyon küreyi geçerek Yer yüzeyindeki alıcılara erişme sürecinde kestirilen TEİ ve TEİ kestirimi için yaygın kullanılan YKS anlatılacaktır.

4.1 Toplam Elektron İçeriği

İyon kürenin Toplam Elektron İçeriği (TEİ), 1 metrekaresi kesitli bir silindir boyunca ki serbest elektronların toplam miktarı olarak tanımlanır. Uydu-Alıcı arasındaki hat boyunca hesaplanan TEİ, şu şekilde hesaplanır (Nayir, 2007; Karatay, 2010):

$$TEİ = \int_A^U N dl \quad (4.2)$$

Burada N , metreküpteki elektron yoğunluğu miktarıdır. TEİ'nin birimi TECU olup, $1 TECU = 10^{16} \text{ el}/m^2$ 'dir. İyon küre saçıcıdır, bu da iyon kürenin neden olduğu görünür zaman gecikmesinin, sinyalin frekansına bağlı olduğu anlamına gelir. Sinyalin iyon küreden geçmesi sırasında bu dağıtıcı (saçıcı) özelliği, kodların ve taşıyıcı dalgadaki modülasyonların, taşıyıcı dalganın kendisinden farklı şekilde etkilenmesine neden olur. P kodu, C / A kodu, navigasyon mesajı ve diğer tüm kodlar, grup gecikmesi olarak bilinen kavramdan etkilenir; yani gecikir veya yavaşlar. Ancak taşıyıcı dalganın kendisi iyon kürede hızlanır ve faz gecikmesi (phase delay) olarak bilinen kavramdan etkilenir. Bu durum bazen faz ilerlemesi olarak da adlandırılır. Grup gecikmesi TEİ'den etkilenir ve faz gecikmesi negatif olarak artar. Diğer bir deyişle, bir uydudan bir alıcıya bir kod gözlemi ile belirlenen aralık biraz daha uzun olur; bir taşıyıcı gözlem tarafından belirlenen aralık biraz daha kısa olur. Frekansın iyon küresel etkiye frekansa bağımlılığı aşağıdaki ifade ile açıklanmaktadır (Hawarey ve Ayan, 2004; Karatay, 2010).

$$\mathcal{V} = \frac{40.3}{cf^2} TEİ \quad (4.3)$$

Burada, \mathcal{V} , iyon küresel gecikmeyi; c , ışık hızını; f , Hz cindinden sinyalin frekansını ifade etmektedir. YKS, L1 ve L2 olmak üzere iki taşıyıcı frekansa sahiptir. Bu iki frekans göz önüne alınarak eşitlik (4.3), aşağıdaki şekilde genişletilebilir (Hawarey ve Ayan, 2004; Karatay, 2010):

$$\mathcal{V}_1 = \frac{40.3}{cf_1^2} TEİ \quad (4.4)$$

$$\mathcal{V}_2 = \frac{40.3}{cf_2^2} TEI \quad (4.5)$$

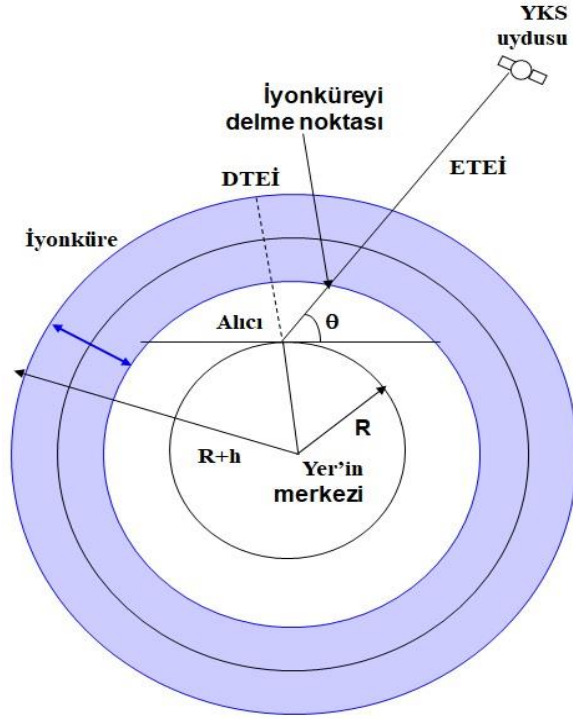
İyonkürede iyonlaşma sonucu ortaya çıkan serbest elektronlar, yaklaşık 50 MHz üzerindeki işaretler için yüksek iletkenliğe sahip yön bağımsız bir tabaka oluşturur ve işaretinin frekansa bağlı olarak kırılmasına neden olurlar (Nayir, 2007). Giga-Hertz bandındaki bir elektromanyetik dalganın hızı, iyon kürede bağımlı frekanstır. Bu da Uydu-Alıcı hattı boyunca TEİ'nin kestirilebilmesini (Naaman vd., 2001; Karatay, 2010):

$$TEI = \frac{\Delta\rho.c}{40.3} \cdot \frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (4.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte, f_1 , L1 dalgasının frekansı; f_2 , L2 dalgasının frekansıdır. TEİ, Eğik TEİ (ETEİ-STEÇ: Slant Total Electron Content) ve Dik TEİ (DTEİ-VTEÇ: Vertical Total Electron Content) olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir. ETEİ, alıcı ile uydu arasındaki hat üzerinde hesaplanan toplam serbest elektron miktarı, DTEİ ise alıcıya göre yerel zenit doğrultusunda hesaplanan toplam serbest elektron miktarı olarak tanımlanır (Nayir, 2007). θ , yatıklık (oblik) açısı; R, Yer'in yarıçapı ve R+h, Yer'in merkezinden iyon küreye olan uzaklık olmak üzere, ETEİ ve DTEİ arasındaki geometrik ilişki, Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

İyonkürede iyonlaşma sonucu ortaya çıkan serbest elektronlar, yaklaşık 50 MHz'in üzerindeki sinyaller için yüksek iletkenliğe sahip yön-bağımsız bir tabaka oluşturur ve sinyalin frekansa bağlı olarak kırılmasına neden olurlar. Kırılma etkisiyle sinyaller, grup hızlarının yavaşlamasından dolayı YKS alıcılarına gecikme ile ulaşırlar. Bu durum YKS sistemindeki konumlama hatasının temel kaynaklarından birisini ortaya çıkarır. f_1 ve f_2 frekanslarındaki işaretlerin gecikmeleri arasındaki fark gözlemlenerek iyon kürenin yapısı hakkında bilgiler elde edilebilir. TEİ, sözde menzil, faz ve ikisinin birleşiminden oluşan karma yöntemler kullanılarak olmak üzere üç farklı şekilde hesaplanabilir. Sözde menzil ile TEİ hesaplanması basit ve uygun bir yöntemdir. Bu yöntemin dezavantajı ise ölçümlerin gürültülü olması ve çok-yol etkisinin oluşabilmesidir. Faz ölçümleri ise daha az gürültülüdür ve çok-yol etkisi daha azdır fakat ilk faz belirsizliği ve faz kopmaları nedeniyle TEİ hesaplaması zor olmaktadır.

Diğer bir yöntem ise hem sözde menzil hem de faz ölçümlerinin kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde ise faz belirsizlikleri giderilebilir ve daha hassas TEİ değerleri hesaplanabilir fakat faz kopmaları sorunu devam etmektedir (Nayir, 2007).



Şekil 4.1 ETEİ ve DTEİ'nin Yer'e göre geometrisi

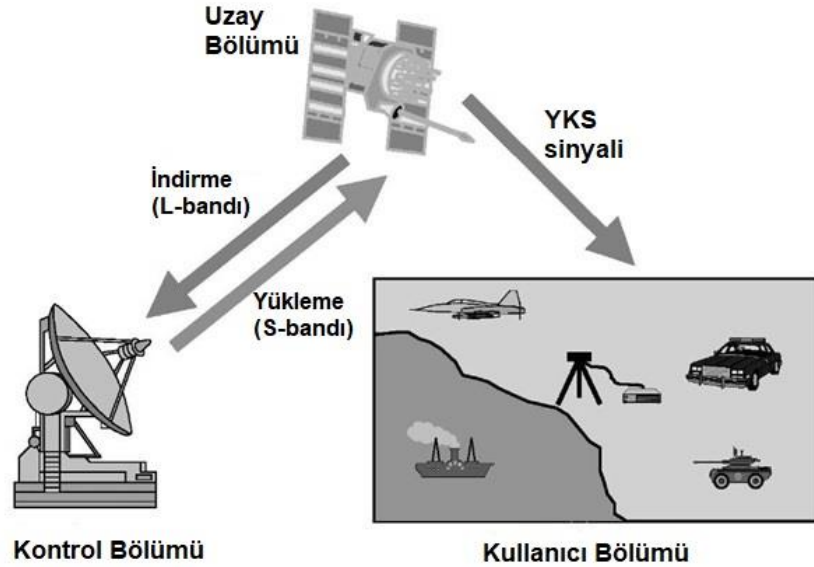
TEİ çeşitli yollarla hesaplanabilmektedir. TEİ hesaplamalarında yer tabanlı ve uydu tabanlı çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Yer tabanlı teknikler arasında İyonosonda, Geri Saçılım Radarı ve Evreyumsuz Geri Saçılım Radarı bulunmaktadır. Yer tabanlı tekniklerin ortak özelliği iyon küreye radyo dalgaları gönderilmesidir. Uydu sistemlerinden bazıları Yerküresel Konumlama Sistemi (GPS: Global Positioning System.), GLONASS ve TOPEX/Poseidon'dur. YKS sinyalleri kullanılarak kestirilen TEİ, iyon küre incelemeleri için kullanılan doğru ve en yaygın yöntemdir.

4.2 Yerküresel Konumlama Sistemi

Yerküresel Konumlama Sistemi-YKS (GPS-Global Positioning System), Amerika Birleşik Devletleri (ABD) hükümetine ait ve ABD Uzay Kuvvetleri tarafından yönetilen uzay tabanlı uydu navigasyon sistemine verilen addır. Dünyadaki ve dünya yakınındaki YKS alıcılarına, en az dört YKS uydusunu görebilmeleri şartıyla coğrafi

konum ve saat bilgisi sağlayan küresel uydu navigasyon sistemlerinden biridir. Uydular bir tür radyo sinyali yayarlar ve yeryüzündeki YKS alıcıları bu sinyalleri alıp yorumlayarak konum belirlenmesini gerçekleştirir (URL-11).

Bir YKS, üç ana bölümden oluşur. Bunlar, Uzay Bölümü (SS-Space Segment), Kontrol Bölümü (CS-Control Segment) ve Kullanıcı Bölümü'dür (US-User Segment). ABD Hava Kuvvetleri, Uzay ve Kontrol bölümlerini çalıştırır, geliştirir ve korur. YKS uyduları, uzaya gönderilen sinyallerin yayını gerçekleştirir ve her YK alıcısı kendi üç boyutlu konumunu (enlem, boylam ve yükseklik) ve anlık zamanı hesaplamak için bu sinyalleri kullanır (URL-11). Şekil 4.2'de, YKS'nin Uzay, Kontrol ve Kullanıcı bölümleri gösterilmiştir (URL-12).



Şekil 4.2 Yer küresel Konumlama Sistemi'nin bölümleri (URL-12)

Uzay bölümü, en az 24 uydudan (18 aktif 6 yedek) oluşur ve sistemin merkezidir. Uydular, "Yüksek Yörünge" adı verilen ve dünya yüzeyinin 20000 km üzerindeki yörüngede bulunurlar. Bu kadar fazla yükseklikte bulunan uydular oldukça geniş bir görüş alanına sahiptirler ve dünya üzerindeki bir YKS alıcısının her zaman iki boyutlu belirleme için en az 3, üç boyutlu belirleme için en az 4 adet uyduyu görebileceği şekilde yerleştirilmişlerdir. Uydular saatte 7000 mil hızla hareket ederler ve 12 saatte, dünya çevresinde bir tur atarlar. Güneş enerjisi ile çalışırlar ve en az 10 yıl kullanılmak üzere tasarlanmışlardır. Ayrıca güneş enerjisi kesintilerine karşı (güneş tutulması vs.) yedek bataryaları ve yörünge düzeltmeleri için de küçük ateşleyici roketleri vardır

(URL-11). Uyduların her biri, L1 (1575,42 MHz) ve L2 (1221,6 MHz) olmak üzere iki değişik frekansta ve düşük güçlü radyo sinyalleri yayınlamaktadır. Sivil alıcılar L1 ve L2 frekanslarını kullanmaktadırlar. Birden fazla sinyalin kullanılması hem iyon küreden dolayı gerçekleşen kırılmayı engellemek, hem de sinyal bozma durumlarına karşı güvenlik olarak uygulanmaktadır. ABD Savunma bölümü alıcıları da Military (M-code: 5,115 MHz.) frekansını kullanmaktadırlar. Her uydu yerdeki alıcının sinyalleri tanımlamasını sağlayan iki adet özel şifrelenmiş rastgele kod (pseudo-random) yayınlamaktadır. Bunlar Korunmalı (Protected P code) kod ve Coarse/Acquisition (C/A code) kodudur. P kodu karıştırılarak sivil izinsiz kullanımı engellenir, bu olaya Sahteciliğe Karşı Koruma (Anti-Spoofing) adı verilir. P koduna verilen başka bir isimde "P (Y)" ya da sadece "Y" kodudur (URL-11).

Kontrol Bölümü, Amerika Birleşik Devletleri'nde Colorado Springs, Colorado'da bulunan bir ana kontrol istasyonuna (MCS) sahip dünya çapında bir izleme istasyonları ağından oluşur. Operasyonel Kontrol Bölümü'nün birincil görevi, uydu konumlarını, sistem bütünlüğünü, uydu atomik saatlerinin davranışını, atmosferik verileri, uydu yıllığı ve diğer hususları belirlemek ve tahmin etmek için YKS uydularını izlemektir. Bu bilgiler daha sonra paketlenir ve S-bandı bağlantısı aracılığıyla YKS uydularına yüklenir (URL-12).

Kullanıcı Bölümü, tüm askeri ve sivil kullanıcıları içerir. Bir YKS antenine bağlı bir YKS alıcısı ile kullanıcı, dünyanın herhangi bir yerinde konumunu belirlemek için kullanılabilen YKS sinyallerini alabilir. YKS şu anda dünya çapındaki tüm kullanıcılar tarafından doğrudan ücretsiz olarak kullanılabilir (URL-12). Bir YKS alıcısı; algılayıcı, kontrol ünitesi, alıcı anteni ve güç kaynağı olmak üzere dört bölüme oluşur. Ölçüm esnasında, anlık faz farkı ölçüleri (veri, ham ölçüleri), yayın efemeris bilgileri (uydu yörünge bilgileri), atmosferik bilgiler (iyon küre ve troposfer bilgileri) ve mesaj bilgileri (anten yüksekliği ve nokta bilgileri) gibi bilgiler elde edilir (URL-11).

YKS sinyalini ve doğruluğunu etkileyebilecek faktörler şöyle sıralanabilir: İyonküre ve troposfer gecikmeleri, alıcı ve saat hataları, yörünge hataları, görünür uydu sayısı, uydu geometrisi/gölgelendirme ve seçmeli kullanılabilirlik (Nayir, 2007). İyonküre ve

troposfer gecikmeleri faktörü, uydu sinyallerini atmosferden geçerken yavaşlatır. YKS, bu tür bir hatayı kısmen düzeltmek için yerleşik bir model kullanır. Daha önce YKS'nin üç yörünge düzleminde en az 24 uydudan oluştuğunu belirtmiştik. Bu uydular L1 ve L2 olmak üzere iki frekansta sürekli çalışma işareti iletir. IGS (International GPS Service) ve farklı diğer kurumlar, yere tabanlı YKS ünitelerinin sistemlerini takip eder. Her alıcı genellikle belirli bir zamanda 4 ve 12 YKS uydusu eşliğinde bir yeri sürekli olarak takip eder. Aşağıdaki bilgiler çalışma gruplarına geri iletilir ve bu bilgilere, IGS veri merkezlerinden 24 saat içinde düzenli olarak erişilebilir. Tek başına IGS düzenlemesi, dünya çapında makul bir iletme sahip 200'den fazla YKS kullanıcısına sahiptir (Zumberge vd., 1997). Bu bilgi, dünya çapında ve yerel zemin gelişimini, toprak yönünü ve troposferik ve iyon küresel özellikleri kontrol etmek için güçlü bilgilerdir. YKS sinyalinin çift tekrarlı doğası, uydu ve yararlanıcı arasındaki görüntülenebilir yol boyunca İyonkürenin TEİ verilerinin elde edilmesini sağlar (Lanyi ve Roth, 1988). Bu bilgiler, NASA'nın Kaliforniya eyaletinde bulunan Jet Propulsion Laboratuvar'ında, küresel iyon küre haritaları oluşturmak için kullanılmaktadır (Lanyi ve Roth, 1988; Mannucci vd., 1998).

5. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Dünya toplamında iyonlaşma, atmosferin yüksek bölgelerinde bulunan atom ve moleküllerin, güneş ışınımıyla foto-iyonlaşması sonucu meydana gelir. İyon küre içindeki elektronların ve iyonların yeniden birleşmesi, genel gece saatlerinde olmakla birlikte, gaz yoğunluğunun az olması sebebiyle oldukça yavaştır. Bu nedenle, serbest elektron yoğunluğu, gece saatlerinde bile varlığını sürdürmektedir. İyon kürenin alt sınırı 50 km ve üst sınırı kesin olmamakla birlikte 1000 km olarak kabul edilmektedir. İyon kürenin karakteristik yapısı zamana, mevsimlere ve coğrafik konuma göre sürekli değişmektedir. Bununla birlikte iyon küre, güneş hareketliliğine de oldukça duyarlıdır. Buna rağmen iyon kürenin temel yönsemesi, büyük ölçekli jeomanyetik karışıklık dönemleri dışında belirlenebilmektedir. U.S. 1945 yılında Army Signal Corps'un radyo yayılım birimi, KD yayılım kavramına rehber olacak çok önemli bilgiler elde etmiştir. Central Radio Propagation Laboratory (CRPL) of The National Bureau of Standards tarafından 1948 yılında, iyon küresel radyo yayılımı ile ilgili bir tez yayımlanmıştır. Bu tez, KD yayılımının ana hatlarını ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada kullanılan yöntemler, kullanılabilir en üst frekansın (MUF) hesaplaması, MUF'un teorik ve deneysel çalışmaları birleştirilerek herhangi bir zamanda ve yolda mümkün olan modlar için hesaplanması ve gök dalgası alan şiddetinin kestirilmesini sağlamıştır (ICEPAC).

U.S. Army Signal Radio Propagation Agency'den Laitinen ve Haydon 1962 yılında, güneş hareketliliğinin etkilerini, güne ve mevsime bağlı değişiklikleri dikkate alarak ampirik iyon küresel soğurma bağıntıları geliştirmişlerdir (Laitinen ve Haydon, 1962). Bu bağıntılar, teorik konum kaybı, serbest uzay kaybı ve anten kazancı parametreleriyle birleştirip, iyon kürenin E ve F2 bölgelerinden yansıyan radyo işaretlerinin alan şiddetlerinin hesaplanabilmesini sağlayarak KD performansına katkıda bulunmuşlardır. Otomatik ilk KD yol öngörü algoritması Amerika Birleşik Devletleri'nde 1957 yılında, U.S. Army Strategic Communications Command'a bağlı olan Radio Propagation Agency tarafından U.S. Army Signal Corps için geliştirilmiştir. Daha sonraki sürümü, 1961 yılında, Radio Corporation of America tarafından geliştirilmiştir. 1966 yılında, ESSA's Institute for Telecommunication

Sciences and Aeronomy (ITSA) tarafından, parabolik katmanlar için eğik iletim bağıntılarının kullanıldığı bir otomatik program geliştirilmiştir. Bu alandaki çalışmalar daha sonra, ilki haberleşme çözümlemesi ve önkesitirimi, ikincisi Ufuk Ötesi (Over The Horizon, OTH) radar sistemlerinin çözümlemesi ve önkesitirimi olmak üzere iki ayrı kısımda sürdürülmüştür (ICEPAC).

İyonkürenin radyo araştırmaları, 1902'de Marconi'nin ve 1924'te Appleton ve Tuve'nin deneyleriyle başladı. Bunlar, insanlığın çevresel dış kabuğunun uzaktan algılanmasının ilk örnekleridir. Neredeyse 50 yıl sonra bile, iyon küre çalışmaları hâlâ keşif aşamasındaydı. Örneğin, ilk olarak ekvatorial bölge iyon küresindeki ay gelgit etkileri tanımlanmıştır (Bartels, 1950). Düşük enlemlerde F-Bölgesi'nin yüksekliğinin ve yoğunluğunun coğrafi enlemden ziyade jeomanyetik enlemden daha iyi gözlemlendiğini gösteren ilk çalışma Appleton tarafından 1950'de yayınlandı. Yapılan çalışmalarda, iyonogramlar, küçük ölçekli plazma düzensizliklerinin varlığı olarak yorumlanan F-Bölgesi yayılımı ortaya çıkardı. Ancak bu tür düzensizliklere neden olan mekanizmalar halen tam olarak anlaşılamamıştır.

İyonosfer Araştırma Laboratuvarı (IONOLAB) 2006 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Kurumu (TÜBİTAK) tarafından verilen proje hibesi ile Prof. Dr. Feza Arıkan önderliğinde kurulmuştur. IONOLAB çalışma grubu, bünyesindeki akademisyenlerin tecrübesinden yararlanmakta olup hem Türkiye'de hem de dünyada özgün ve yeni algoritma ve tekniklerle tanınmaktadır. IONOLAB çalışma grubunun araştırma ilgi alanları arasında, bunlarla sınırlı olmamak üzere iyon kürenin incelenmesi, iyon küre istatistikleri ve iyon kürenin iletişim sinyalleri üzerindeki etkileri yer alır. IONOLAB grubu uzay-zaman interpolasyonu için yeni yöntemler ve TEİ'nin otomatik olarak haritalanması çalışmaları yapmaktadır. Aynı zamanda, uzay havanın izlenmesi ve Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı (TUSAGA-Aktif) kullanarak iyon küreyle ilişkili jeodezik konumlandırma hatalarının düzeltilmesi çalışmalarını da yapmaktadır. IONOLAB grubu, deprem öncülü çalışmalarında deprem alarm sinyali üretmek için bir model geliştirme çalışmaları da yürütmektedir (URL-13).

Efendi ve Arıkan (2017) ve Karatay (2020a) çalışmalarında iyon küresel bozulmaların tespiti için TEİ'nin Diferansiyel Oranı (DROT-Differential Rate Of TEC) algoritması

geliştirilmiştir. Bu çalışmalarda geliştirilen DROT yöntemi, ROT ve onun yönsemesi arasındaki normalize edilmiş (düzgelenmiş) metrik norm olarak tanımlanmıştır. Buna göre DROT yöntemiyle, %50'den az olan DROT değerleri için TEİ verisinde önemli bir bozulma olmadığı, %50 ve %70 arasında değişen DROT değerleri için orta ölçekli iyon küresel bozulma olduğu ve %70'ten büyük olan DROT değerleri için de büyük ölçekli iyon küresel bozulma olduğu gözlenmiştir. DROT yönteminin, jeomanyetik olarak bozulmalı günlerde TEİ verilerine uygulandığında, istasyonlardan alınan YKS istasyonlarından 15 dakikalık aralıklarla veri alınmasına rağmen, bozulmaları neredeyse gerçek zamanlı olarak tespit edebildiği ortaya konmuştur.

Arıkan ve Yarıçı (2017) ve Karatay (2020b) çalışmalarında, dalga benzeri salınımların TEİ üzerinde yarattığı bozulmaların frekans ve sürelerinin kestirimi için spektral analiz yapılmıştır. YKS-TEİ verileri üzerine uygulanan Fourier Dönüşümü yöntemiyle, %80'den fazla hassasiyetle Kayan İyonküresel Bozukluklar'ın (KİB) tespit edilebileceği ortaya konmuştur.

Sismik hareketliliğinin iyon kürede neden olduğu bozulmaları araştırmak ve ortaya koymak için literatürde yoğun çalışmalar yapılmıştır (Liu vd., 2000; Chuo vd., 2001; Liu vd., 2004; Pulneta, 2004; Pulneta vd., 2005; Pulneta vd., 2007). Bu çalışmalarda, iyon kürenin jeomanyetik açıdan sakin ve bozulmalı olduğu günlerde iyonosonda ve YKS ağlarıyla ölçülen TEİ değerlerinin değişkenliği gözlenmiştir. Batı Pasifik alanında; Rusya'nın uzak doğusu, Tayvan ve Japonya'daki bir dizi deprem ile alınmış; kritik frekans için 120 günlük bir periyotta ayrı ayrı özilinti (oto-korelasyon) katsayıları ve çapraz-ilinti katsayıları hesaplanmıştır. Çapraz-ilinti katsayılarının depremlerden önceki 1 ila 7 arasında değişen günlerde 0,9'un altına indiği görülmüştür. Bu çalışmalarda aynı şekilde, YKS-TEİ verileriyle çapraz ilinti katsayıları hesaplanmış; katsayıların, deprem tarihinden beş gün önce 0,7'ye, sekiz gün önce 0,9'un altına kadar düştüğü gözlenmiştir. Farklı bir deprem için de deprem gününden 2, 4 ve 4, 8 gün önceki günlerde sırasıyla 0,5; 0,65 ve 0,6; 0,65 değerlerine indiği gözlenmiştir. Çapraz ilinti katsayılarında gözlemlenen bu ani azalmaların, deprem habercisi bir anormallik olduğu ileri sürülmüştür.

Korte vd. (2001) çalışmasında, jeomanyetik kayıtlarda tutulma etkisinin eksikliğini açıklayabilecek olası mevcut konfigürasyonlar tartışılmıştır. 11 Ağustos 1999'daki güneş tutulması, ilgili jeofiziksel etkilerin incelenmesi için iyi koşullar sundu. İyonküresel ölçümler, tutulma sırasında azalan güneş ışınımı nedeniyle elektron yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, azalan iletkenliğin, dünya yüzeyindeki jeomanyetik kayıtlarda belirgin bir etkiye neden olmadığı gözlenmiştir. Tutulma etkisini ayrıntılı olarak gözlemlemek için özel olarak kurulan birkaç Avrupa jeomanyetik gözlemevinin ve geçici bir variometre ağının kayıtları, doğrudan ve iyon küredeki eşdeğer akımlar açısından incelenmiştir.

Ozcan ve Aydogdu (2004) çalışmasında, 11 Ağustos 1999 tam güneş tutulması sırasında Türkiye üzerindeki iyon kürenin E-Bölgesi'nde meydana gelen akım nedeniyle oluşan manyetik alan değişimleri incelenmiştir. Güneş tutulmasının manyetik alanın kuzey-güney bileşeni üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ancak manyetik alanın batıya doğru bileşeninin güneş tutulmasıyla azaldığı gözlenmiştir. Bu nedenle, güneş tutulması sırasında E-Bölgesi'ndeki manyetik alandaki değişimin, yer seviyesindeki jeomanyetik alanı değiştirdiği ortaya konmuştur.

Le vd. (2008) çalışmasında, 11 Ağustos 1999 tam güneş tutulmasına verilen iyon küresel tepkiler, geniş bir iyonosonda ağı ile ölçüldü. Avrupa'daki on altı iyonosonda istasyonundaki E, F1 ve F2 bölgeleri kritik frekanslarıyla (foE, foF1 ve foF2), bu parametrelerin değişimlerini, tutulma büyüklüğünün bir fonksiyonu ile istatistiksel olarak analiz edildi. Tutulma etkilerini daha doğru bir şekilde modellemek için, güneş tutulması sırasında güneş radyasyonunun değişimlerini açıklamak için bir tutulma faktörü, FR inşa edildi. Daha sonra bu tutulmanın iyon küre üzerindeki etkisini, orta ve düşük enlem iyon küresel teorik modeli ile bu tutulma sırasında gözden geçirilmiş tutulma faktörünü kullanarak benzetimler yapıldı. Benzetimlerin, E-Bölgesi ve F1-Bölgesi'ndeki yanıt gözlemleriyle oldukça tutarlı olduğu gözlemlendi. Gözlemlerin her ikisi de orta enlem iyon küresinin tutulmaya en fazla tepkisinin F1-Bölgesi'nde bulunduğunu gösterdi. Hesaplamalar, 500 km'nin altındaki yüksekliklerde bariz iyon küresel tepkinin dışında, yaklaşık 2000 km'ye kadarki yüksekliklerde de küçük bir tepki olduğunu gösterdi. Bununla birlikte, tutulma Kuzey Yarımküre'de

gerçekleştiginde, eşlenik yarım kürede de küçük ölçekli iyon küre bozulmalarının ortaya çıktığı gözlemlendi.

Bu çalışmada da 11 Ağustos 1999'da meydana gelen tam güneş tutulması ve 17 Ağustos 1999'da meydana gelen Marmara Depremi'nin iyon kürede meydana getirdiği olası etkilerin ve iyon kürenin olası tepkilerinin istatistiksel analizi yapılmıştır.

6. BAYES TEOREMİ VE NAIVE BAYES SINIFLANDIRICISI

Herhangi bir YKS alıcısından, alıcı numarası u , toplam ölçüm sayısı N ve örnek numarası n olmak üzere, d günü için kestirilen TEİ değerleri, $\mathbf{x}_{u,d}$ vektörüyle ifade edilir:

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

Eşitlik (6.1)'de, T , transpoz operatörü ve $1 \leq n \leq N$ 'dir. Bu çalışmada, Bölüm 7'de ayrıntılı olarak izah edilen, IONOLAB-TEC olarak hesaplanan TEİ değerleri kullanılmıştır. Naive Bayes Sınıflandırıcısı'nın uygulaması için kullanılan parametrelerden biri de IONOLAB-TEC kestirimleridir. Bu nedenle, bu bölümde öncelikle, Bayes Teoremi ve Bayes Teoremi'nin bağımsızlık önermesiyle basitleştirilmiş hali olan Naive Bayes Sınıflandırıcısı anlatılacaktır.

Bayes Teoremi, olasılık kuramı içinde incelenen önemli bir kuramdır. Bu teorem, bir rassal değişken için olasılık dağılımı içinde koşullu olasılıklar ile uç (marjinal) olasılıklar arasındaki ilişkiyi gösterir. Bayes Teoremi, stokastik bir süreç sırasında ortaya çıkan bir rastgele olay A ile bir diğer rastgele olay B (eğer B için kaybolmamış olasılık varsa) için koşullu olasılıkları ve uç olasılıkları arasındaki ilişkidir (Papoulis, 1984; Domingos ve Pazzani, 1997, Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(A \setminus B) = \frac{P(B \setminus A) P(A)}{P(B)} \quad (6.2)$$

Eşitlik (6.2)'de, $P(A)$ terimine, A için önsel olasılık veya uç olasılık denilmektedir. Bu önseldir, çünkü B olayı hakkında önceden herhangi bir bilgiyi içermemektedir. $P(A \setminus B)$ terimine verilmiş B için A 'nın koşullu olasılığı; $P(B \setminus A)$ terimine de verilmiş A için B 'nin koşullu olasılığı adı verilmektedir. $P(B)$ terimi ise, B olayı için 'önsel' olasılıktır veya B 'nin uç olasılığıdır ve matematiksel rolü normalize eden bir sabittir.

Mesela, $P(Ateş | Duman)$, dumanı görebildiğimizde ne sıklıkla yangın olduğu anlamına ve $P(Duman | Ateş)$ de, yangın olduğunda dumanı ne sıklıkla görebileceğimiz anlamına gelsin. Girdilerimizi, tehlikeli yangınları %1 oranında nadir olarak, barbekü nedeniyle dumanı %10 oranında oldukça yaygın olarak ve tehlikeli yangınların %90'ı duman çıkarır olarak belirlensin. Bu girdilerle, duman olduğunda tehlikeli yangın olasılığı, Bayes Teoremi'ni kullanarak %9 olarak hesaplanır:

$$P(Ateş \setminus Duman) = \frac{P(Duman \setminus Ateş) P(Ateş)}{P(Duman)} = \frac{\%1 \times \%90}{\%10} = \%9 \quad (6.3)$$

Naive Bayes algoritması, Bayes Teoremi'ni, sınıf değişkeninin değeri verilen her özellik çifti arasında koşullu bağımsızlık "saf" varsayımıyla uygulamaya dayanan bir dizi denetimli öğrenme algoritmasıdır. Naive Bayes öğrencileri ve sınıflandırıcıları, daha karmaşık yöntemlere kıyasla son derece hızlı olabilir. Sınıf koşullu özellik dağılımlarının ayrıştırılması, her bir dağılımın bağımsız olarak tek boyutlu bir dağılım olarak tahmin edilebileceği anlamına gelir. Bu da boyutsallık karmaşasından kaynaklanan sorunları azaltmaya yardımcı olur (URL-14; Papoulis, 1984; Budak, 2014; Budak vd., 2016).

Bayes Teoremi, sınıf değişkeni y ve bağımlı özellik vektörü $x(1)$ ile $x(N)$ örnekleri arasında aşağıdaki ilişkiyi belirtir (URL-14; Papoulis, 1984; Domingos ve Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus x(1), \dots, x(N)) = \frac{P(y) P(x(1), \dots, x(N) \setminus y)}{P(x(1), \dots, x(N))} \quad (6.4)$$

Aşağıdaki eşitlikte verilen saf koşullu serbestlik varsayımı kabul edilsin (URL-14; Domingos ve Pazzani, 1997; Zhang, 2004; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(x(n) \setminus y, x(1), \dots, x(n-1), x(n+1), \dots, x(N)) = P(y \setminus x(n)) \quad (6.5)$$

Tüm n örnekleri için, (6.4) bağıntısı, aşağıdaki eşitliğe indirgenebilir (URL-14; Domingos ve Pazzani, 1997; Zhang, 2004; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus x(1), \dots, x(N)) = \frac{P(y) \prod_{n=1}^N P(x(n) \setminus y)}{P(x(1), \dots, x(N))} \quad (6.6)$$

Eşitlik (6.6)'te, $P(x(1), \dots, x(N))$ girdisi sabit olduğundan, aşağıda verilen sınıflandırma kuralı kullanılabilir (URL-14; Domingos ve Pazzani, 1997; Zhang, 2004; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(y \setminus x(1), \dots, x(N)) \propto P(y) \prod_{n=1}^N P(x(n) \setminus y) \quad (6.7)$$

Böylelikle, Eşitlik (6.8) elde edilir (URL-14; Domingos ve Pazzani, 1997; Zhang, 2004; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$\hat{y} = \underset{y}{\operatorname{arg\,max}} P(y) \prod_{n=1}^N P(x(n) \setminus y) \quad (6.8)$$

Eşitlik (6.7) ve (6.8) kullanılarak $P(y)$ ve $P(x(n) \setminus y)$ 'yi tahmin etmek için Maksimum A Sonsalı (Maksimum A Posteriori-MAP) tahmini kullanılabilir. Buradaki bir önceki, eğitim setindeki y sınıfının göreceli frekansıdır.

Farklı saf Bayes sınıflandırıcıları, esas olarak $P(x(n) \setminus y)$ 'nin dağılımına ilişkin yaptıkları varsayımlardan dolayı farklılık gösterir. Aşırı basitleştirilmiş varsayımlarına rağmen saf Bayes sınıflandırıcıları, meşhur belge sınıflandırması ve spam filtreleme gibi birçok gerçek dünya durumunda oldukça iyi çalışmaktadır. Gerekli parametreleri tahmin etmek için az miktarda eğitim verisine ihtiyaç duyarlar (URL-14; Domingos ve Pazzani, 1997; Zhang, 2004; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016).

6.1 Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı

Sürekli verilerle çalışırken, sıklıkla kabul edilen bir varsayım, her sınıfla ilişkili sürekli değerlerin normal (veya Gauss) bir dağılıma göre dağıtıldığıdır. Gaussian Naive Bayes, sınıflandırma için Gauss Naive Bayes algoritmasını uygular. Özelliklerin olasılığının Gauss olduğu varsayılır (Papoulis, 1984; Domingos ve Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(x(n) \setminus y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left(-\frac{(x(n)-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right) \quad (6.9)$$

Yukarıdaki bağıntıda σ_y ve μ_y sırasıyla, sınıf değişkeni y 'nin Bessel düzeltilmiş değişinti (varyans) ve ortalama değerini ifade etmektedir. Gauss Naive Bayes, her biri bir Gauss (normal) dağılıma uygun olarak sürekli değerli özellikleri ve modelleri destekler (Papoulis, 1984; Domingos ve Pazzani, 1997; Webb vd., 2005; Budak, 2014; Budak vd., 2016).

6.2 Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı

Çok değişkenli Bernoulli olay modelinde, özellikler, girdileri tanımlayan bağımsız Boole'lerdir (ikili değişkenler). Çok terimli model gibi, bu model de terim frekansları yerine ikili terim oluşum özelliklerinin kullanıldığı belge sınıflandırma görevleri için yaygın kullanılır (Domingos ve Pazzani, 1997; Webb vd., 2005). Bernoulli Naive Bayes, çok değişkenli Bernoulli dağılımlarına göre dağıtılan veriler için saf Bayes eğitim ve sınıflandırma algoritmalarını uygular. Yani, birden fazla özellik olabilir, ancak her birinin, ikili değerli (Bernoulli, Boolean) bir değişken olduğu varsayılır. Bu nedenle, bu sınıf, örneklerin ikili değerli özellik vektörleri olarak temsil edilmesini gerektirir. Başka bir türde veri verilirse, bir Bernoulli Naive Bayes örneği, girdisini, ikilileştirme parametresine bağlı olarak ikilileştirebilir (McCallum ve Nigam, 1998; Manning vd., 2008).

Bernoulli saf Bayes için karar kuralı şuna dayanmaktadır (McCallum ve Nigam, 1998; Manning vd., 2008-URL-14; Budak, 2014; Budak vd., 2016):

$$P(x(n) \setminus y) = P(n \setminus y) x(n) + (1 - P(n \setminus y)) (1 - x(n)) \quad (6.10)$$

Bu kural, y sınıfı için bir gösterge olan bir n özelliğinin olmamasını açıkça cezalandırması bakımından çok terimli Naive Bayes kuralından farklıdır. Burada, multinomial değişintinin, meydana gelmeyen bir özelliği basitçe ihmal edilir. Metin sınıflandırması durumunda, bu sınıflandırıcıyı eğitmek ve kullanmak için kelime oluşum vektörleri (kelime sayısı vektörlerinden ziyade) kullanılabilir. Bernoulli Naive

Bayes, bazı veri kümelerinde, özellikle daha kısa belgelere sahip olanlarda daha iyi performans gösterir (McCallum ve Nigam, 1998; Manning vd., 2008; URL-14).

Bu çalışmada da tam güneş tutulması ve depremin iyon kürede meydana getirdiği olası etkilerin ve iyon kürenin olası tepkilerinin istatistiksel analizi ve YKS istasyonlarından elde edilen TEİ'nin değişkenliğini incelemek için, iyon kürenin jeomanyetik açıdan bozulmalı ve sakin durumları da göz önüne alınarak, Gaussian ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları literatürde ilk defa bu bağlamda TEİ veri seti üzerinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara Bölüm 7'de yer verilmiştir.

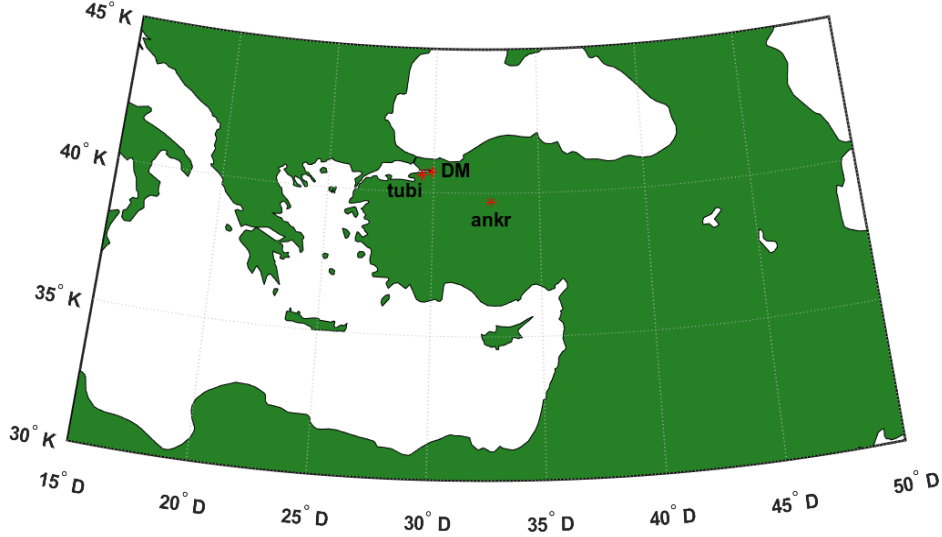
7. BULGULAR

Bu çalışmada, veri kaynağı olarak çift frekanslı YKS alıcılarından IONOLAB-TEİ olarak kestirilen TEİ değerleri kullanılmıştır. Düzenlenmiş Kestirim (Regularized-Estimation: Reg-Est) algoritmasına dayanan IONOLAB-TEC, çift frekanslı YKS alıcılarından yerel zenit yönünde tek bir istasyon üzerinden YKS-TEİ kestirimi sağlayan, literatürdeki en sağlam, güvenilir ve doğru algoritmalarından biridir (Arıkan vd., 2003; 2004). Modern Reg-Est algoritması, DTEİ değerlerini aynı dönemde ancak farklı İyonküresel Delme Noktaları'nda (Ionospheric Pierce Points-IPPs) birleştirir ve TEİ'yi YKS alıcısının yerel zirve yönünde tahmin eder. Algoritma, URL-15 adresinden elde edilen uydu efemeris verilerini kullanır. IONOLAB-TEC, URL-16 adresinde bir çevrimiçi uzay hava durumu hizmeti olarak da mevcuttur (Sezen vd., 2013). IONOLAB-TEC'in mevcut sürümü çevrimiçi olarak kullanılabilir veya URL-16'dan *.exe formatında indirilebilir (Arıkan vd., 2016). Bu çalışmada IONOLAB-TEC değerleri 2,5 dakikalık zaman çözünürlüğü ile elde edilmiştir.

Bu çalışmada, ilk olarak, Bölüm 6'da anlatılan Gaussian Naive Bayes ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları, bazı bozulmaların olduğu günlerde Şekil 7.1'de konumları gösterilmiş YKS istasyonlarından kestirilen IONOLAB-TEC değerleri ile bazı güneş ve jeomanyetik indisleri içeren veri setine uygulanmıştır. Olaylar, 11 Ağustos 1999 güneş tutulmasını ve 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'ni, çeşitli güneş, jeomanyetik ve sismik hareketliliğin de olduğu yirmi günlük bir periyodu içermektedir.

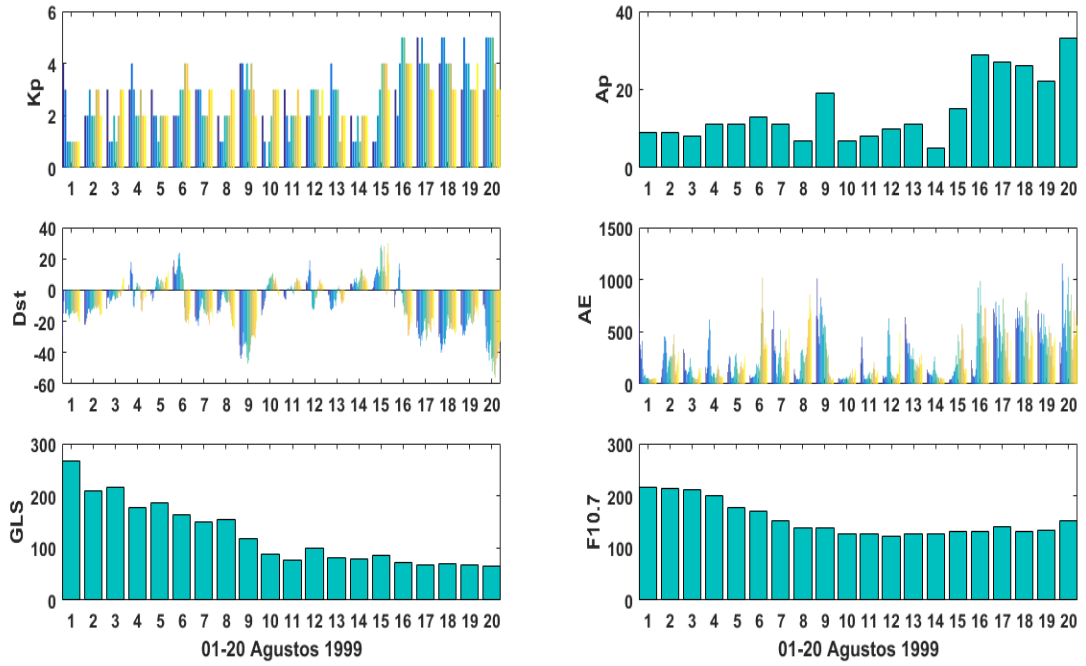
Bu çalışmada Marmara Depremi, şiddetli bir sismik hareketlilik sırasında iyon küre kaynaklı bozulmanın sıklığını tespit etmek için seçildi. Marmara Depremi 17 Ağustos 1999 tarihinde YZ 03:02'de (GS 00:00:02) Gölcük, Kocaeli'nde meydana geldi. Depremin Richter ölçeğine göre büyüklüğü 7,5 Mw olarak kaydedildi. Depremin merkez üssü $40,70^{\circ}$ K ve $29,91^{\circ}$ D coğrafi koordinatlarında yer almaktadır ve Şekil 7.1'de, kırmızı yıldız ve DM ile gösterilmiştir (URL-17). Depremin merkez üssünü çevreleyen mevcut IGS (International GNSS Service) istasyonlarından sadece ankr

(39,69° K; 32,75° D) Ankara, Türkiye ve tubi (40,59° K; 29,45° D) Gebze, Türkiye'den veri sağlanabilmektedir. Bu istasyonların konumu Şekil 7.1'de verilmiştir.



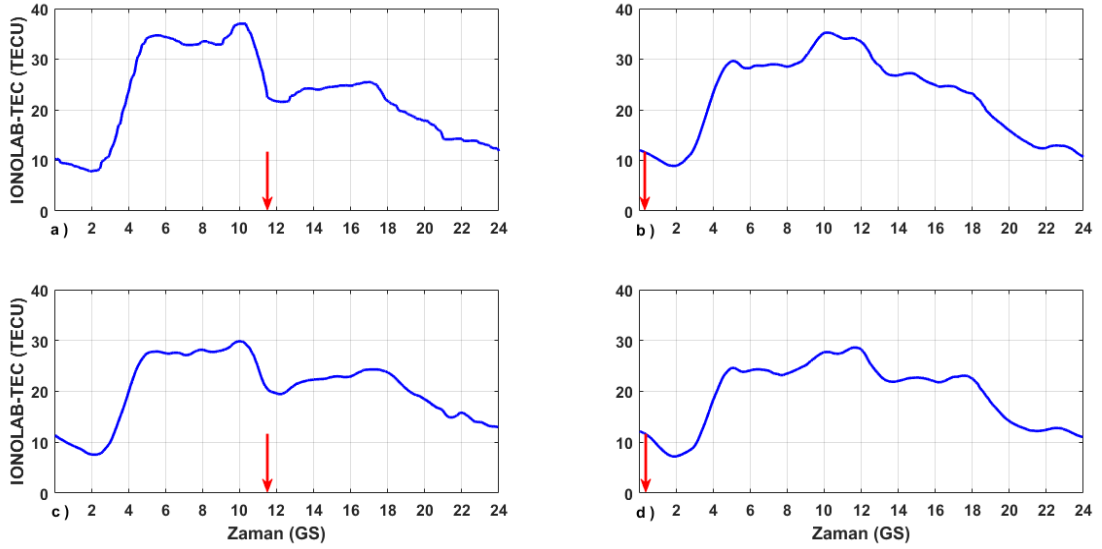
Şekil 7.1 Çalışma kapsamında kullanılan IGS istasyonları ve Deprem Merkezi (DM)

Jeomanyetik Kp ve Ap indisleri ve güneş indisleri GLS ve F10.7, Space Weather Prediction Center'dan sağlanmıştır (URL-18). Yine, jeomanyetik indisler AE ve Dst de World Data Center for Geomagnetism'den elde edilmiştir (URL-19). Kp, Ap, AE, Dst, GLS ve F10.7 indislerinin yirmi günlük değişimi Şekil 7.2'de verilmiştir. Güneş tutulmasının yaşandığı 11 Ağustos tarihinde, iyon küre oldukça sakinidir. Kp indisinin en büyük değeri 3 ve Ap indisi de 8'dir. Bu da iyon kürede bir jeomanyetik fırtına ya da bozulma olmadığını göstermektedir. 16 Ağustos itibariyle iyon kürede bir fırtına gözlenmektedir. Bu tarihten itibaren depremin olduğu 17 Ağustos günü de dâhil olmak üzere 20 Ağustos'a kadar, iyon kürede fırtınalar gözlenmektedir. Kp indisinin değeri 5'e kadar yükselmektedir. Ap indisi ise 33'e kadar çıkmıştır. AE'nin en büyük değeri 1155, Dst'nin de en büyük değeri de -56 nT'ya ulaşmaktadır. 16 ila 20 Ağustos arasındaki periyottaki güneş hareketliliği, 1 ila 15 Ağustos arasındaki hareketliliğe göre daha azdır. GLS ve F10.7 indisi, 16 ila 20 Ağustos tarihleri arasında daha küçük değerlere sahiptir. Bu periyotta GLS'nin en büyük değeri 71, F10.7'nin de en büyük değeri 152'dir. 1 ila 15 Ağustos arasında ise GLS'nin en büyük değeri 267, F10.7'nin de 216'dır.



Şekil 7.2 1 ila 20 Ağustos 1999 tarihleri arasındaki Ap, Kp, Dst, AE, GLS ve F10.7 indislerinin değişimi (URL-18; URL-19)

Şekil 7.3'te 11 ve 17 Ağustos tarihlerinde ankr ve tubi istasyonları için IONOLAB-TEC değerleri verilmiştir. Tam güneş tutulmasının gözleendiği ve depremin meydana geldiği saatler, Greenwich Saati'ne (GS) göre kırmızı oklarla gösterilmiştir. Tam güneş tutulmasının hemen ardından, her iki istasyon için IONOLAB-TEC değerlerinde ani bir azalma gözlenmektedir. Her iki olayda da IONOLAB-TEC'in Türkiye için dinamik seviyesinin çok da değişmediği görülmektedir.



Şekil 7.3 11 Ağustos 1999 tarihinde a) ankr, c) tubi ve 17 Ağustos 1999 tarihinde b) ankr, d) tubi istasyonları için IONOLAB-TEC değerleri (URL-13)

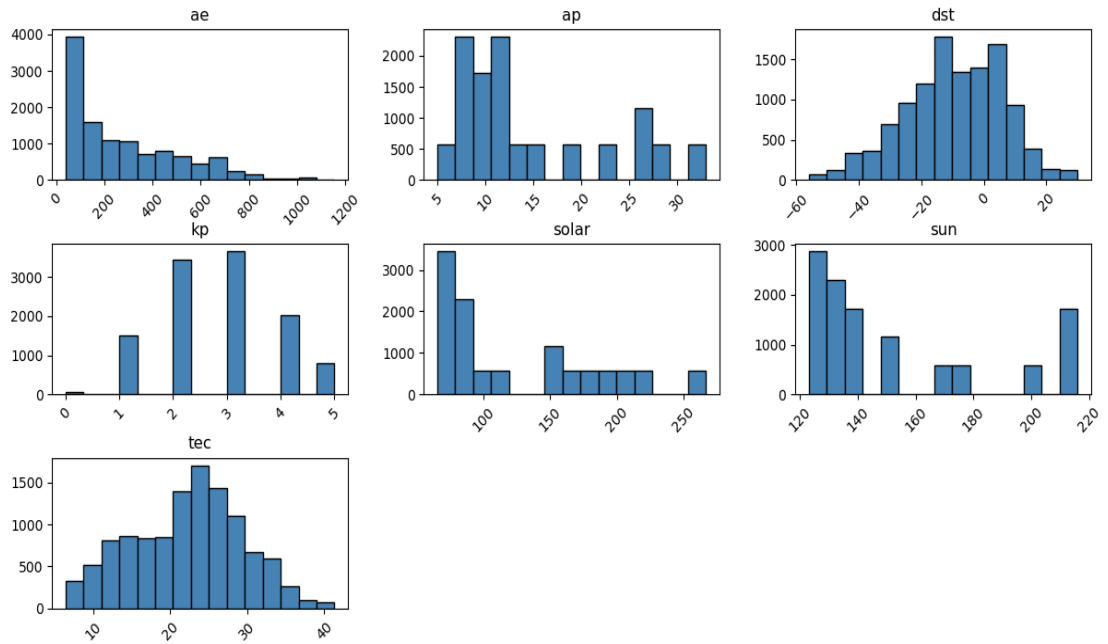
Bu çalışmada güneş tutulmasının ve sismik hareketliliğin iyon kürede meydana getirdiği etkileri incelemek için, Naive Bayes sınıflayıcılarından Gaussian ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları, 1 ila 20 Ağustos tarihleri için IGS ankr ve tubi istasyonlarından kestirilen IONOLAB-TEC verilerine uygulanmıştır. Özellikle tubi istasyonu, 11 Ağustos 1999'daki depremin merkezine oldukça yakındır. Diğer kontrol istasyonu olarak seçilen ankr istasyonunun da deprem merkezine uzaklığı 300 km'den fazladır. Her iki istasyon için yirmi günlük veride, iyon kürenin sakin olduğu ve hiçbir olayın gerçekleşmediği örnek sayısı 11393'tür. Güneş hareketliliğinin gözlemlendiği örnek sayısı 75; sismik hareketliliğin gözlemlendiği örnek sayısı da 52'dir. Buna göre Tablo 7.1'de, tubi istasyonu için istatistiksel analiz sonuçları verilmiştir. Elde edilen tüm bulgularda, IONOLAB-TEC değerleri "tec", GLS değerleri "sun" ve F10.7 değerleri de "solar" olarak isimlendirilmiştir.

Veri setinde kullanılan her bir verinin histogramları elde edilerek frekans analizi yapılmıştır. Şekil 7.4'te, tubi istasyonunun her bir parametrenin normalize edilmiş kutucuklara göre kestirilmiş frekansları verilmiştir. Şekle bakıldığında, IONOLAB-TEC için en büyük frekansın 25 TECU civarında kümelendiği görülmektedir. AE indisi için en büyük frekans aralığı 100 civarında; Dst indisi için de en büyük frekans aralığının -15 nT civarında yığıldığı görülmektedir. Kp ve Ap indisleri için de en büyük frekans aralığı sırasıyla, 3 ve 12 civarındadır. Şekil 7.5'te de tubi istasyonu

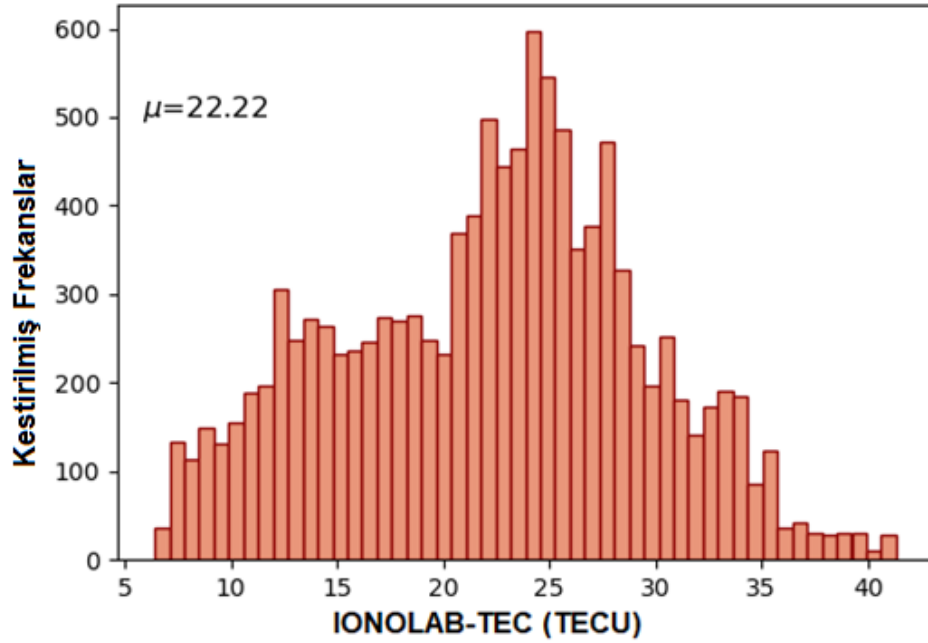
IONOLAB-TEC değerlerinin kestirilmiş frekansı gösterilmiştir. En büyük frekansın 25 TECU civarında kümelendiği görülmektedir. Ortalama değer $\mu = 22,22$ olarak elde edilmiştir.

Tablo 7.1 Tubi istasyonu için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Index	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst
count	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520
mean	22.22	14.55	2.73	153.5	124.8	279.8	-9.44
std	7.18	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68
min	6.41	5	0	123	65	39	-56
25%	16.84	8.75	2	130.25	74.75	81	-20
50%	22.92	11	3	138	94.5	203	-9
75%	27.21	19.75	3	171.75	167.25	437.25	3
max	41.33	33	5	216	267	1155	30



Şekil 7.4 Tubi istasyonu için AE, Ap, Dst, Kp, F10.7 ve GLS indisleri ile IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları



Şekil 7.5 Tubi istasyonu için IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları

Çalışmanın ikinci kısmında, ortalama IONOLAB-TEC, ortalama GLS ve ortalama Dst değerleri üzerine ANOVA analizi sonuçları uygulanmıştır. ANOVA, iyi bir istatistiksel model olan ve çeşitli grupların ortalamaları veya ortalamaları arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları analiz etmek için kullanılabilen “varyans analizi” yöntemidir. Bu temelde, birkaç grubun araçlarının eşit olup olmadığının belirlenmesine yardımcı olan istatistiksel bir test kullanılarak gerçekleştirilir. Genellikle F istatistiği ve bununla ilişkili p-değeri, istatistiksel önemi belirlemek için kullanılır. Tipik olarak 0,05'ten küçük bir p-değeri, boş hipotezi orijinalin lehine reddettiğimizde istatistiksel olarak anlamlı bir sonuç olarak alınır. Merkezi istasyon konumundaki tubi istasyonu için ANOVA testi sonuçları sırasıyla şu şekilde elde edilmiştir:

F istatistiği: 59,592965302021504

p-değeri: $1,7869153229846616 \times 10^{-26}$

F istatistiği: 29,054100161327874

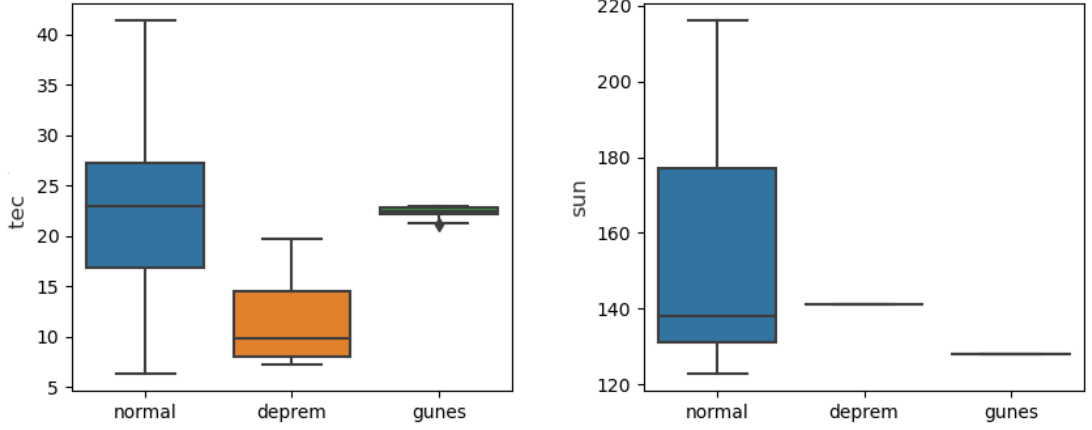
p-değeri: $2,5923262341722993 \times 10^{-13}$

F istatistiği: 61,26687602452211

p-değeri: $3,409442771702343 \times 10^{-27}$

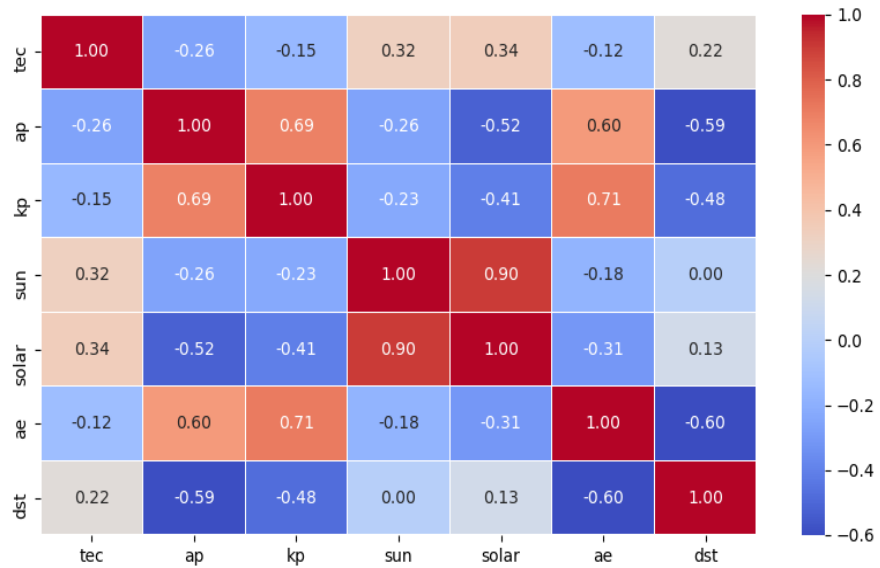
ANOVA testi sonuçlarına bakıldığında, bu testin IONOLAB-TEC değerleri için daha anlamlı olduğu görülmektedir. Şekil 7.6'da tubi istasyonu için, hiçbir olayın gözlenmediği normal, depremin olduğu deprem ve güneş hareketliliğinin yaşandığı

güneş durumları için ANOVA analizi sonuçları verilmiştir. Şekil 7.6'ya bakıldığında, en anlamlı sonuçların tec parametresi için deprem durumunda elde edildiği; sun için de güneş durumunda elde edildiği görülmektedir.



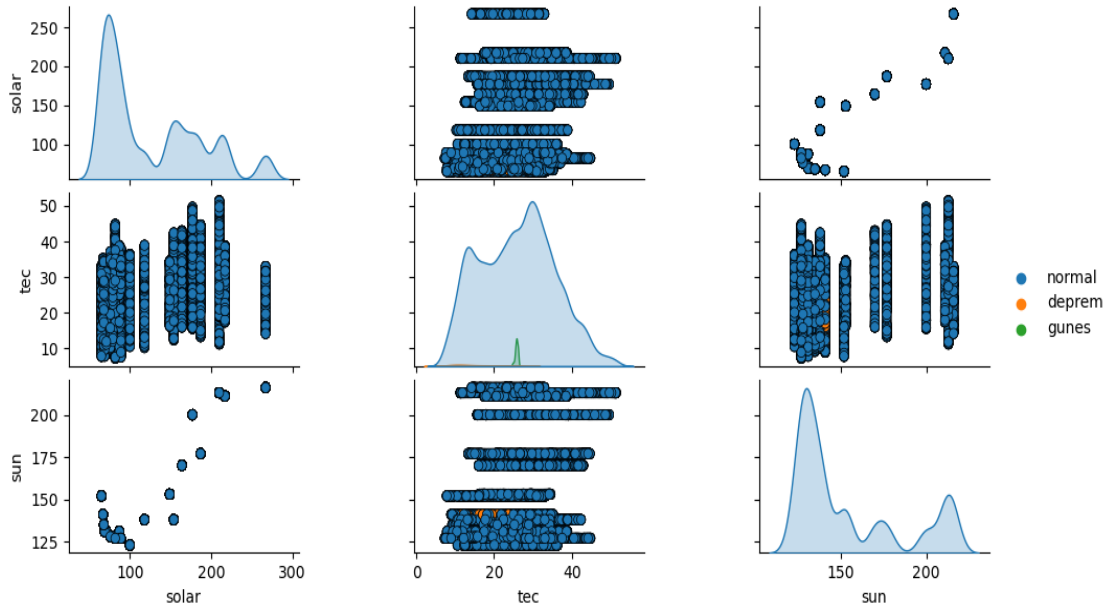
Şekil 7.6 Tubi istasyonu için normal, deprem ve güneş durumları için ANOVA analizi

Şekil 7.7'de, tubi istasyonu için, veri setinde kullanılan yedi parametrenin, birbirleriyle ilintilerini gösteren Öznitelik İlinti Isı Haritası verilmiştir. Şekil 7.7'ye bakıldığında, en yüksek ilintinin 0,9 değeriyle GLS ile F10.7 arasında olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek ilinti ise 0,71 değeriyle AE ve Kp indisleri arasında olduğu gözlenmektedir. IONOLAB-TEC ile en yüksek ve pozitif ilintiye de 0,34 oranıyla F10.7 indisinin sahip olduğu görülmektedir. Birbirlerinden türeyen Ap ve Kp indisleri arasındaki ilintinin de 0,69 olduğu, Şekil 7.7'de görülmektedir.



Şekil 7.7 Tubi istasyonu için parametreler arası Öznitelik İlinti Isı Haritası

Şekil 7.8’de, tubi istasyonu için, parametrelerin çapraz dağılımlarını ifade eden Öznitelik İkiliği verilmiştir. Koyu mavi renk, hiçbir olayın yaşanmadığı “normal” örnekleri, turuncu renk, sismik hareketliliğin olduğu “deprem” örneklerini ve yeşil renk de güneş tutulmasının olduğu “güneş” örneklerini temsil etmektedir. Normal örneklerin deprem ve güneş örneklerinden çok çok fazla olması sebebiyle dengesiz bir veri dağılımı bulunmaktadır. Bu nedenle verinin çoğu, normal olarak nitelendirilen durumdan gözükmektedir. Deprem olayının sadece de IONOLAB-GLS çaprazlamasında çok az ortaya çıktığı görülmektedir (2. satır, 3. sütun ve 3. satır, 2. sütun). IONOLAB-TEC’in özniteliğinde depremin güneş durumuna göre, daha fazla etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 7.8 Tubi istasyonu için IONOLAB-TEC (tec), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası Öznitelik İkiliği

Toplam örnek sayıları yukarıda belirtildiği gibi sınıflandırıldıktan sonra Gaussian ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları uygulanmıştır. Merkez istasyon tubi için normal örnek sayısı 3279, deprem örnek sayısı 126 ve güneş örnek sayısı 51’dir. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı, bu üç olayda kullanılan örnek sayılarından 3279 normal örneğin 3279’unu; 126 deprem örneğinin 19’unu ve 51 güneş örneğinin 24’ünü doğru tahmin etmiştir. Bu da sırasıyla, %100, %15 ve %47 tahmin oranlarına karşılık gelmektedir. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı için toplam tahmin oranı %96,12 olarak elde edilmiştir. Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı’nda, her üç durum için,

Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı'nda elde edilen oranlara çok yakın oranlar elde edilmiştir. Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı ile tubi istasyonu için elde edilen toplam tahmin oranı da %98,75'tir. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı için kullanılan normal, deprem ve güneş örnek sayıları, tahmin edilen örnek sayıları, tahmin oranları, hassasiyet oranları, anımsama ve f1-puanı sonuçları, aşağıda verildiği şekliyle elde edilmiştir:

Model Performans Metrikleri:

Doğruluk: 0.9612
Hassasiyet: 0.9917
Anımsama: 0.9612
F1 Puanı: 0.9737

Model Sınıflama Raporu:

	hassasiyet	anımsama	f1-puanı	destek
normal	1.00	0.96	0.98	3413
deprem	0.15	1.00	0.26	19
güneş	0.47	1.00	0.64	24
doğruluk			0.96	3456
makro ort	0.54	0.99	0.63	3456
ağırlık. ort.	0.99	0.96	0.97	3456

Tahmin Karışıklık Matrisi:

		Tahmin edilen:		
		normal	deprem	güneş
Gerçek:	normal	3279	107	27
	deprem	0	19	0
	güneş	0	0	24

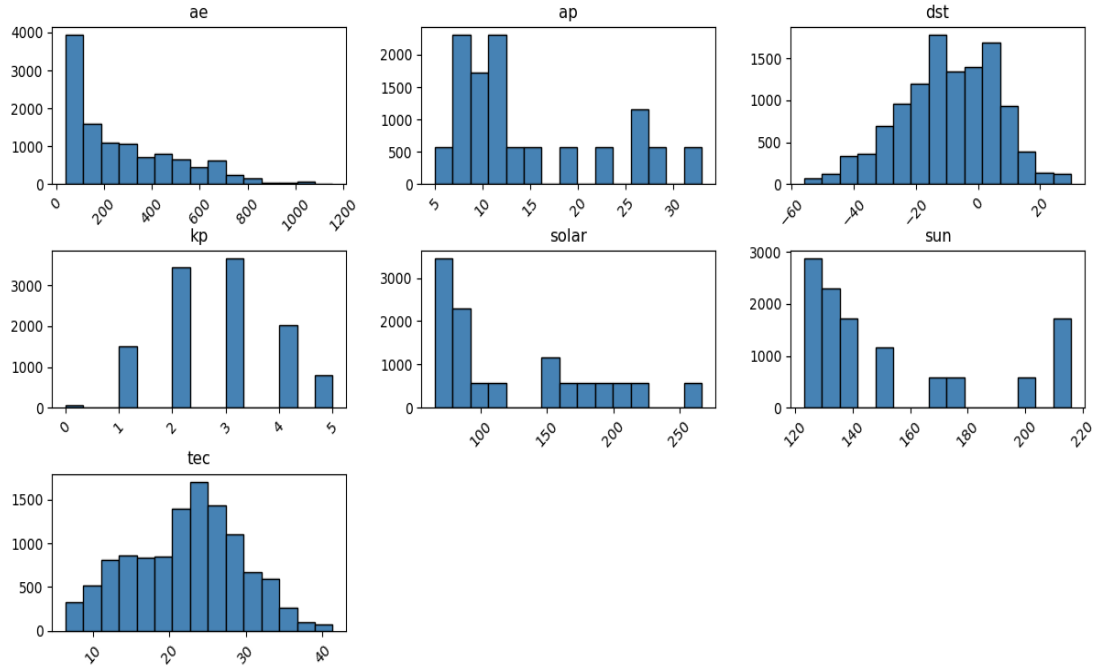
Merkez istasyon tubi için yapılan analizlerin tümü, kontrol istasyonu olarak seçilen ankr istasyonu için de yapılmıştır. İlk olarak, ankr istasyonu IONOLAB-TEC değerleri için kullanılan normal örnek sayısı 3282, deprem örnek sayısı 107 ve güneş örnek sayısı 24 üzerinden ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerler elde edilmiştir. Kontrol istasyonu ankr için elde edilen istatistiklere, Tablo 7.2'de verilmiştir. Tablo 7.1 ile Tablo 7.2 karşılaştırıldığında, kontrol istasyonu olan ankr istasyonunun IONOLAB-TEC değerlerinin ortalama değer ve standart sapmasının, merkez istasyonu olan tubi istasyonuna göre daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Aynı şekilde, kontrol istasyonu ankr'nin minimum ve maksimum değerlerinin de merkez istasyon tubi'nin minimum ve maksimum değerlerinden daha

büyük olduğu görülmektedir. Seçilen istasyonun deprem merkezine olan uzaklığı, bu istatistiklerde IONOLAB-TEC için elde edilen öznelik değerlerini, ayırt edici bir özellik haline getirmiştir. Deprem merkezine uzaklık arttıkça, IONOLAB-TEC değerlerinin ortalama değerinin, standart sapmasının, minimum ve maksimum değerlerinin de arttığı gözlenmiştir.

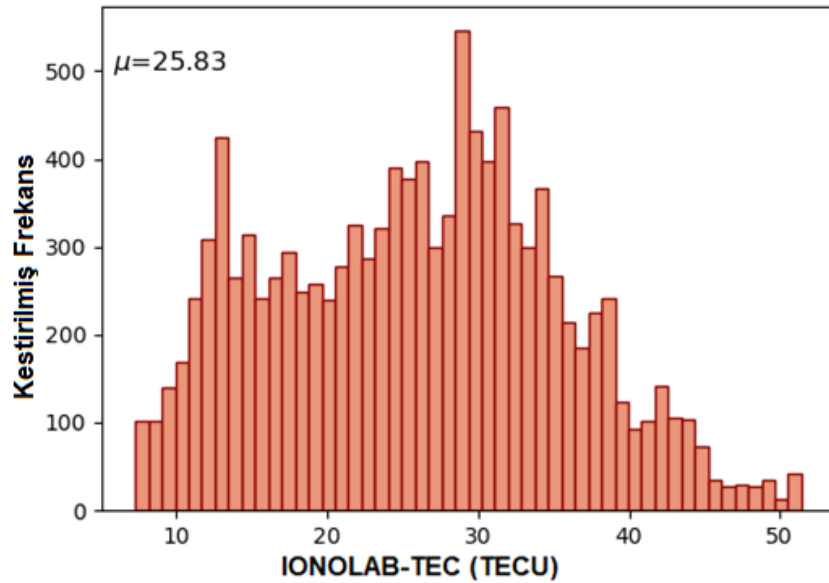
Tablo 7.2 ankr istasyonu için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

Index	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst
count	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520
mean	25.83	14.55	2.73	153.5	124.8	279.8	-9.44
std	9.55	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68
min	7.25	5	0	123	65	39	-56
25%	17.9	8.75	2	130.25	74.75	81	-20
50%	26.09	11	3	138	94.5	203	-9
75%	32.52	19.75	3	171.75	167.25	437.25	3
max	51.43	33	5	216	267	1155	30

Kontrol istasyonu ankr için, veri setinde kullanılan her bir verinin frekans histogramları elde edilmiştir. Şekil 7.8’de ankr istasyonu için de kullanılan her bir parametrenin normalize edilmiş kutucuklara göre frekansları verilmiştir. Şekil 7.8’e bakıldığında, ankr istasyonu için IONOLAB-TEC’in en büyük frekans aralığının 30 TECU civarında kümelendiği görülmektedir. Diğer kullanılan parametreler, tubi istasyonu ile aynı olduğundan, aynı frekans aralıkları elde edilmiştir. Yani seçilen yirmi günlük periyotta, AE indisi için en büyük frekans aralığı 100 civarındadır. Yine aynı şekilde, Dst indisi için de en büyük frekans aralığının -15 nT civarında kümelendiği görülmektedir. Kp ve Ap indisleri için de en büyük frekans aralığı sırasıyla, 3 ve 12 civarında kümelenmiştir. Şekil 7.9’da ankr istasyonu IONOLAB-TEC değerlerinin kestirilmiş frekans aralıkları gösterilmiştir. En büyük frekansın yine 30 TECU civarında yığıldığı görülmektedir. Ortalama değer, $\mu = 25,83$ olarak elde edilmiştir ve Tablo 7.2’deki her değer gibi, ortalama değer, tubi istasyonu için elde edilen $\mu = 22,22$ değerinden daha büyük elde edilmiştir.



Şekil 7.9 ankr istasyonu için AE, Ap, Dst, Kp, F10.7 ve GLS indisleri ile IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları



Şekil 7.10 ankr istasyonu için IONOLAB-TEC'in kestirilmiş frekansları

İkinci olarak, farklı normal, güneş, deprem derecelendirmelerine sahip ankr istasyonu örneklerinde ortalama IONOLAB-TEC, GLS ve Dst seviyeleri için ANOVA testi yapılmış ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir. Test sonuçları, tubi istasyonu ile karşılaştırıldığında, IONOLAB-TEC değerlerinde bu testin ankr istasyonu için daha az anlamlı olduğu ortaya çıkmıştır. Deprem merkezine uzaklık arttıkça, p-değeri

artmış, anlamlılık seviyesi de azalmıştır. ANOVA testi, IONOLAB-TEC değerleri üzerinden, deprem merkezine daha yakın olan tubi için daha anlamlı sonuçlar vermiştir.

F istatistiği: 34,52193089962581

p-değeri: $1,1273981303312294 \times 10^{-15}$

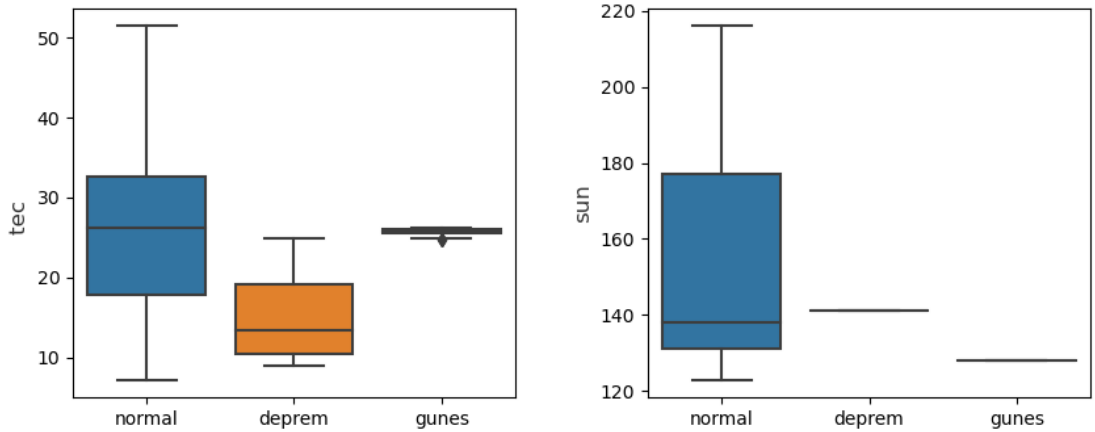
F istatistiği: 29,054100161327874

p-değeri: $2,5923262341722993 \times 10^{-13}$

F istatistiği: 61,26687602452211

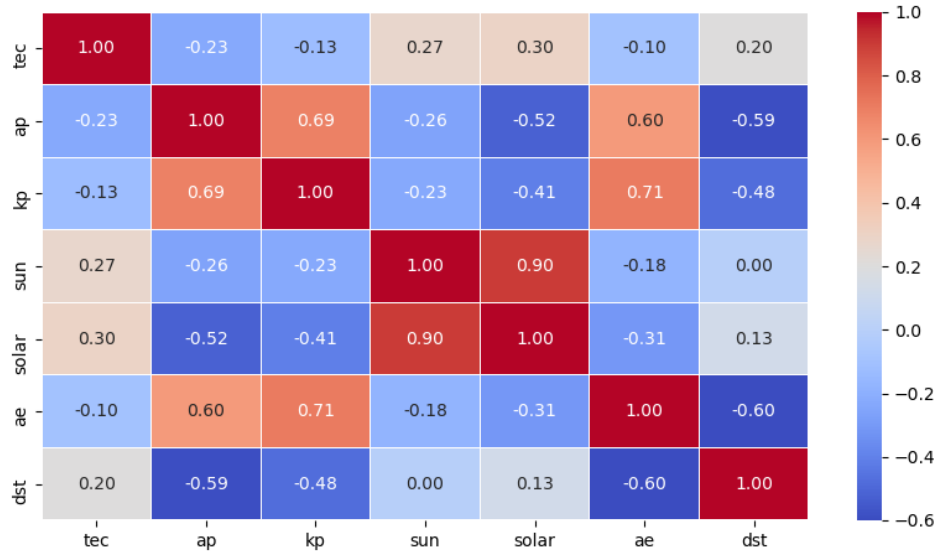
p-değeri: $61,26687602452211 \times 10^{-27}$

Şekil 7.10’da tubi istasyonu için, hiçbir olayın gözlenmediği normal, depremin olduğu deprem ve güneş hareketliliğinin yaşandığı güneş durumları için ANOVA analizi sonuçları gösterilmiştir. Şekle bakıldığında, en anlamlı sonuçların tec parametresi için yine deprem durumunda elde edildiği; sun için de güneş durumunda elde edildiği görülmektedir.



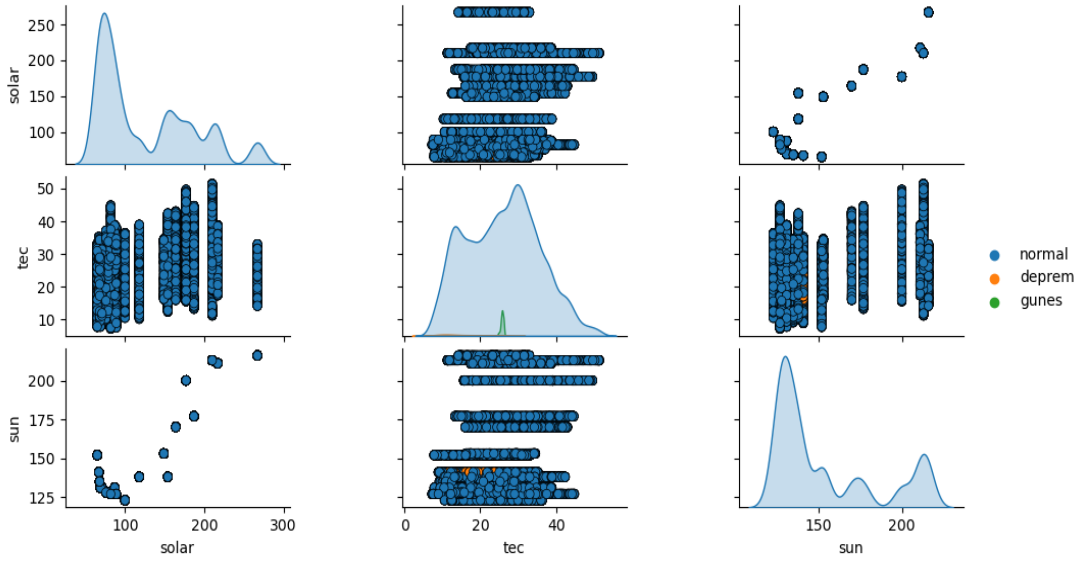
Şekil 7.11 ankr istasyonu için normal, deprem ve güneş durumları için ANOVA analizi

Şekil 7.11’de, ankr istasyonu için, yedi parametrenin birbirleriyle ilintilerini gösteren Öznitelik İlinti Isı Haritası verilmiştir. Şekle bakıldığında, en yüksek ilintinin yine tubi istasyonu ile aynı şekilde 0,9 değeriyle GLS ile F10.7 arasında olduğu görülmektedir. İkinci en yüksek ilinti ise 0,71 değeriyle AE ve Kp indisleri arasında olduğu gözlenmektedir. IONOLAB-TEC ile en yüksek ve pozitif ilintinin ankr istasyonu için 0,30 oranıyla F10.7 indisinin sahip olduğu görülmektedir. Bu oranın, tubi istasyonuna göre daha küçük olması, ankr istasyonunun coğrafi konumuna (enlem farkı) göre farklılık göstermesiyle açıklanabilir.



Şekil 7.12 ankr istasyonu için parametreler arası Öznitelik İlinti Isı Haritası

Şekil 7.12’de, ankr istasyonu için, parametrelerin çapraz dağılımlarını ifade eden Öznitelik İkilileri verilmiştir. Koyu mavi renk, hiçbir olayın yaşanmadığı “normal” örnekleri, turuncu renk, sismik hareketliliğin olduğu “deprem” örneklerini ve yeşil renk de güneş tutulmasının olduğu “güneş” örneklerini temsil etmektedir. Merkez istasyon tubi için var olan dengesiz veri durumu, ankr istasyonu için de geçerli olduğu sebebiyle, ankr istasyonu için elde edilen Öznitelik İkilileri, tubi istasyonu için elde edilenlerle benzer sonuçlar göstermiştir. Yani, verinin çoğu, normal olarak kabul edilen durumdan gözükmemektedir. Deprem olayının sadece de IONOLAB-TEC ile GLS çaprazlamasında çok az ortaya çıktığı görülmektedir (2. satır, 3. sütun ve 3. satır, 2. sütun). IONOLAB-TEC’in özniteliğinde depremin güneş durumundan görece daha fazla etkisi olduğu görülmektedir. Deprem örneklerinin sayısının artmasının, bu Öznitelik İkilileri’ni değiştireceği gözlenmiştir. Kullanılan modelin, deprem örnek sayısı arttıkça, normal örnekler içinde deprem durumlarını tespit edebileceği öngörülmüştür. Aynı şey, güneş ya da jeoamanyetik hareketliliğin tespiti için de geçerli olabilmektedir.



Şekil 7.13 ankr istasyonu için IONOLAB-TEC (tec), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası Öznitelik İkiliği

Gaussian ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları ankr istasyonu için elde edilen IONOLAB-TEC verilerine de uygulanmıştır. Kontrol istasyonu ankr için normal örnek sayısı 3282, deprem örnek sayısı 107 ve güneş örnek sayısı 24'tür. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı, bu üç olayda kullanılan örnek sayılarından 3282 normal örneğin 3282'sini tahmin ederek %100 sonuç vermiştir. Yine Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı 126 deprem örneğinin 19'unu tahmin ederek %15 sonuç vermiştir. Son olarak da Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı, 48 güneş örneğinin 24'ünü doğru tahmin ederek %50 doğru sonuç vermiştir. Merkez istasyon tubi için elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında, IONOLAB-TEC üzerinden normal ve deprem tahminlerinin değişmediği, sadece %0,03 kadar tahmin doğruluğunun arttığı gözlenmiştir. Bu durum yine, iki istasyon arasındaki coğrafik konum farklılığıyla açıklanabilir. Her üç durum için Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı kullanılarak ankr istasyonu için elde edilen toplam tahmin oranı %96,20'dir. Toplam tahmin doğruluk oranında da ankr istasyonu için elde edilen oran %0,08 daha büyük olarak elde edilmiştir. Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı'nda, ankr istasyonu IONOLAB-TEC değerlerinin her üç durumu için, Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı'nda elde edilen oranlara çok yakın oranlar elde edilmiştir. Bernoulli Naive Bayes Sınıflayıcısı ile ankr istasyonu için elde edilen toplam tahmin oranı da %98,75'tir. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı için kullanılan normal, deprem ve güneş örnek sayıları, tahmin edilen örnek sayıları, tahmin oranları,

hassasiyet oranları, anımsama ve f1-puanı sonuçları, aşağıda verildiği şekliyle elde edilmiştir:

Model Performans Metrikleri:

Doğruluk: 0.9621
Hassasiyet: 0.9919
Anımsama: 0.9621
F1 Puanı: 0.9743

Model Sınıflama Raporu:

	hassasiyet	anımsama	f1-puanı	destek
normal	1.00	0.96	0.98	3413
deprem	0.15	1.00	0.26	19
güneş	0.5	1.00	0.67	24
doğruluk			0.96	3456
makro ort	0.55	0.99	0.64	3456
ağırlık. ort.	0.99	0.96	0.97	3456

Tahmin Karışıklık Matrisi:

		Tahmin edilen:		
		normal	deprem	güneş
Gerçek:	normal	3282	107	24
	deprem	0	19	0
	güneş	0	0	24

Çalışmanın son kısmında, merkez istasyon tubi ve kontrol istasyonu ankr'nin birleşik istatistiksel analizi yapılmıştır. Tablo 7.3'te, ankr ve tubi istasyonlarının karşılaştırmalı istatistik değerleri verilmiştir. Tablo 7.3 incelendiğinde, deprem merkezine uzak olan ankr istasyonunun IONOLAB-TEC değerleri için hesaplanan ortalama değer ve standart sapmanın, merkez istasyon tubi için hesaplanan ortalama değer ve standart sapmadan daha büyük olduğu görülecektir. Aynı şekilde, deprem merkezine uzak olan ankr istasyonunun IONOLAB-TEC değerlerinin minimum ve maksimum değerlerinin, tubi için hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu gözlenmektedir. Kontrol istasyonu ankr için hesaplanan %25, %50 ve %75'lik değerlerin de merkez istasyon tubi için hesaplanan değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir.

Tablo 7.4'te, tubi ve ankr istasyonun deprem, güneş ve normal durumlarındaki birleşik istatistikleri verilmiştir. Tablo 7.4 incelendiğinde, IONOLAB-TEC için en küçük ortalama değer deprem durumunda ortaya çıktığı görülmektedir. Güneş ve normal

durumda elde edilen ortalama değerler birbirine çok yakındır. Deprem durumunda ortalama değer neredeyse yarı yarıya azalmıştır. Buna karşın standart sapma, güneş durumunda 1,5'e, deprem durumunda da 4,87'ye düşmüştür. İyon kürede bir bozulma meydana geldiğinde, standart sapma azalmıştır. Normal durumda daha düşük olan minimum değer, deprem durumunda biraz artmış, güneş durumunda ise oldukça yükselmiştir. Güneş tutulması ve deprem meydana geldiğinde, İONOLAB-TEC'in minimum değerlerinde artışlar gözlenmiştir. Normal dönemde maksimum değer 51,43 TECU iken, deprem ve güneş durumunda maksimum değer yarı yarıya azalarak 24,87 TECU değerini almıştır.

Tablo 7.3 ankr ve tubi istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

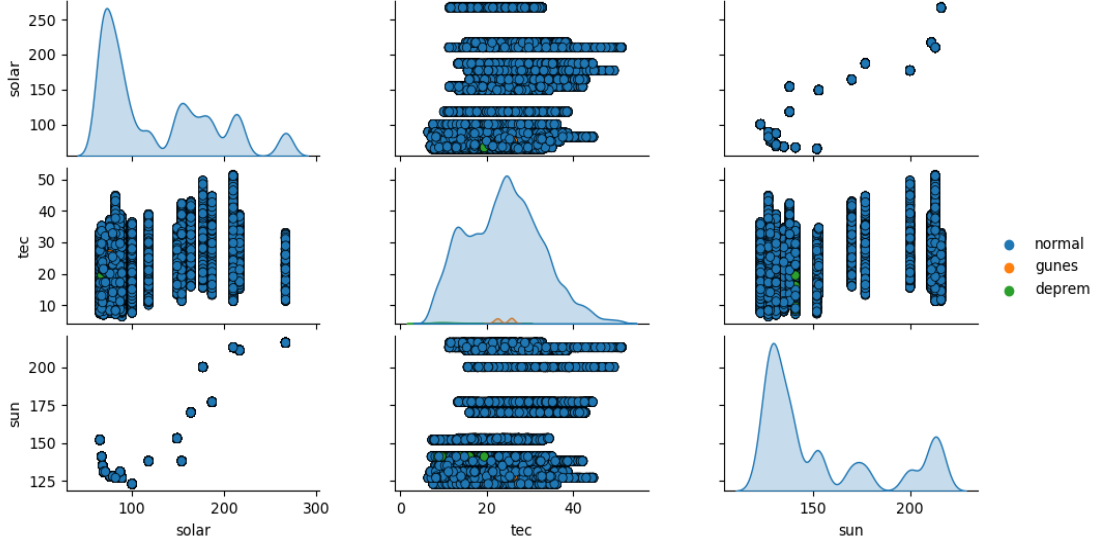
	ankr							tubi						
	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst
count	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00	11520.00
mean	25.83	14.55	2.73	153.50	124.80	279.80	-9.44	22.22	14.55	2.73	153.50	124.80	279.80	-9.44
std	9.55	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68	7.18	8.18	1.12	31.53	59.75	232.96	15.68
min	7.25	5.00	0.00	123.00	65.00	39.00	-56.00	6.41	5.00	0.00	123.00	65.00	39.00	-56.00
25%	17.90	8.75	2.00	130.25	74.75	81.00	-20.00	16.84	8.75	2.00	130.25	74.75	81.00	-20.00
50%	26.09	11.00	3.00	138.00	94.50	203.00	-9.00	22.92	11.00	3.00	138.00	94.50	203.00	-9.00
75%	32.52	19.75	3.00	171.75	167.25	437.25	3.00	27.21	19.75	3.00	171.75	167.25	437.25	3.00
max	51.43	33.00	5.00	216.00	267.00	1155.00	30.00	41.33	33.00	5.00	216.00	267.00	1155.00	30.00

Tablo 7.4 ankr ve tubi istasyonları için kullanılan toplam veri üzerinden her bir parametre için sırasıyla ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri

	deprem							gunes							normal						
	tec	ap	kp	sun	solar	ae	dst	tec	ap	kp	...	solar	ae	dst	tec	ap	kp	sun	solar		
count	104.00	104.0	104.00	104.0	104.0	104.00	104.00	150.00	150.0	150.0	...	150.0	150.00	150.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00	22786.00		
mean	13.16	27.0	4.46	141.0	67.0	673.54	-29.62	24.07	8.0	2.0	...	76.0	66.53	1.29	24.08	14.54	2.73	153.72	125.39		
std	4.87	0.0	0.50	0.0	0.0	109.43	1.50	1.70	0.0	0.0	...	0.0	25.61	3.32	8.65	8.16	1.12	31.62	59.82		
min	7.23	27.0	4.00	141.0	67.0	563.00	-31.00	21.19	8.0	2.0	...	76.0	46.00	-3.00	6.41	5.00	0.00	123.00	65.00		
25%	9.15	27.0	4.00	141.0	67.0	563.00	-31.00	22.44	8.0	2.0	...	76.0	46.00	-3.00	17.37	9.00	2.00	131.00	76.00		
50%	11.68	27.0	4.00	141.0	67.0	644.00	-31.00	23.83	8.0	2.0	...	76.0	49.00	2.00	24.25	11.00	3.00	138.00	100.00		
75%	16.71	27.0	5.00	141.0	67.0	789.00	-28.00	25.75	8.0	2.0	...	76.0	99.00	5.00	29.88	19.00	3.00	177.00	177.00		
max	24.87	27.0	5.00	141.0	67.0	789.00	-28.00	26.21	8.0	2.0	...	76.0	114.00	5.00	51.43	33.00	5.00	216.00	267.00		

Şekil 7.14'te, tubi ve ankr istasyonlarının birleşik Öznitelik İkileri verilmiştir. Şekil 7.14 incelendiğinde, istasyonların ayrı ayrı Öznitelik İkileri'nin aksine, burada

depremin etkisi daha net gözlenmektedir. Deprem durumunun, IONOLAB-TEC ile GLS birleşik çaprazlamasında, daha etkin olduğu gözlenmektedir.



Şekil 7.14 tubi ve ankr istasyonları için TEİ (TEC), GLS (sun) ve F10.7 (solar) parametreleri arası birleşik Öznitelik İkiliği

Son olarak, tubi ile ankr birleşik frekans analizi yapılmış ve birleşik kestirilmiş frekanslar elde edilmiştir. İstasyonların birleşik frekans aralığının 25 TECU civarında kümelendiği gözlenmiştir. Öznitelik Isı haritasında da IONOLAB-TEC'in en büyük ilintiye F10.7 ile 0,30 oranında sahip olduğu gözlenmiştir. Birleşik analizde kullanılan normal durum örnek sayısı 22,786, güneş durumu örnek sayısı 150 ve deprem durumu örnek sayısı da 104'tür.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, güneş ve sismik hareketliliğin iyon kürede meydana getirdiği bozulma ve düzensizlikler, 11 Ağustos 1999 güneş tutulması ve 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi periyodunca IGS ağı içinde yer alan iki istasyondan kestirilen IONOLAB-TEC verileri kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, merkez istasyon konumunda tubi ve kontrol istasyonu konumunda ankr istasyonlarından elde edilen IONOLAB-TEC verilerine ve dört jeomanyetik ile iki güneş indisi verilerine Gaussian Naive Bayes ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcıları uygulanarak, iyon kürenin yirmi günlük zaman aralığında istatistiksel analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgularda, istasyonların deprem merkezine uzaklığı arttıkça, ortalama değer, standart sapma, minimum ve maksimum değerlerin de arttığı gözlenmiştir. Deprem merkezine daha yakın istasyonun IONOLAB-TEC değerlerinde deprem döneminde 5 TECU kadar bir azalma meydana geldiği, dolayısıyla, yakın istasyonun IONOLAB-TEC değerlerinin, uzak istasyona göre daha az bir frekansta kümelenildiği gözlenmiştir.

Yapılan ANOVA analizinde, deprem merkezine uzaklaştıkça, verilerin anlamlılığının azaldığı gözlenmiştir. Deprem merkezine yakın istasyonun ortalama IONOLAB-TEC p-değerinin daha küçük olduğu saptanmıştır. Çalışma kapsamında seçilen yedi parametrenin çapraz ilinti analizinde, iyon küresel TEİ ile ilintisi en yüksek olan parametrenin, güneş akı indisi F10.7 olduğu tespit edilmiştir. Bu iki parametre arasındaki ilintinin, deprem merkezinden uzaklaştıkça azaldığı gözlenmiştir. Gaussian Naive Bayes Sınıflayıcısı'nın uygulanmasında, deprem, güneş ve hiçbir olayın gözlenmediği ve iyon kürenin sakin kabul edildiği normal durumları olmak üzere üç durum kabul edilmiştir. Sınıflayıcının, deprem olarak kabul edilen ihtimali, her iki istasyon için de eşit ve %15 olarak tahmin edebildiği gözlenmiştir. Aynı sınıflayıcının, güneş hareketliliği ihtimalini de her iki istasyon için benzer oranlarda tahmin edebildiği gözlenmiştir. Toplam tahmin oranında ise Gaussian Naive Bayes ve Bernoulli Naive Bayes sınıflayıcılarının ikisinin de birbirine yaklaşık oranlar verdiği gözlenmiştir.

İki istasyonun birleşik istatistiksel analizinde, İONOLAB-TEC için en küçük ortalama değerin deprem durumunda ortaya çıktığı; güneş ve normal durumda elde edilen ortalama değerler birbirine çok yakın olduğu gözlenmiştir. Minimum değerin, deprem durumunda biraz; güneş durumunda ise oldukça arttığı tespit edilmiştir. Maksimum değerin ise deprem ve güneş durumunda yarı yarıya azaldığı gözlenmiştir.

Bu çalışmada, Naive Bayes sınıflayıcıları, literatürde ilk defa YKS-TEİ verilerine uygulanmış ve bu kapsamda ilk defa kullanılmıştır. Çalışma için veri sağlanan istasyonların yetersizliği sebebiyle, algoritmanın öğrenmesi için deprem durumunda çok fazla sayıda veri girdisi sağlanamamıştır. Girdilerin büyük bir çoğunluğunu normal olarak nitelendirilen veriler oluşturmaktadır. Aynı durum, güneş tutulması için de geçerlidir. Dolayısıyla, Naive Bayes sınıflayıcılarının, deprem durumunu tahmin oranları oldukça düşük kalmış; anlamlı istatistik çıktıları sağlanamamıştır ve Naive Bayes sınıflayıcıların bu kapsamda kullanılmaya uygun yöntemler olup olmadığı açıkça gözlenememiştir. Gelecek çalışmalar, sadece YKS-TEİ verileri kullanılmak, daha fazla istasyon ağı üzerinden ve sismik hareketliliğin bozduğu verilerin sayısı geniş tutulmak, çalışılan olay (deprem) sayısı arttırılmak suretiyle yapılacak ve başka öğrenme yöntemleri de denenecektir.

KAYNAKLAR

- 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., Sezen, U., Toker, C., Artuner, H., Bulu, G., Demir, U., Erdem, E., Arikan, O., Tuna, H., Karatay, S., Gulyaeva, T.L., Mosna, Z. (2016). Space weather studies of IONOLAB group. URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (URSI AP-RASC), 1136–1139, Seul, Güney Kore.
- Arikan, F. & Yarici, A. (2017). Spectral investigation of traveling ionospheric disturbances: IONOLAB-FFT. *Geodesy and Geodynamics*, 8 (2017), 297-304.
- Aydogdu, M. & Ozcan, O. (1996). Effect of magnetic declination on refractive index and wave polarization coefficients of electromagnetic waves in mid-latitude ionosphere. *Indian Journal of Radio & Space Physics*, 25, 263-270.
- Aydoğdu, M., Yeşil, A., & Güzel, E. (2003). The group refractive indices of HF waves in the ionosphere and departure from the magnitude without collisions. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66, 343-348.
- Aydoğdu, M., Güzel, E., Yeşil, A., Özcan, O., & Canyılmaz, M. (2007). Comparison of the calculated absorption and the measured field strength of HF waves reflected from the ionosphere. *Il Nuovo Cimento*, 30, 243-253.
- Bartels, J. (1950). 27-day variation in F2 layer critical frequencies at Huancayo. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 1, 2-12.
- Biqiang, Z., Weixing, W., Libo, L., & Tian, M. (2007). Morphology in the total electron content under geomagnetic disturbed conditions: Results from global ionosphere maps. *Annales Geophysicae*, 25(7), 1555–1568.
- Bowles, K.L. (1966). Summary and Conclusions from the Estes Park Sporadic E Seminar; 1. Radio Measurements. *Radio Science*, 1(2), 242-243.
- Budak, C. (2014). Medikal Görüntülerdeki Darbe Gürültüsünün Makine Öğrenme Teknikleri Ile Giderilmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.

- Budak, C., Turk, M., & Toprak, A. (2016). Removal of impulse noise in digital images with naive Bayes classifier method. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 24, 2717 – 2729.
- Chen, Y.I., Liu, J.Y., Tsai, Y.B., & Chen, C.S. (2004). Statistical Tests for Pre-earthquake Ionospheric Anomaly. *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences*, 15(3), 385-396.
- Cherniak, I., Zakharenkova, I., & Krankowski, A. (2014). Approaches for modeling ionosphere irregularities based on the TEC rate index. *Earth Planets and Space*, 66(165), 1-5.
- Chuo, Y.J., Chen, Y.I., Liu, J.Y., & Pulinets, S.A. (2001). Ionospheric foF2 variations prior to strong earthquakes in Taiwan area. *Advances in Space Research*, 27(6), 1305-1310.
- Davies, K. & Baker, D.M. (1965). Ionospheric effects observed around the time of the Alaskan earthquake of March 28, 1964. *Journal of Geophysical Research*, 70(9), 2251–2253.
- Davies, K. (1990). *Ionospheric Radio*. London, UK: IET Electromagnetic Waves Series.
- De Canck, M.H. (2007). Ionosphere properties and behaviors. *Antennex*, 119, 6-7.
- Dobrovolsky, I.R., Zubkov, S.I., & Myachkin, V.I. (1979). Estimation of the size of earthquake preparation zones. *PAGEOPH*, 117, 1025–1044.
- Domingos, P. & Pazzani, M. (1997). Beyond independence: Conditions for the optimality of the simple Bayesian classifier. *Machine Learning*, 29, 103–130.
- Efendi, E. & Arikan, F. (2017). A fast algorithm for automatic detection of ionospheric disturbances: DROT. *Advances in Space Research*, 59(12), 2923-2933.
- Fuller-Rowell, T.J., Codrescu, M.C., & Wilkinson, P. (1999). Quantitative modeling of the ionospheric response to geomagnetic activity. *Annales Geophysicae*, 18, 766-781.
- Garavaglia, M., Dal Moro, G., & Zadro, M. (2000). Radon and Tilt Measurements in a seismic Area: Temperature Effects. *Physics and Chemistry of the Earth*, 25, 233-237.
- Hand, D.J. & Yu, Y. (2001). Idiots Bayes - not so stupid after all? *International Statistical Review*, 69, 385–389.

- Hargreaves, J.K. (1992). *The Solar-Terrestrial Environment*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hawarey, M. & Ayan, T. (2004). Uzay mekiği tırmanışı, deprem ve füze fırlatılışından kaynaklanan TEC değişimlerinin GPS ile belirlenmesi. *İTÜ Dergisi*, 3, 45-46.
- ICEPAC Technical Manual, by Frank G. Stewart, NTIA/ITS, Boulder.
- http://www.greg-hand.com/manuals/icepac_tech_manual.pdf
- 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 Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ.
- Karatay, S., Arikan, F., & Arikan, 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., & Arikan, F. (2017). Ionospheric responses during equinox and solstice periods over Turkey. *Advances in Space Research*, 60(9), 1958-1967.
- Karatay, S. (2020a). Detection of the ionospheric disturbances on GPS-TEC using Differential Rate Of TEC (DROT) algorithm. *Advances in Space Research*, 65(10), 2372-2390.
- Karatay, S. (2020b). Estimation of frequency and duration of ionospheric disturbances over Turkey with IONOLAB-FFT algorithm. *Journal of Geodesy*, 94(89), 1-24.
- Kelley, M. (2009). *The Earth's Ionosphere*. New York: Academic Press.
- Komjathy, A. (1997). *Global Ionospheric Total Electron Content Mapping Using the Global Positioning System*. University of New Brunswick Fredericton, New Brunswick, Canada.
- Koroglu, O. & Arikan, F. (2017). Regional ionospheric trend statistics: IONOLAB-PDF. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25, 1773-1783.
- Korte, M., Lühr, H., Förster, M., & Haak, V. (2001). Did the solar eclipse of August 11, 1999, show a geomagnetic effect? *Journal of Geophysical Research*, 106(A9), 563-575.

- Krankowski, A., Shagimuratov, I.I., Baran, L.W., Ephishov, I.I., & Tepenitzyna, N.J. (2006). The occurrence of polar cap patches in TEC fluctuations detected using GPS measurements in southern hemisphere. *Advances in Space Research*, 38(11), 2601–2609.
- Laitinen, P.O. & Haydon, G.W. (1962). Analysis and prediction of sky-wave field intensities in the high-frequency band. *Teknik Rapor*, 9, U.S. Army Signal Radio Propagation Agency.
- Lanyi, G.E. & Roth, T. (1998). A comparison of mapped and measured total ionospheric electron content using global positioning system and beacon satellite observations. *Radio Science*, 23(4), 483-492.
- Le, H., Liu, L., Yue, X., & Wan, W. (2008). The ionospheric responses to the 11 August 1999 solar eclipse: observations and modeling. *Annales Geophysicae*, 26, 107-116.
- Leonard, R.S. & Barnes Jr., R.A. (1965). Observation of ionospheric disturbances following the Alaska earthquake. *Journal of Geophysical Research*, 70(5), 1250-1253.
- Liu, J.Y., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., Tsai, Y.B., & Chuo, Y.J. (2000). Seismo-ionospheric signatures prior to $M \geq 6.0$ Taiwan earthquakes. *Geophysical Research Letters*, 27(19), 3113-3116.
- Liu, J.Y., Chuo, Y.J., Shan, S.J., Tsai, Y.B., Chen, Y.I., Pulinets, S.A., & Yu, S.B. (2004). Pre-earthquake ionospheric anomalies registered by continuous GPS TEC measurements. *Annales Geophysicae*, 22(5), 1585–1593.
- Lincoln, J.V. (1967). *International Geophysics*. New York: Academic Press.
- Manning, C.D., Raghavan P., & Schütze H. (2008). *Introduction to Information UK: Retrieval*. Cambridge University Press.
- Mannucci, A.J., Wilson, B.D., Yuan, D.N., Ho, C.H., Lindqwister, U.J., & Runge, T.F. (1998). A global mapping technique for GPS-derived ionospheric total electron content measurements. *Radio Science*, 33(3), 565-582.
- McCallum, A. & Nigam, K. (1998). A comparison of event models for Naive Bayes text classification (PDF). *AAAI-98 workshop on learning for text categorization*, 752.
- McNamara, L.F. (1994). *Radio Amateur's Guide to the Ionosphere*. Florida: Krieger Pub Co.

- Naaman, Sh., Alperovich, L.S., Wdowinski, Sh., Hayakawa, M., & Calasis, E. (2001). Comparison of simultaneous variations of the ionospheric Total Electron Content and geomagnetic field associated with strong earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, 53-59.
- Nayir, H. (2007). *Yerküresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanarak İyonosfer Toplam Elektron İçeriği Kestirimi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Ozcan, O. & Aydodu, M. (2004). Possible effects of the total solar eclipse of August 11, 1999 on the geomagnetic field variations over Elazığ-Turkey. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 66 (2004), 997-1000.
- Papoulis, A. (1984). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes*. New York, USA: McGraw-Hill.
- Perrone, L. & De Franceschi, G. (1998). Solar, ionospheric and geomagnetic indices. *Annals of Geophysics*, 41(5-6), 843-855.
- Pulinets, S.A., Legen'ka, A.D., Gaivoronskaya, T.V., & Depuev, V.Kh. (2003). Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65(16-18), 1337-1347.
- Pulinets, S.A. (2004) Ionospheric precursors of earthquakes; recent advances in theory and practical applications. *TAO*, 15(3), 413-435.
- Pulinets, S. & Boyarchuk, K. (2004). *Ionospheric Precursors of Earthquakes*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pulinets, S.A., Gaivoronska, T.B., Contreras L.A., & Ciraolo, I. (2004). Correlation analysis technique revealing ionospheric precursors of earthquake. *Natural Hazards and Earth Systems Sciences*, 4, 697-702.
- Pulinets, S.A., Contreas, A.L., Bisiacchi-Giraldi, G., & Ciraolo, L. (2005). Total electron content variations in the ionosphere before the Colima, Mexico, earthquake of 21 January 2003. *Geofísica Internacional*, 44(4), 369-377.
- Pulinets, S.A., Kotsarenko, A.N., Ciraolo, L., & Pulinets, I.A. (2007). Special case of ionospheric day-to-day variability associated with earthquake preparation. *Advances in Space Research*, 39(5), 970-977.
- Rishbeth, H., & Garriott, O. (1969). *Introduction to Ionospheric Physics*. New York, USA: Academic Press.
- Rishbeth, H. (2006). Ionoquakes: Earthquake Precursors in the Ionosphere? *EOS*, 87(32), 1-2.

Rostoker, G. (1972). Geomagnetic Indices. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 10(4), 935-950.

Sayın, I. (2008). Kriging ve Rassal Alan Öncülü ile Toplam Elektron İçeriği Haritalaması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Schunk, R., & Nagy, A. (2009). *Ionospheres: Physics, Plasma Physics, and Chemistry*. New York: 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.

Shalimov, S.L. (1992). Lithosphere-ionosphere relationship: A new way to predict earthquakes? *Journal of International Geoscience*, 15(4), 252-254.

Silina, A.S., Liperovskaya, E.V., Liperovsky V.A., & Meister, C.V. (2001). Ionospheric phenomena before strong earthquakes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 1, 113-118.

Sun, L., Wan, W., Dingand, F., & Mao, T. (2007). Gravity wave propagation in the realistic atmosphere based on a three-dimensional transfer function model. *Annales Geophysicae*, 25(9), 1979-1986.

Tascione, T.F. (1988). *Introduction to the Space Environment*. Florida, USA: Orbit Book Company.

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: http://roma2.rm.ingv.it/en/research_areas/4/ionosphere

URL-2: <https://www.arrl.org/files/file/Technology/tis/info/pdf/0209038.pdf>

URL-3: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/ionospheric/solar-indices-flux-a-ap-k-kp.php>

URL-4: <https://spawx.nwra.com/spawx/f10.html>

URL-5: <https://en.wikipedia.org/wiki/Sunspot>

URL-6: <https://www.swpc.noaa.gov>

URL-7: <http://www.haarp.alaska.edu>

URL-8: <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-ap-index.html>

URL-9: <http://swaciwebdevelop.dlr.de/geomagnetic-indices/ae-index/>

URL-10: <https://earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/warnings-from-the-ionosphere>

URL-11: <https://tr.wikipedia.org/wiki/GPS>

URL-12: <http://what-when-how.com/gps/introduction-to-gps/>

URL-13: www.ionolab.org

URL-14: https://scikit-learn.org/stable/modules/naive_bayes.html#out-of-core-naive-bayes-model-fitting

URL-15: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/ionex/>

URL-16: www.ionolab.org

URL-17: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>

URL-18: ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/indices/old_indices/

URL-19: <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/>

Vlasov, M., Kelley, M.C., & Kil, H. (2003). Analysis of ground-based and satellite observations of F-region behavior during the great magnetic storm of July 15, 2000. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 65(11-13), 1223–1234.

Webb, G., Boughton, J., & Wang, Z. (2005). Not So Naive Bayes: Aggregating One-Dependence Estimators. *Machine Learning*, 58 (1), 5–24.

Zhang, D.H. & Xiao, Z. (2003). Study of the ionospheric total electron content response to the great flare on 15 April 2001 using the International GPS Service network for the whole sunlit hemisphere. *Journal of Geophysical Research Space Physics*, 108(A8), 1-11.

Zhang, H. (2004). The optimality of Naive Bayes. *The Optimality of Naive Bayes. Seventeenth International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference*, 2.

Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M., & Webb, F.H. (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *Journal of Geophysical Research*, 102(B3), 5005-5017.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muna Omar Abdelsalam ALGAHANI
Doğum Yeri ve Yılı : Bingazi, Libya / 1984
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Benghazi Secondary School, 2012
Lisans : University of Benghazi, 2016

Mesleki Deneyim

İş Yeri : Benghazi Higher Institute of Engineering Technology,
2016-2018