

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İYONOSFERİK TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEC)
DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ**

Fizikçi Onur ÜNVER

FBE Fizik Anabilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra CAN (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2010

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İYONOSFERİK TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEC)
DEĞİŞİMİNİN BELİRLENMESİ


Fizikçi Onur ÜNVER


FBE Fizik Anabilim Dalında Hazırlanan

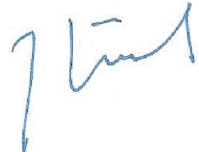
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Zehra CAN (Yıldız Teknik Üniversitesi)

İSTANBUL, 2010

Prof. Dr. Kubilay Kutlu


Doç. Dr. Zehra CAN


Doç. Dr. Zeynep Görel


İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	iv
KISALTMA LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS).....	6
2.1 Küresel Konum Belirleme Sistemini Oluşturan Bölümler ve Kullanım Alanları.....	7
2.2 Küresel Konum Belirleme Sistemi İle İyonosfer Araştırmaları.....	8
2.2.1 NeQuick Modeli.....	10
2.2.2 COSTprof Modeli.....	13
2.2.3 Bent Modeli.....	13
2.2.4 IRI Modeli.....	13
2.2.5 IONOLAB Toplam Elektron İçeriği Kestirimi.....	14
3. DÜNYA’NIN ATMOSFERİ.....	15
3.1 Basınç, Sıcaklık ve Yoğunluk Değişimleri.....	18
3.2 Güneş.....	21
4. İYONOSFER.....	24
4.1 İyonosfer’in Dikey Elektron Yoğunluğu Profili.....	25

5. CHAPMAN MODELİ.....	27
5.1 Hidrostatik Denge.....	27
5.2 İyon Üretim Oranı.....	31
6. İYONOSFERİK TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEC).....	36
6.1 İyonosfer'in Elektromanyetik Dalga Yayılımına Etkisi.....	38
6.2 İyonosferik Kırılma.....	40
6.3 TEC Hesaplama Yöntemleri.....	43
6.4 Sözde Menzil Değerleri Kullanılarak Yapılan STEC Hesabı.....	46
7. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN FORMATLAR.....	49
7.1 Bernese 5.0.....	50
8. IONOLAB ve IRI 2007 İLE ELDE EDİLEN TEC GRAFİKLERİ.....	54
8.1 Ionolab İle Elde Edilen TEC Değişimi Grafikleri.....	55
8.2 IRI 2007 İle Elde Edilen TEC Değişimi Grafikleri.....	62
9. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	66
KAYNAKÇA.....	68
İNTERNET KAYNAKLARI.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	72

SİMGE LİSTESİ

N_e	Elektron yoğunluğu
μ	İyonosferik kırılma indisi
σ	Optik derinlik
H	Skala yüksekliği
η	İyonizasyon sabiti
χ	Alıcıya ulaşan radyo dalgasının zenit ile yaptığı açı
K	Ortamın dielektrik sabiti
F	Haritalandırma faktörü
κ	Ortamın soğurma katsayısı
n_g	Grup kırılma indisi
n_p	Faz kırılma indisi
w	Radyo dalgasının açısal frekansı
w_H	Plazma frekansı
ε	Mevsimsel faktör
f_oE	E tabakasının plazma frekansı
f_oF1	F1 tabakasının plazma frekansı
f_oF2	F2 tabakasının plazma frekansı
g	Yerçekimi ivmesi
ρ	Kütle yoğunluğu
k	Boltzmann sabiti
T	Sıcaklık
m	Kütle

KISALTMA LİSTESİ

GPS	Global Positioning System (ABD)
GLONASS	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema (Rusya)
GNSS	The Global Navigation Satellite System
IGS	International GNSS Service
TEC	Total Electron Content
STEC	Slant Total Electron Content
VTEC	Vertical Total Electron Content
IRI	International Reference Ionosphere
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
URSI	Union Radio – Scientifique Internationale
COSPAR	Committee On Space Research
CCIR	Comite Consultatif International des Radiocommunications
PRN	Pseudo Random Noise
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OCS	Opreational Control System
ICTP	International Center of Theoretical Physics
UV	Ultraviolet
SIDC	Sunspot Index Data Center
DCB	Differential Code Bias
SOPAC	Scripps Orbit and Permanent Array Center

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 NeQuick Model'in işletim diyagramı.....	12
Şekil 3.1 Dünya atmosferi.....	15
Şekil 3.2. Atmosferi kimyasal özelliklerine göre açıklanması.....	16
Şekil 3.3. 23. ve 24. Güneş çevrimi Güneş Lekesi etkinliği.....	23
Şekil 4.1. Orta enlemde, gündüz ve gece boyunca, maksimum (düz çizgi) ve minimum (kesikli çizgi) güneş lekeleri için elektron yoğunluğu profili.....	25
Şekil 5.1 Silindirik bir hacme etki eden gaz basınçları.....	28
Şekil 6.1 1TECU, $1m^2$ kesit alanına sahip silindirdeki toplam elektron miktarıdır.....	37
Şekil 8.1 1041 numaralı Güneş lekesinin 22 Ocak 2010 tarihinde Güneş üzerindeki konumu (siyah halka içerisinde)	54
Şekil 8.2 20-21-22 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.....	55
Şekil 8.3 23-24-25 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.....	56
Şekil 8.4 26-27-28 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.....	57
Şekil 8.5 29-30-31 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.....	58
Şekil 8.6 20-21-22 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.....	59
Şekil 8.7 23-24-25 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.....	60
Şekil 8.8 26-27-28 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.....	61
Şekil 8.9 29-30-31 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.....	62
Şekil 8.10 ISTN istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 41.10444802 ve boylam: 29.01934175.....	63
Şekil 8.11 ANKR istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 39.88737168 ve boylam: 32.75846992.....	64
Şekil 8.12 TUBI istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 40.78672546 ve boylam: 29.45068468.....	65

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması için, tüm bilgi ve deneyimini büyük bir sabır ile cömertçe benimle paylaşan danışmanım Doç. Dr. Zehra CAN'a, hocam Yrd. Doç. Dr. Kutsal BOZKURT'a ve bölüm başkanımız Prof. Dr. Kubilay KUTLU'ya en derin saygı ve sevgilerimle teşekkür ederim.

Bernese 5.0 yazılımını öğrenip kullanabilmem konusunda, bana değerli zamanını ayıran hocam Doç. Dr. Engin GÜLAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İYO-TEK Projesi kapsamında tezime destek vererek çalışmama değer kazandıran ve aynı zamanda ihtiyacım olan önemli kaynaklara ulaşmamı sağlayan Prof. Dr. Kamil EREN ve Prof. Dr. Turgut UZEL'e teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi yardımlarını hiçbir şart altında esirgemedi bu günlere gelmemi sağlayan ÜNVER ailesine çok teşekkür ederim.

ÖZET

Başlangıçta askeri amaçlı geliştirilen küresel konum belirleme sistemi (GPS) İyonosfer araştırmalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Yer yüzeyinden yaklaşık 20200 km yörünge yüksekliğinde bulunan 24 adet GPS uydusu, farklı taşıyıcı frekanslarında (L_1 frekansı 1575,42 MHz ve L_2 frekansı da 1227,60 MHz) sinyaller yaymaktadır. Bu sinyaller, dünya atmosferinde bulunan İyonosfer tabakasını da geçerek yer yüzeyinde bulunan GPS alıcılarına erişmektedir. Bu uydulardan yayınlanan elektromanyetik dalgalar, İyonosfer'in değişken yapısından oldukça fazla etkilenmektedirler. Doğal bir plazma olan İyonosfer serbest elektronlar ve pozitif iyonlar içermektedir. Bu ise İyonosfer'i geçerek gelen GPS sinyal yayılımını ve ortamın elektrik özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. İyonlaşma ve serbest elektronların yoğunluğu ise Güneş'ten gelen radyasyona bağlı olarak sürekli bir değişim göstermektedir. Başka bir deyişle İyonosfer; günün saatine, mevsimlere, coğrafi koordinata ve güneşteki patlamalara da bağlı olarak sürekli bir değişim halindedir. Güneş olayları ise, Güneş'in 11 yıllık periyoduna bağlı olarak sakin evreden, yoğun patlamaların olduğu durumlara doğru bir salınım göstermektedir. Bu günlerde sakin evresini geçirmekte olan Güneş, 2011 yılından itibaren daha yoğun patlamaların olacağı bir evreden geçecektir. İyonosfer'in değişken yapısından etkilenen GPS sinyallerinin uğrayacağı gecikme, İyonosfer'in o anki toplam elektron miktarı (TEC) ile orantılıdır. Bu TEC değişiminin belirlenmesi, İyonosfer'in modellenebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. İyonosfer'in doğru modellenmesi ise haberleşme açısından özellikle askeri alanda büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: İyonosfer, TEC, GPS, IRI, Ionolab, Bernese

ABSTRACT

Global Positioning System, which was initially developed for military purposes, is extensively used in ionosphere research. 24 GPS satellites, which are positioned at a height of 20.200 km from the earth surface, emit signals with different carrier frequencies (L1 frequency 1575,42 MHz, L2 frequency 1227,60 MHz). These signals reach at GPS receivers on the earth surface by passing through the ionosphere layer in the earth atmosphere. Electromagnetic waves emitting from these satellites are heavily affected by ionosphere's changeable nature. Ionosphere, which is a natural plasma, includes free electrons and positive ions. This, in turn, significantly affects GPS signals coming through ionosphere and also the electric characteristics of the related environment. Depending on the level of the radiation from the sun, ionization and the density of free electrons change constantly. In other words, ionosphere changes constantly depending on time, season, geographical coordination and also on explosions in the sun. Depending on 11 year period of the sun, activity of the sun moves from a static phase to a phase with intense explosions. Starting from 2011, the sun, which is recently in the static phase, will enter into a new phase with more intense explosions. The delay which GPS signals will have due to the ionosphere's changeable nature is directly related to the total electron content. Stating the change in TEC precisely is crucial to be able to model the working of ionosphere. To model ionosphere correctly, in turn, is crucial for communication area, especially for military use.

Key Words: Ionosphere, TEC, GPS, IRI, Ionolab, Bernese

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, çevresini tanımaya ve anlamaya başladığı ilk zamanlardan itibaren, doğası gereği özellikle iki unsur üzerinde yoğunlaşmış ve günümüzdeki tüm teknolojik gelişimine zemin hazırlamıştır. Bu unsurlar; “ölçme” ve “değerlendirme” olarak karşımıza çıkmaktadır. Zamanı yada mesafeleri ölçme ihtiyacı, tabii olarak duyulan bir dürtü olmaktan çıkıp da uygulanabilir ve keşfedilebilir nitelikler kazanmaya başladıktan sonra, gelişim ve ilerleme de kaçınılmaz olmuştur.

Bulunduğu yerden ayrılıp başka bir yere gitmek isteyen insan, o an nerede olduğu ve gittiği yerden nasıl döneceği gibi temel sorularla karşılaştı ve bunların çözümünü de yine kendi zekası ve yetenekleri sayesinde buldu.

Örneğin, ilk insanlar yaşadıkları yerden uzağa giderken, geri dönebilmek amacıyla, yürüdükleri yolları taşlar koyarak işaretlemişler ve bu taşları izleyerek tekrar geri dönebilmişlerdir (Kahveci ve Yıldız, 2007). Okyanusları aşmaya çalışan eski çağların denizcileri ise yıldızlardan ve yıldız kümelerinin konumlarından faydalanarak rotalarını belirlemiş ve kimi zaman hedeflerine ulaşırken kimi zaman da hiç ummadıkları topraklara ayak basmışlardır. Fakat insanların konumlarını ve rotalarını uzaydan, kesin yada çok az hata payı ile belirleyebilmesi için daha binlerce yıl geçmesi gerekecekti.

Gelişen teknoloji ile birlikte uydulardan koordinat tespiti ve hassas ölçmelerin yapılabilmesi amacıyla ilk girişim ABD tarafından yapılmış ve TRANSIT sistemi kapsamında çeşitli uydular fırlatılmıştır. Daha sonraki yıllarda bu sistemin birtakım hataları ve açıkları sebebiyle TRANSIT sistemi yerini GPS uydularından oluşan yeni ve daha hassas ölçüm yapmaya elverişli biçimde çalışan bir sisteme bırakmıştır. Benzer amaçlar doğrultusunda kullanılan bir başka uydu sistemi ise Rusya'ya ait olan Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema'dır (GLONASS). GPS uydularından yayınlanan elektromanyetik sinyaller ile yerküre üzerindeki konum belirleme işleminin yanı sıra aynı zamanda İyonosfer ve Troposfer araştırmaları da yapılabilmektedir.

GPS verileri kullanılarak çeşitli bilim insanları tarafından İyonosfer hakkında önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir, Wilson ve Mannucci tarafından yapılan bir çalışmada İyonosferik toplam elektron içeriği (TEC) incelenmiş (Wilson ve Manucci, 1993), Hajj tarafından ise İyonosferik elektron yoğunluğu profilleri incelenmiştir (Hajj vd., 1994). GLONASS ve GPS verileri ile TEC değerinin kalitesi Paulo de Oliviera Camargo tarafından incelenmiştir (Camargo, 2009). Büyük ölçekli İyonosferik düzensizlikler Ho ve grubu

tarafından araştırılmıştır (Ho vd., 1996). Yola Georgiadou ve Alfred Kleusberg tarafından İyonosferik gecikmenin modellenmesi üzerine de çalışmalar yapılmıştır (Georgiadou ve Kleusberg, 1988).

Aynı zamanda Sydney Chapman, İyonosferik tek tabaka modelini geliştirerek İyonosfer araştırmalarına yön vermiştir (Chapman, 1930). Farklı İyonosfer modellerinin bir karşılaştırması Hochegeer, Nava, Radicella ve Leitinger tarafından yapılarak sonuçları incelenmiştir (Hochegeer vd., 1999). Yahya Memarzadeh, NeQuick model üzerine çalışarak model parametresinin hesaplanmasına yönelik alternatif bir yol geliştirmiştir (Memarzadeh, 2009) ve Dieter Bilitza (Bilitza 2001) tarafından yapılan bağımsız İyonosfer araştırmaları ve geliştirilen modeller, İyonosfer'in anlaşılması adına literatüre büyük katkıda bulunmuştur.

Bu tez çalışmamızda, İyonosfer, Ne elektron yoğunluğu ve TEC hakkında bilgi vererek, TEC değişiminin IRI 2007 ve Ionolab yazılımları kullanılarak grafiklerinin elde edilmesi ve sonuçların karşılaştırılması yapılarak bunlara ilave olarak da Bernese yazılımı ile İyonosferik TEC değişiminin tespitine yönelik araştırmalar yapılmıştır.

GPS uydularından yayınlanan L1 ve L2 frekanslı taşıyıcı sinyaller doğal bir plazma olan İyonosfer'den geçerken, İyonosfer'in yapısı gereği bir gecikmeye uğramaktadır. Serbest elektron ve iyonlar L1 ve L2 sinyalleri üzerinde aynı geciktirici etkiye sahiptir. Bu nedenle çift frekanslı alıcılar kullanılarak İyonosfer'in geciktirici özelliğinin ölçümler üzerindeki etkisi giderilebilmektedir. L1 ve L2 sinyallerindeki gecikme ile faz kayması miktarı İyonosfer'in elektron yoğunluğuna ve sinyal yolu boyunca olan TEC miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca İyonosferik TEC değişimi, İyonosfer'in doğru olarak modellenebilmesi açısından oldukça önemli bir parametredir.

İyonosfer'in modellenmesi için İyonosonda dataları kullanılabilirdiği gibi, son zamanlarda gelişen teknolojiyle birlikte GPS sinyalleri Bernese ve Gamit gibi akademik yazılımlar ile analiz edilerek ve farklı İyonosfer modellerinden faydalanılarak, İyonosfer hakkında bilgi sahibi olmak mümkündür.

Bu amaçla biz de tez çalışmamızda belirli tarihler ve istasyonlar için, İyonosonda datalarından faydalanarak hesaplamaların yapılabilirdiği IRI 2007 paket programını kullanarak İyonosferik elektron yoğunluğu ve TEC değişimini belirledik. Ayrıca GPS datalarını kullanarak TEC kestirimi yapabilen Ionolab-TEİ metodu ile de TEC değişim değerini tayin ettik. Bunun yanı sıra

Bernese 5.0 yazılımı ile TEC değişimlerinin hesaplanması ile ilgili geniş bir araştırma yaptık ve bu konudaki çalışmalarımız halen devam etmektedir.

Tüm bu amaçlar doğrultusunda tez çalışmamızda yapılanları kısaca şu şekilde özetlemek mümkündür.

2. bölümde küresel konum belirleme sistemi (GPS) ve oluştuğu bölümler üzerinde durulmuştur. İyonosfer'in dispersif yapısı, GPS uydularından alınan sinyaller üzerinde de etkilidir ve ölçüm sonuçlarını kimi zaman olumsuz etkilemektedir. Bu sinyaller, $L_1 = 1575,42$ MHz ve $L_2 = 1227,60$ MHz olacak şekilde iki temel frekansta yayınlanmaktadır. Dünya yörüngesindeki toplam GPS 24 uydusu, The International GNSS Service (IGS) sistemini oluştururlar, bu sistem; uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç kısımdır.

3. bölümde Dünya'nın atmosferi üzerinde durularak, atmosferik yapıdan ve tabakalarından söz edilerek bu tabakaların özelliklerine değinilmiştir.

4. bölümde ise İyonosfer, İyonosfer'in tabakalı yapısı ve iç dinamiklerinden söz edilmiştir. Dünya atmosferi yoğunluk, sıcaklık ve yükseklik gibi özelliklere bağlı olarak farklı katmanlara ayrılmıştır, bu çalışma çerçevesinde dünya atmosferinin dış yüzeyini oluşturan ve İyonosfer adı verilen "doğal plazma" tabakası üzerinde durulacaktır. İyonosfer de kendi içerisindeki yapısal farklılıklara bağlı olarak sırasıyla *D*, *E*, *F* (*F1* ve *F2*) gibi alt tabakalara ayrılmaktadır ve bu tabakalardan bazıları günün saatlerine ve gece gündüz değişimlerine bağlı olarak varlık gösterirler. Yapısı itibariyle bu plazma katmanı serbest elektronlardan ve pozitif iyonlardan meydana gelmektedir. Bu serbest elektronlar ve pozitif iyonların İyonosfer'deki miktarı ve yoğunluğu da birçok sebepten ötürü değişiklik göstermektedir. Bu değişiklikler; mevsimler, gece-gündüz, gün içi saatler, enlem, boylam (coğrafi konum) ve 11 yıllık Güneş çevrimi gibi etkilere doğrudan bağlıdırlar. Bu etkiler İyonosferik toplam elektron içeriği (TEC) miktarında önemli değişimlere sebep olmaktadır. Serbest elektronların İyonosfer boyunca olan düzensiz dağılımları da radyo sinyalleri için dispersif özelliği olan bu alanın çok farklı şekillerde davranmasına sebep olmaktadır.

5. bölümde, Sydney Chapman tarafından 1930'da geliştirilen ve İyonosfer'in iyon üretim oranı ve elektron yoğunluğu değişimini hesaplama kolaylığı getiren Chapman modeli üzerinde durulmuştur.

6. bölümde İyonosferik toplam elektron içeriğinin belirlenmesi ile ilgili bilgiler ayrıntılı şekilde verilerek temel İyonosfer modellerinden söz edilmiştir. Şöyle ki; GPS sinyallerinde gecikmeye sebep olan TEC değişiminin belirlenmesi için çeşitli yollar mevcuttur (deneysel, teorik vb). TEC değişiminin doğru olarak belirlenebilmesi ise İyonosfer modellemesinde büyük önem taşımaktadır, düzgün bir modelleme ise haberleşme ve uydu sistemlerinin sağlıklı olarak çalışması için önemlidir. İleriki bölümlerde İyonosferik model ailesinin üyeleri olan NeQuick, COSTprof, BENT, IRI ve Ionolab modelleri tanıtılacak ve bu modellerin özellikleri üzerinde durulacaktır. Çalışma içerisinde *Ne* elektron yoğunluğunun değişimi ve TEC hesaplama yöntemlerine yönelik bilgi de verilmektedir.

Bu çalışma çerçevesinde 7. bölümde, İsviçre'deki Bern Üniversitesi Astronomi Bölümü tarafından geliştirilen Bernese 5.0 yazılımı ile dataların nasıl analiz edileceği araştırılmıştır. Bu yazılım yardımıyla, gerekli RINEX dosyaları Bernese formatına transfer edilerek gözlem dosyaları (Observation Files) üzerinde durulmaktadır. Bernese 5.0 yazılımının İyonosfer ve TEC hesaplaması kısmı ayrıntılı bir şekilde incelendikten sonra İyonosferik elektron yoğunluğu ve TEC değişimi farklı programlarla da araştırılmıştır.

8. bölümde COSPAR ve URSI tarafından geliştirilen IRI 2007 paket programı ile *Ne* elektron yoğunluğu ve TEC incelenmiştir (Bilitza 1990, 2001). Ayrıca Hacettepe Üniversitesi'nden Prof. Dr. Feza Arıkan ve grubu tarafından geliştirilen Ionolab düzgünleştirilmiş TEİ tekniği ile TEC kestirimi yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu tez çalışması, “CORS-TR Sistemi ile Bölgesel İyonosfer Modellemesi ve Yerkabuğu Hareketlerinin İncelenmesi” Projesi kapsamında, İstanbul Kültür Üniversitesi, Geomatik Uygulama Araştırma Merkezi tarafından desteklenmiştir.

2. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

Dünya yörüngesine yerleştirilen uydular ile konum belirlemesi, ilk olarak TRANSIT sistemi ile hayata geçirilmiştir fakat bu sistem ilk aşamada sadece askeri kullanımlar için hazırlandığından sivil kullanıcıların hizmetine sunulmamıştır. TRANSIT sistemi, ABD Silahlı Kuvvetleri tarafından geliştirilmiştir ve asıl amacı, askeri araç koordinatlarının belirlenmesidir. 1967 yılından itibaren de sivil kullanıma açılmıştır. Teknolojik yetersizliğinden ötürü TRANSIT sisteminde bazı önemli problemler de vardı; bu sistemdeki temel problemlerden birisi, TRANSIT'in sürekli konumlamayı sağlayamamasıdır. TRANSIT'in diğer problemleri de, bir uydunun aynı enlemden iki geçişi arasında yaklaşık 90 dk zaman farkı olması ve bu sistemden elde edilen doğrulukların düşük olmasıdır (Hofmann vd., 2001; Kahveci ve Yıldız, 2007).

TRANSIT sistemindeki hataların giderilmesi ve daha sağlıklı ölçümler yapılabilmesi için Global Positioning System (GPS), TRANSIT sisteminin yerine geçmesi için geliştirilmiştir. Günümüzde, dünya yörüngesinde 11 saat 58 dakikalık periyotlarda dolanan ve sürekli veri akışı sağlayarak sağlıklı şekilde çalışan 24 adet GPS uydusu bulunmaktadır. Bu uyduların en az 4 tanesi herhangi bir yer ve zamanda dünyadan görülebilmektedir. Uydular arasında olası herhangi bir karışıklığa meydan vermemek için birbirlerinde ayrılmalarında değişik yöntemler mevcut olup bunlar; yörüngeye yerleştirme sıra numarasına, uydu PRN (Pseudo Random Noise) kod numarasına, yörünge konumundaki kod numarasına veya NASA katalog numarasına göre yapılmaktadır. GPS'in en büyük özellikleri; konumsal olarak üç boyutta yüksek doğruluk sağlaması, dünyayı çevrelemesi, her türlü hava koşulunda kesintisiz kullanılabilmesi ve ücretsiz olmasıdır. Gerçek zamanlı konum, hız ve zaman bilgisi sağlayabilmektedir. Her ne kadar GPS teknolojisinin kazançları ve avantajları fazla olsa da, tüm bunlara karşılık bazı dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajlardan en önemlisi, uyduya dönen alıcı antenin daima gökyüzünü görmesi zorunluluğudur, bu sebeple GPS sinyallerini sağlıklı olarak alabilmek için kapalı alanlar veya coğrafi olarak yoğun bir doku ile çevrili olan ortamlar (ormanlar, vadiler gibi) müsait değildir (Leick, 1990; Hofmann vd., 2001; Kahveci ve Yıldız, 2007).

2.1 Küresel Konum Belirleme Sistemini Oluşturan Bölümler ve Kullanım Alanları

GPS'in kullanım alanları temel olarak, askeri ve sivil kullanım olarak iki başlık altında toplanmaktadır.

Askeri kullanım alanları; güdümlü silahlar için kesin hedef tayini, askeri birliklerin, hava araçlarının, yer araçlarının rota ve konumlarının belirlenmesi ve savunma amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra özel askeri amaçlar için de kullanımı mevcuttur (Leick, 1990).

Sivil kullanım alanları; bireysel araç takip sistemleri ve yol bulma (navigasyon) cihazları, coğrafi hareketlilik (tektonik plaka hareketleri) ve haritacılık gibi çeşitli alanları kapsamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2007).

GPS hem askeri alanda hem de sivil alanda kullanılabilirdiği için, bu kullanım alanlarını birbirinden ayırt edebilmek amacıyla kullanıcılara yönelik farklı kodlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlar P-Kod ve C/A Kod olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

P-Kod, frekansı 10,23 MHz olan temel frekanstır. P-Kod sadece askeri ve yetkili kullanıcılara açık olmakla birlikte L1 ve L2 taşıyıcı frekanslarından her ikisine de modüle edilmiştir. Bu kodun askeri amaçlar doğrultusunda kullanılması nedeniyle, herhangi bir dış müdahalenin önüne geçmek için A-S (Anti Spoofing) özelliği ile kriptolanmıştır (şifrelenmiştir). Şifrelenen bu P-Kod'una, Y-Kod denir ve özel yazılım ve cihazlar aracılığı ile P-Kod'a geçiş yapılabilmektedir (Leick,1990; Kahveci ve Yıldız 2007).

C/A Kod temel frekansın 1/10'u kadardır ve 1,023 MHz'dir. C/A Kod tüm kullanıcılara açık olmakla birlikte Block IIR-M uyduları gönderilmeye başlanıncaya kadar sadece L1 taşıyıcı frekansı üzerine modüle edilmiştir ve bu durum sivil kullanıcıları zorunlu olarak tek frekans kullanmaya mecbur bırakmıştır. Block IIR-M uyduları ile birlikte L2 taşıyıcı frekansı üzerine de C/A Kod modüle edilmeye başlanmıştır (Leick,1990; Kahveci ve Yıldız 2007).

Bir bütün olarak ele alındığında GPS; uzay, kontrol ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç temel bölüm içermektedir.

Uzay bölümü; yeryüzündeki alıcılara sinyal yayınlayan, dünya yörüngesindeki GPS uydularını içeren bölümdür. GPS uydularının altı sınıfı yada tipi vardır, bunlar; Block I, Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIF ve Block III uydulardır (Hofmann vd., 2001). Altı sınıfa ayrılan bu uyduların arasında, fırlatılma zamanları, ekvator ile yaptıkları açı ve yayınladıkları taşıyıcı

frekansların özelliklerine göre askeri veya sivil kullanıma açık olup olmamaları gibi özellikler tarafından belirlenen farklar vardır. An itibarıyla Block I uyduları yörüngede değildir.

Yörüngedeki uydulardan yayınlanan taşıyıcı sinyaller, 10,23 MHz olan temel frekanstan türetilmiştir. İyonosferik etkilerden en az etkilenme ve kullanım kolaylığı gibi unsurlardan ötürü sinyaller L bandından yayınlanmaktadır. Temel frekansın 154 katı, $L1 = 1575,42$ MHz taşıyıcı frekansı ve 120 katı da $L2 = 1227,60$ MHz olan taşıyıcı frekansını vermektedir (Leick, 1990). İki tane taşıyıcı frekans kullanılmasındaki amaç basit olmakla birlikte, taşıyıcı sinyallerden birinin gönderiminde oluşabilecek olası bir arızadan ötürü, devreye girecek olan diğer sinyal sayesinde veri akışının problemsiz olarak sağlanması amaçlanmıştır. L1 ve L2 taşıyıcı frekansları, kullanıcıya uydu hakkında bilgi ulaştırmak için modüle edilmişlerdir.

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN (Pseudo Random Noise) kodu (C/A ve P kod) ve bir tane de Navigasyon Mesajı modüle edilmiştir. L2 taşıyıcı frekansı ise tek bir PRN kodu (P kod) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2007).

Kontrol bölümü; Dünya üzerine yayılmış olan ve GPS uydularından yayınlanan sinyalleri alarak bunları işleyen tüm birimlerin genel adıdır. Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İletişim Kontrol Sistemi'nden (OCS: Operational Control System) meydana gelmektedir. Altı adet sabit izleme istasyonu vardır; Colorado Springs, Ana kontrol ve izleme istasyonudur, Hawaii, Cape Canaveral, Ascension, Diego Garcia ve Kwajalein ise sadece izleme istasyonlarıdır. Bu bölümün temel amacı; saat belirlemesi ve yörünge için uyduların takibi, uyduların zaman senkronizasyonu ve veri mesajlarının uydulara yüklenmesidir. (Hofmann vd., 2001; Kahveci ve Yıldız, 2007).

Kullanıcı bölümü; askeri veya sivil kullanım amacıyla herhangi bir GPS alıcısına sahip olan insanları yada kurumları tanımlamaktadır.

2.2 Küresel Konum Belirleme Sistemi İle İyonosfer Araştırmaları

İyonosfer, yapısı itibarıyla radyo sinyalleri için dispersif bir özellik gösterdiğinden, haberleşme gibi bu tür sinyallerin sıklıkla kullanıldığı alanlardan olabildiğince sağlıklı biçimde faydalanabilmek için iyonosferin yapısının iyi bir biçimde modellenmesi ve anlaşılması

gerekmektedir. Aynı zamanda İyonosferik elektron yoğunluğu değerlerinin tayini ve TEC kestirimi için de bu modellerden faydalanılmaktadır.

İyonosfer modelleri; deneysel (ampirik) modeller, analitik modeller ve fiziksel modeller olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Deneysel (ampirik) modeller; İyonosferik ölçümleri baz almaktadırlar, geniş bir periyotta toplanan verinin basit deneysel veya analitik fonksiyonlara uygulanması ile elde edilirler. Tek frekans GPS kullanıcılarına, istenilen zaman ve yer için düşey İyonosferik gecikmeyi veren Klobuchar modeli ve gelecekte Avrupa Galileo sistemini kullanacak olanlar için İyonosferik düzeltme modeli olarak hizmet verecek olan NeQuick yarı deneysel modeli, örnek deneysel modeller arasındadır.

Analitik modeller; nümerik modellerden elde edilen verinin ortogonal fonksiyonlara uygulanması temeli üzerine oluşturulurlar.

Fiziksel modeller; genellikle süreklilik denkleminin çözümü yada elektron ve iyonların momentum ve enerji denklemlerinin çözümü ile elde edilirler. (Memarzadeh, 2009)

Bu modellerin yanı sıra, İyonosfer araştırmaları için yer tabanlı ve uydu tabanlı olmak üzere çeşitli yöntemler de kullanılmaktadır. Uydu tabanlı yöntemlerde Dünya yörüngesindeki GPS ve GLONASS uydularından alınan sinyaller kullanılmaktadır [1]. GNSS sinyallerden elde edilen veriler, Bernese ve Gamit/Globk gibi akademik amaçlı üretilen çeşitli yazılımlar yardımıyla analiz edilerek İyonosfer incelemeleri, İyonosferik elektron yoğunluğu profilini oluşturmak ve TEC kestirimi için kullanılmaktadırlar.

İyonosfer'deki üç boyutlu elektron dağılımının NeQuick ve Klobuchar model gibi deneysel (ampirik) modelleri, bölgesel kullanım için olduğu kadar küresel kullanım için de kurulmuştur. Modeller, karmaşıklık yada zorluk dereceleri ve hesaplama zamanları ile farklılık gösterirler, bu nedenle de farklı kullanımları vardır. Tümü, "iyonogram parametreleri" üzerine kuruludur (foE, foF1, foF2 kritik frekansları ve F2 bölgesi transfer parametresi M(3000)F2). Modeller foF2 ve M(3000)F2 için bölgesel yada küresel kullanıma izin verirler ve foE ile foF1 formülasyonlarının kurulmasında kullanılırlar (Hochegger vd., 1999).

Modellere NeQuick, COSTprof, Bent, IRI ve Ionolab modeli örnek olarak gösterilebilir.

2.2.1 NeQuick Modeli

NeQuick modeli, İtalya Trieste'deki Abdus Salam ICTP'de (International Center of Theoretical Physics) geliştirilen ve adından da anlaşılacağı gibi *Ne* elektron yoğunluğunun çabuk ve pratik bir biçimde hesaplanmasına olanak sağlayan yarı deneysel bir modeldir. Yarı deneysel olarak nitelendirilmesinin sebebi, geliştirilmesi esnasında farklı iyonosferik bölgelerin fiziksel özelliklerinin de hesaba katılmış olmasıdır.

NeQuick modeli, üç temel iyonosferik bölgeyi (E, F1 ve F2 bölgeleri) tespit noktası (anchor point) olarak kullanır (Radicella ve Leitinger, 2001; Coisson vd., 2006) ve herhangi bir noktadaki elektron yoğunluğu anchor noktasının karakteristik parametreleri kullanılarak (elektron yoğunluğunun tepe noktası ve bu noktanın yüksekliği) hesaplanır. Verilen yer ve zamanda NeQuick elektron yoğunluğunun hesaplanması için iyonosonda parametrelerine (foE , $foF1$, $foF2$ ve $M(3000)F2$) ihtiyaç duyulmaktadır. (Memarzadeh, 2009).

Farklı iyonosonda parametrelerinin hesaplanması için geliştirilen değişik yöntemler vardır;

NeQuick'de foE , değeri John Titheridge tarafından geliştirilen ve solar zenit açısına bağlı olan deneysel bir model ile hesaplanır (Memarzadeh, 2009).

$$(foE)^2 = \sqrt{F10.7} \left((1.112 - 0.019 \varepsilon) \cos \chi_{eff} \right)^2 + 0.49 \quad (2.1)$$

Mevsimsel faktör olan $\varepsilon = m \frac{\exp(0.3 \phi) - 1}{\exp(0.3 \phi) + 1}$ teriminde m ; Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat ayları

için -1, Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayları için de +1 değerini alır, başka yerlerde ise sıfır değeri almaktadır, $\chi \leq 86.23^\circ$ olduğunda $\chi = \chi_{eff}$ ve $\chi > 86.23^\circ$ olduğunda ise $\chi_{eff} = 90^\circ - 0.24^\circ \exp(20^\circ - 0.2\chi)$ olmaktadır.

$foF2$ ve $M(3000)F2$ parametreleri için en genel biçimi $foF2$ ve $M(3000)F2$ 'nin aylık ortalama değerlerini kullanarak hazırlanan CCIR haritalarıdır. Jones ve Gallet tarafından geliştirilen bir nümerik haritalandırma tekniği, CCIR'daki $foF2$ ve $M(3000)F2$ 'nin *günlük* ve *jeoğrafik* değişimlerini açıklamakta kullanıldı. Öncelikle, her uygun iyonosondanın gözlemleriyle elde

edilen aylık, günlük varyasyonlar için evrensel zaman sisteminde Fourier analizini kullandılar (Bilitza, 1990). Her iyonosondadan gelen verinin analizi aydan aya yapılmıştır. Her istasyon için her ayın Fourier katsayılarının hesaplanmasında, en küçük kareler metodu kullanılmıştır.

Yılın her ayına ait, $foF2$ parametresi için CCIR haritaları 988 ve $M(3000)F2$ için ise 441 tane katsayı içermektedir. CCIR, $foF2$ ve $M(3000)F2$ 'nin her biri için iki grup katsayı sağlamaktadır, bunlardan birisi düşük diğeri ise yüksek Güneş aktiviteleri içindir ($R_{12} = 0-100$) orta seviyedeki Güneş aktiviteleri için katsayılar, lineer enterpolasyon (ara değer hesabı) ile elde edilirler (Bradley, 1990). 12 ay için $foF2$ ve $M(3000)F2$ 'nin tamamlanmış CCIR haritaları, $(988 + 441) \times 2 \times 12 = 34296$ tane katsayı içermektedir (Memarzadeh, 2009).

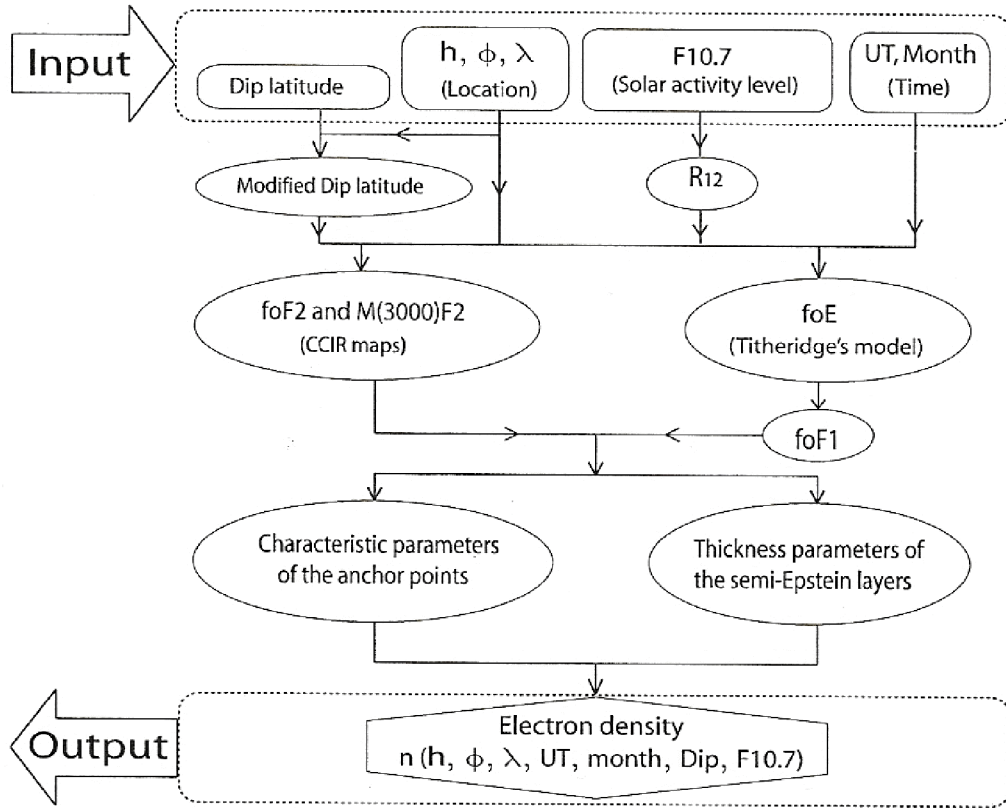
Verilen zaman ve yer için, bölgesel elektron yoğunluğu dağılımını veren deneysel modeller içerisinde NeQuick modeli, yerden uyduya yada uydudan uyduya olan yol boyunca eğik toplam elektron içeriği (STEC-Slant Total Electron Content) miktarının hesaplanması için ESA'nın (European Space Agency) Galileo navigasyon sistemi kullanıcılarına, gerçek zamanlı iyonosferik düzeltme modeli olarak sunulmuştur (Radicella ve Leitinger, 2001; Schluter vd., 2004; Nava vd., 2005).

NeQuick model; incelik parametresinin yükseklik ile doğrusal olarak artmasıyla, esasen bir yarı-Epstein tabakası olan F tabakası üst tarafı için basit bir formülasyon kullanır (Hochegger vd., 1999). 1983'de Rawer tarafından tanımlanan Epstein tabakasında, elektron yoğunluğu fonksiyonu aşağıda analitik olarak gösterilen Epstein fonksiyonu üzerine kuruludur (Rawer, 1983; Radicella ve Zhang, 1995)

$$n(h) = \frac{4n_{\max}}{\left(1 + \exp\left(\frac{h - h_{\max}}{B}\right)\right)^2} \exp\left(\frac{h - h_{\max}}{B}\right) \quad (2.2)$$

Burada; $n(h)$, h yüksekliğindeki elektron yoğunluğu, n_{\max} ; pik noktasındaki elektron yoğunluğu, h_{\max} ; elektron yoğunluğu pik noktasının yüksekliği ve B ise tabakanın kalınlığıdır.

NeQuick ile yapılan bir işlemin süreçlerini ve basamaklarını gösteren bir diyagram aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Memarzadeh, 2009).



Şekil 2.1 NeQuick Model'in işletim diyagramı (Memarzadeh, 2009)

GALILEO navigasyon sistemi halen geliştirme aşamasında olduğundan, NeQuick model ile yapılan hesaplamalar için IGS istasyonlarından alınan veriler kullanılmaktadır. Aynı zamanda NeQuick modeli dikey elektron yoğunluğu profili hesaplamasında da kullanılabilir yalnız bunun için, 1000 km üzerinde kullanışlı olması ve düşük güneş aktiviteleri için geceleri sorunlar oluşabilmesi gibi bazı kısıtlamalardan söz edilmesi gerekmektedir (Hochegger vd., 1999).

2.2.2 COSTprof Modeli

COSTprof modeli, uydudan yere olan uygulamalar için kullanışlı bir iyonosfer modelidir ve COST251 tarafından kullanılır. COSTprof, uydudan yere iyonosferik ve plazmosferik uygulamalar için daha karmaşıktır [2]. F tabakası, üç parametre için haritalarda sabit olup; F2 pik noktasındaki oksijen skala yüksekliği, yükseklik değişimi ve $O^+ - H^+$ geçiş yüksekliği olarak adlandırılan, $O^+ - H^+$ difüzyon dengesi üzerine kuruludur. COSTprof sadece Plasmopause üzerinde iyi bir elektron yoğunluğu profili oluşturmaktadır. Daha yüksek irtifalar için Plasmopause formülasyonu eklenmelidir. Bu model ile uydudan uyduya yapılan ölçmelerin simülasyonları da yapılabilmektedir.

2.2.3 Bent Modeli

Bent modeli, uydu haberleşmeleri ve uydu takipleri için iyonosferik gecikmedeki düzeltmenin hesaplanması amacıyla 70'li yılların başında R. BENT ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir (Bent vd, 1972). Model temelde F tabakası ve üstünü açıklamak amacıyla kullanılmaktadır. Elektron yoğunluğu profili, alt kısımda bi-parabol, tepe noktası (pik noktası) civarında ise bir parabol ve üç eksponansiyel doğru parçası tarafından tasvir edilir. Bu model uydu yörüngelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılır ve ayrıca IRI için üst tabaka elektron yoğunluğu modelinin geliştirilmesinin temelini oluşturmaktadır. Bent modeli, iyonosonda ve uydu verilerinden faydalanmaktadır [3].

2.2.4 IRI Modeli

URSI ve COSPAR tarafından geliştirilen IRI modeli, 1978 yılından bu yana çeşitli zaman aralıklarıyla güncellenerek ve geliştirilerek hizmet vermektedir.

IRI modeli E ve F bölgesi pik parametreleri için CCIR haritalarından faydalanmaktadır

Aynı zamanda bir paket program olma özelliği taşıyan IRI ile elektron yoğunluğu, elektron ve iyon sıcaklığı iyon kompozisyonu 60-2000 km arasındaki yüksekliklerde hesaplanabilir. Orta

enlem bölgesindeki istasyonların fazla olmasından ötürü alınan datalar da o oranda fazladır, bunun sonucu olarak da IRI ile bu bölge için oldukça doğru sonuçlar elde edilmesi mümkündür.

IRI modeli Booker yaklaşımı kullanılarak formüle edilmiştir ve F2 tabakasının birkaç yüz kilometre üstünü modellemek için uygundur (Bilitza, 1990, 2000; Coisson vd., 2006; Gümrükçü 2009).

Bu model, D , E , $F1$ ve $F2$ karakteristik noktaları için küresel modelleri temel alır, sonrasında matematiksel fonksiyonları kullanır ve algoritmaları birleştirerek elektron yoğunluğu profilini oluşturmaktadır. IRI modeli sadece elektron yoğunluğu profilini oluşturmak amacıyla kullanılmaz, aynı zamanda iyonosferdeki O^+ , O_2^+ , NO^+ , H^+ , He^+ ve N^+ iyon içeriğinin yüzdeleri hakkında da bilgi almamızı sağlar. Modelin oluşturulması için gerekli veri, iyonosonda, saçılma radarları ve uydulardan sağlanmaktadır [3]

2.2.5 IONOLAB Toplam Elektron İçeriği Kestirimi

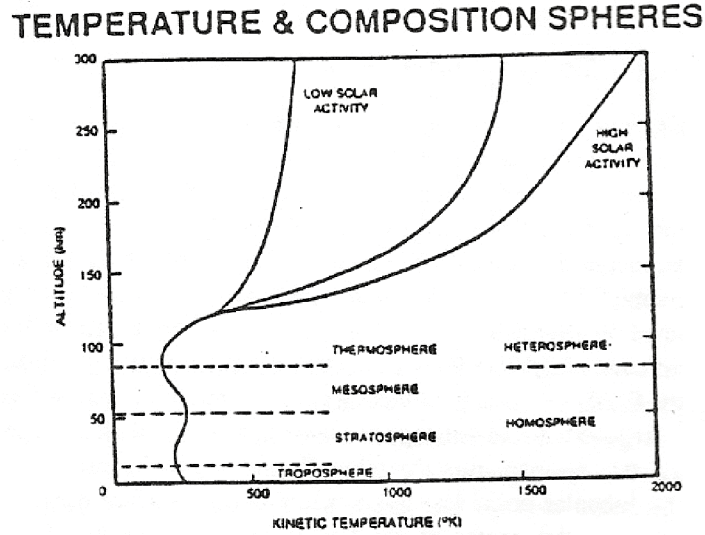
Ionolab, İyonosfer katmanının yapısını, istatistiklerini ve haberleşme sinyallerine etkisini araştırarak, sorunlara çözüm getirmeyi hedefleyen bir araştırma grubudur [1].

Ionolab toplam elektron içeriği kestirimi, Hacettepe Üniversitesi'nden bir grup araştırmacı tarafından geliştirilmiş bir modeldir. F. Arıkan, C. B. Erol ve O. Arıkan tarafından geliştirilen ve Java uygulaması Ionolab-TEİ olarak kullanılabilen düzgünleştirilmiş toplam elektron içeriği (D-TEİ) metodu ile faz verilerinden elde edilen VTEC ve sözde menzil verileri kullanılarak elde edilen VTEC değerleri ile kestirim yapabilmektedir. Ionolab grubu tarafından geliştirilen TEC kestirimi 10^0 yükseklik açısı tüm uydu verilerini düzgünleştirilmiş en küçük kareler esasına dayanan bir yöntemle 30 sn hassasiyet ile gerçekleştirilebilmektedir (Erol ve Arıkan, 2004; Arıkan vd., 2004; Nayir, 2007; [1])

Grup, İyonosfer'in orta enlem, yüksek enlem ve ekvator bölgesindeki çeşitli istasyonlar için sakin günler, pozitif bozulmanın olduğu günler ve negatif bozulmanın olduğu günler için yaptıkları TEİ kestirimini hesaplarında oldukça başarılı sonuçlar elde etmişlerdir (Güven ve Erol,2001; [1]).

3. DÜNYA'NIN ATMOSFERİ

Farklı gazların ve küçük parçacıkların karışımından oluşan Dünya'nın doğal atmosferi, dikey olarak yoğunluk ve sıcaklık bileşenlerine ayrılır. Sürekli olarak hareket halinde olan atmosferde değişen Güneş ısı ile birlikte ısınan hava yükselmekte ve azalan soğuk hava ile birlikte yer değiştirmektedir. Bu yer değiştirme yatay ve düşey düzlemlerin her ikisinde birden meydana gelmektedir. Dolayısıyla Güneş ışığı tüm bölgelerde homojen olmamaktadır. Sıcaklık, iyonizasyon ve yayılma gibi farklı karakteristik özelliklere sahip olan atmosfer, birden fazla eşmerkezli küresel katmana bölünebilmektedir (Şekil(3.1)).

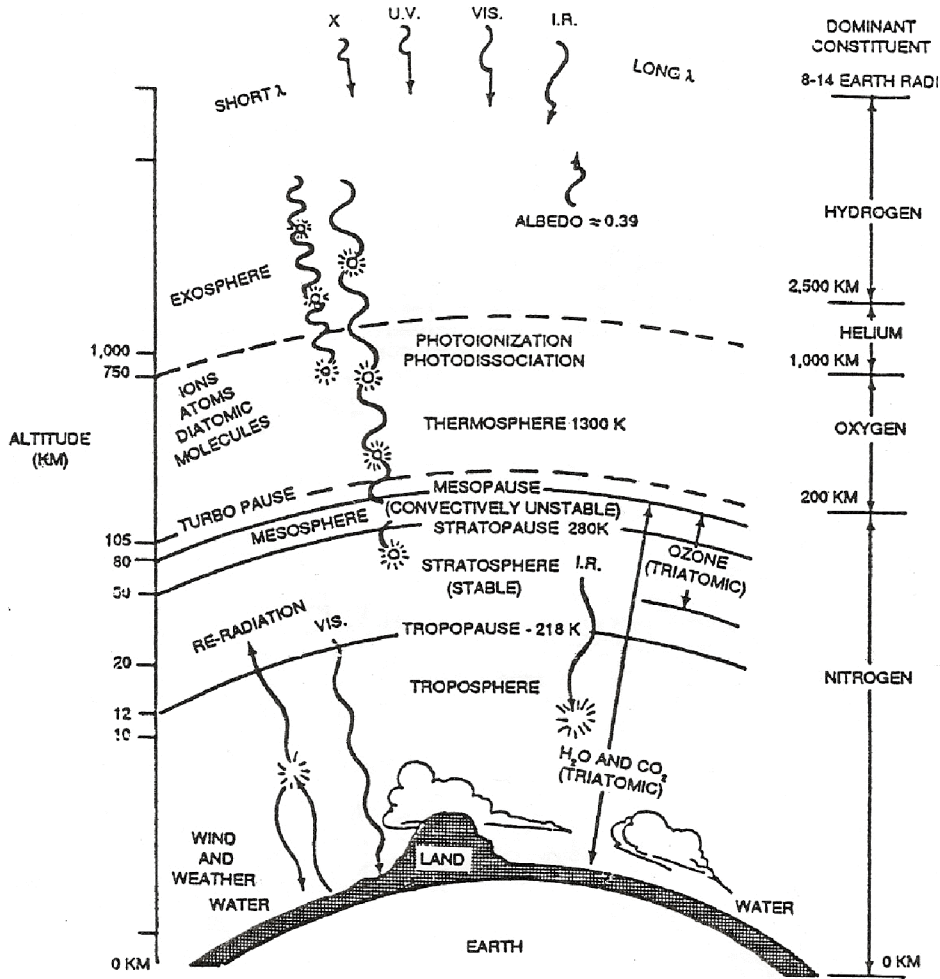


Şekil 3.1 Dünya atmosferi (Tascione, 1988) .

Deniz seviyesinden yaklaşık 10 km yüksekliğe kadar olan bölge, Troposfer olarak adlandırılmaktadır ve burada sıcaklık değişimi, artan yükseklikle azalmaktadır. Troposfer'den sonra yaklaşık 50 km yüksekliğe kadar olan katman Stratosfer olarak adlandırılmaktadır. Bu katmanda sıcaklık, artan yükseklikle birlikte artış göstermektedir. 80 km'ye kadar olan Mezosfer katmanında ise sıcaklık, tekrar azalma göstermektedir. Termosfer'de ise sıcaklık, artan yükseklikle önce bir artış göstermekte ve belirli bir mesafeden sonra, Termosfer'in üst

kisimlarında ve 400 km den sonra Eksozfer'de sıcaklık sabit bir değerde bulunmaktadır (Tascione, 1988; Memarzadeh, 2009).

Şekil 3.2'de detaylı olarak görüldüğü gibi Atmosfer, iç dinamikleri ve yapıları açısından birbirlerinden farklı katmanlara ayrılmış olsa bile, bu katmanlar arasında belirli ve kesin sınırlar yoktur.



Şekil 3.2. Atmosferi kimyasal özelliklerine göre açıklanması (Tascione, 1988).

Katmanlar arasındaki geçiş bölgeleri Tropopause, Stratopause ve Mesopause şeklinde isimlendirilirler. Tropopause; Troposfer ve Stratosfer, Stratopause; Stratosfer ve Mezosfer, Mesopause; Mezosfer ve Termosfer katmanları arasındaki geçiş bölgeleridir.

Mesopause'un üzerinde ısı, yükseklikle birlikte Güneş radyasyonunun derecesine bağlı olarak düzgün biçimde artmaktadır. Isıyı ileten karma gazlar bu hattın üzerinde olduğundan, bu seviye aynı zamanda Turbopause olarak da bilinir. Bu bölgenin mutlak sapma oranı, birçok dikey hareketi yada ısı yayılımını ortadan kaldırır. Ayrıca, toplam atmosferik yoğunluk yükseklik ile azaldıkça, alt tabakada olanlardan daha az çarpışma meydana gelir. Bu süreçlerin ikisi de atmosferik karışımı minimize eder ve difüzyonu daha önemli kılar. Örneğin, bir varil dolusu yağ ve su alıp karıştırılırsa ağır su moleküllerinin aşağıya çökmesi ve daha hafif olan yağ moleküllerini yüzeye çıkması ile çok geçmeden ayrışacak olan bir yağ ve su "solüsyonu" elde edilir. Buna benzer bir durum atmosferde Turbopause'un üzerinde meydana gelir. Karışma durur ve farklı atmosferik bileşenler ayrı ayrı hidrostatik dengeye gelinceye dek ayrışırlar. 500 km yukarıya kadar genişleyen bu katmanlaşmış tabaka Heterosfer olarak adlandırılmaktadır. Heterosfer'in temel bileşenleri moleküler Nitrojen (N_2), moleküler Oksijen (O_2), atomik Oksijen (O), Argon (Ar), Helyum (He), ve atomik Hidrojen (H)' dir (Tascione, 1988).

Heterosfer'in merkezi olan Termosfer, dalga boyu 1000 Å ila 2000 Å olan güçlü UV ışınımını absorbe eden atomik Oksijen tarafından ısıtılmaktadır. Serpilen yüklü parçacıklardan (genellikle aurora bölgeleri) ve belirli kimyasal reaksiyonlardan ısınmaya küçük bir katkı gelir.

Heterosfer'in üzerinde, Egzosfer yaklaşık 1000 km'ye kadar genişler. Egzosfer, uzun ortalama serbest yol ve yüksek kinetik enerjilerden (sıcaklıklar) dolayı sürekli olarak atmosferik parçacıkların kaybolduğu bir bölgedir. Yüksek irtifalardaki çok düşük parçacık yoğunluğu, parçacıklar arasındaki ortalama uzaklığın büyük olduğu anlamına gelir. Örneğin 800 kilometrede atmosferik parçacıkların ortalama serbest yolu, yaklaşık olarak 160 kilometredir. Yerçekimi ve çarpışmalar, nötr parçacıkların Dünya atmosferinden kaçmasına engel olmaktadır. Üst Termosfer'de yüksek kinetik sıcaklığın anlamı; geniş parçacık gruplarının, kaçış hızından daha büyük hızlarda hareket etmesidir. Elektriksel olarak nötr olan bu parçacıklar, bir başka parçacık ile çarpışarak enerji kaybetmedikleri ve kaçış hızının altına düşmedikleri sürece kolaylıkla kaçabilirler. Termosfer'in üzerinde büyük ortalama serbest yol, çarpışma olasılığını çok azaltır böylece bu parçacıklardan çoğu Dünya atmosferinden kurtulur. Kaçış hızı çok düşük olan bu parçacıklar gelen güçlü UV ışınlarını absorbe ederek kaçış için yeterli olan kinetik sıcaklığa ulaşırlar (Tascione, 1988).

Hidrojen ve Helyum gibi daha hafif olan parçacıklar, aynı kinetik sıcaklık altında ağır (Ar , O_2 , N_2) olanlara göre daha hızlı hareket ederler ve böylece ağır olanlara nazaran kolaylıkla alçak

irtifalardan kaçabilirler. Bu yüzden Egzosfer'in sabit bir alt sınırı yoktur, genel olarak 500 ila 1000 km arasında bir yerlerde olduğu düşünülür. Bu seviyede Hidrojen ve Helyum başta gelirler ve sürekli olarak Egzosfer'den kaybolurlar. Egzosferik sıcaklık; güneş aktivitesi, gün içi zaman ve enleme bağlı olarak çeşitlilik gösterir (Tascione, 1988).

Sinyal yayılımına göre ise atmosfer, Troposfer ve İyonosfer olarak iki ana katmana ayrılmaktadır. Nötr atmosfer olarak da adlandırılan Troposfer'deki sinyal yayılımı genellikle ortamdaki su buharı miktarına ve ortamın sıcaklığına bağlıdır. Yüksek elektron yoğunluğuna sahip iyonlaşmış gaz tabakası olan İyonosfer'de ise sinyal yayılımı, ortamın elektron yoğunluğu değişimine bağlı olmaktadır. Alt atmosferin %99' unu, Nitrojen (%78) ve Oksijen(% 21) gazları oluşturmaktadır. Geriye kalan %1'lik kısmı ise, asal gazlar (Argon, Helyum, Neon, Ksenon, Kripton) ve sera gazları (Karbon dioksit, Metan, Azot Oksit, su buharı) oluşturmaktadır. 100 km' ye kadar sabit oranlarda devam eden bu gaz karışım oranı artan yükseklikle birlikte farklılıklar göstermektedir (Tascione, 1988; Memarzadeh, 2009).

3.1 Basınç, Sıcaklık ve Yoğunluk Değişimleri

Hidrostatik ve Barometrik Denklem

Fiziksel olarak homojen olmayan atmosferde, yüksekliğe bağlı olarak basınç ve sıcaklık değişimleri meydana gelmektedir. Basıncın yüksekliğe ($p(h)$) bağlı olarak değişimini, yoğunluk $\rho(h)$ ve yer çekim ivmesi g 'nin fonksiyonu olarak ifade eden bağıntı;

$$\frac{dp(h)}{dh} = -\rho(h)g(h) \quad (3.1)$$

hidrostatik denklem olarak adlandırılır (Davies, 1968; Memarzadeh, 2009). Hidrostatik denklem, atmosferdeki gazların türbülans nedeniyle karışık halde bulunmasına veya gazların yerçekimi nedeniyle ayrı olması durumlarına bakılmaksızın, tek bir gaz üzerinde yada bir gaz karışımı üzerinde geçerlidir. Hidrostatik denklemin türetilmesi için h yüksekliğinde bulunan A alanlı bir bölgeye uygulanan ve yukarıya doğru olan gaz basıncı (p) ile aşağıya doğru etki eden yerçekimi

kuvveti (g) dikkate alınmalıdır. F_p basınç kuvveti ve F_g yerçekimi kuvveti, sırasıyla denklem (3.2) ve (3.3)'deki şekilde ifade edilirler.

$$F_p = A p(h) \quad (3.2)$$

$$F_g = A \int_h^{\infty} \rho(h') g(h') dh' \quad (3.3)$$

Denge durumunda bu iki kuvvet birbirine eşit olacağından ($F_p = F_g$), yüksekliğe bağlı basınç değişimi aşağıdaki şekilde yazılır.

$$p(h) = \int_h^{\infty} \rho(h') g(h') dh' \quad (3.4)$$

Denklem (3.4)'ün diferansiyel formda yazımı ise hidrostatik denklem olarak ifade edilmektedir. Hidrostatik denklem, yüksekliğe bağlı olarak basınç ve kütle yoğunluğu arasındaki ilişkiyi betimlemektedir. Basınç ve yoğunluk denklemlerini ayrı ayrı elde etmek için, $p = k n T$ ideal gaz yasasından faydalanılabilir (Memarzadeh, 2009).

Bu durumda birim hacimdeki kütle yoğunluğu $\rho(h)$, denklem (3.5) ve (3.6)'da görüldüğü gibi ifade edilebilir.

$$\rho(h) = m(h) n(h) \quad (3.5)$$

$$\rho(h) = m(h) \frac{p(h)}{k T(h)} \quad (3.6)$$

Denklem (3.6), denklem (3.1)'de yerine yazılırsa,

$$\frac{dp(h)}{dh} = -\frac{m(h)g(h)}{kT(h)}p(h) \quad (3.7)$$

elde edilir. Denklem (3.7)'de $\frac{kT(h)}{m(h)g(h)} = H(h)$ skala yüksekliği olarak tanımlanmaktadır.

$$\frac{dp(h)}{dh} = -\frac{p(h)}{H(h)} \quad (3.8)$$

Yükseklik ile basınç değişimi ifadesi elde edilir.

Denklem (3.8)'i düzenleyip, h_0 keyfi seçilen bir yükseklik ve h , verilen herhangi bir yükseklik olacak şekilde bu iki sınır değer üzerinden integral alınır, (3.9) denklemi elde edilir.

$$\int_{p(h_0)}^{p(h)} \frac{dp(h')}{p(h')} = \int_{h_0}^h \frac{dh'}{H(h')} \quad (3.9)$$

İntegral işlemi sonucunda, atmosferdeki dikey basınç profili için barometrik denklem aşağıdaki şekilde elde edilir (Memarzadeh, 2009).

$$p(h) = p(h_0) \exp\left\{-\int_{h_0}^h \frac{dh'}{H(h')}\right\} \quad (3.10)$$

3.2 Güneş

Güneş sistemindeki en büyük cisim olan Güneş, temelde Hidrojen ve Helyum'dan meydana gelmektedir. Güneş, içinde gerçekleşen füzyon reaksiyonu ($^1H + ^1H \rightarrow ^2He + \gamma$) sonucunda ortaya çıkan yüksek miktarlardaki enerji (yaklaşık 4.10^{33} erg/s) ve kütleyi yaymaktadır. Güneş, iç Güneş (nüve), görünebilir yüzey (fotosfer), alçak Güneş atmosferi (kromosfer) ve dış Güneş atmosferinden (korona) meydana gelir. Güneş'in üst katmanları güneş merkezli enleme bağlı (heliocentric latitude) açısal hızda döner. Fotosferde dönüş hızı güneş ekvatoruna göre daha büyüktür. Güneşin ekvator enleminde dönüş periyodu 27 gündür. Güneş nüvesindeki sıcaklık 15.10^6 K' dir. Bu sıcaklık güneş yüzeyine doğru gidildikçe azalır ve fotosferdeki sıcaklık da 5800 K' dir (Memarzadeh, 2009).

Güneş Etkinliği; Güneş çevrimleri süresince karmaşık yollarla değişen geçici Güneş olaylarının geniş bir sınıflandırması olarak tanımlanmaktadır (Ataç ve Özgüç, 2002). Güneş etkinliğinde gerçekleşen olaylar, Manyetosfer-İyonosfer-Termosfer sisteminde var olan çok değişken dinamik koşulları etkilemektedir. Güneş etkinliklerinin süresi, saniye, dakika veya saat gibi çok küçük zaman ölçeklerinde gerçekleşen güneş patlamaları, koronal kütle atımları yada 11 veya 22 yıllık çevrimler gibi geniş bir süreç içinde olabilmektedir. Koronal kütle atımı ve Güneş patlamaları, Dünya İyonosfer'ini oldukça fazla etkileyen en önemli Güneş olayları olarak düşünülmektedir. Güneş patlamaları sırasında patlamanın olduğu yerden elektromanyetik tayfın radyo bölgesinden başlayıp X- ışınımı hatta gama ışınımı bölgesine kadar uzanan ışınım yayılımı görülmektedir (Ataç ve Özgüç, 2002)

Güneş yüzeyi üzerinde ortaya çıkan şiddetli manyetik alanların, yüzey üzerindeki etkileri ile görece daha soğuk bölgeler meydana getirmesi sonucunda Güneş lekeleri meydana gelir. Güneş leke sayısının maksimum olduğu yıllarda, Güneş'teki aktiviteler, Dünya ve çevresini çok fazla etkilemektedirler. Bu süreçte, jeomanyetik fırtınaların frekansları ve şiddetleri artmakta, Dünya atmosferinin içindeki radyasyon sağanakları artış göstermektedir.

Güneş'in yüzeyini ısıtan enerjisi, Güneş merkezinde üretilerek üst katmanlara taşınmaktadır. Taşınan bu enerji, bir molekülden diğerine önce soğurularak sonra salınarak yüzeye yakın bir bölgeye kadar uzun süre radyasyon yoluyla iletilmektedir. Yüzeye yaklaşıldığında enerji konveksiyon yoluyla taşınmaya başlamaktadır. Konveksiyon bölgesinin tabanında ısınarak yükselen plazma kabarcıkları enerjiyi yüzeye getirmektedir. Plazma, ışıyarak ısı yaydıktan sonra

soğuyup tekrar aşıya dönmektedir. Bu şekilde sürekli tekrarlanan bu mekanik hareket, Güneş lekelerinin oluşmasına neden olan manyetik alanların yaratılmasını sağlamaktadır. Güneş'in manyetik alanıyla karmaşık ve iyi anlaşılammış bir ilişki içerisinde olan ve siyah bölgeler olarak görülen Güneş lekeleri geçici olaylardır (Memarzadeh, 2009).

Bir araya toplanmaya yatkın olan Güneş lekeleri, 40000 km'lik çapa sahip olabilecek kadar büyük olabilirler. Buldukları bölgenin sıcaklığını 4000 ⁰K'ye kadar düşürebilirler. Bu nedenle lekenin bulunduğu alan çevresine göre daha koyu bir renkte gözlenirler. Güneş lekelerinin manyetik alan yapısı ne kadar karmaşıkse patlama (flare) üretme olasılıkları da o kadar yüksektir. Güneş lekelerinin sayısı ortalama 11 yıllık dönemler halinde düzenli olarak artma ve azalma göstermektedir. Günlük Güneş leke sayısı R, İsviçreli gökbilimci Rudolf Wolf'un bulduğu (3.11) bağıntısı ile hesaplanmaktadır (Memarzadeh, 2009).

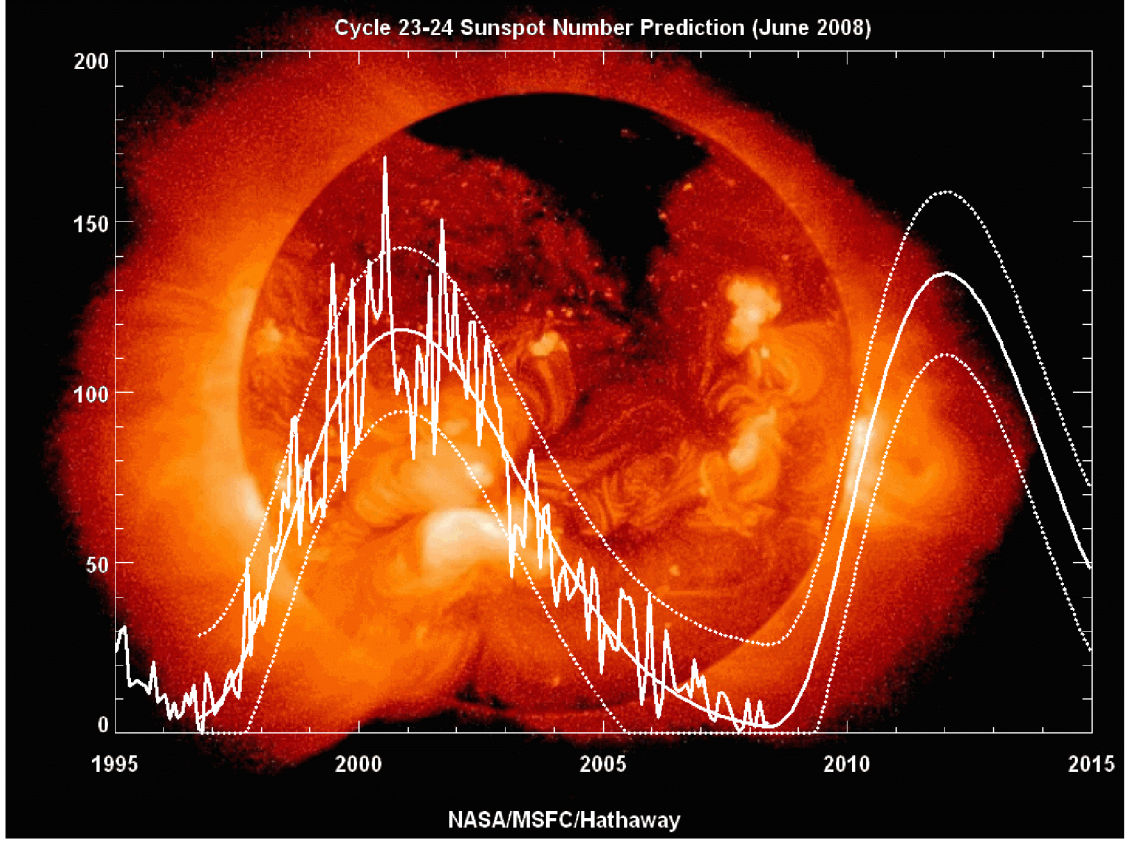
$$R=k(10g+f) \quad (3.11)$$

Bu denklemde k; normalizasyon sabiti (her istasyon için Sunspot Index Data Center (SIDC, Belçika) tarafından belirlenen katsayı), g; leke gruplarının sayısı, f; sadece lekelerin sayısıdır.

İyonosferik çalışmalarda yaygın olarak kullanılan $R_{12}(n)$ güneş lekeleri sayısı;

$$R_{12}(n) = \left[\sum_{i=n-5}^{n+5} R_i + 0,5(R_{n+6} + R_{n-6}) \right] / 12 \quad (3.12)$$

dir. R_i ; söz konusu ay için geçerli olan güneş lekeleri sayısı R değeridir. R'nin büyüklüğü, Güneş çevrimi olarak adlandırılan yaklaşık 11 yıllık bir periyotta 0 ile 200 arasında değişir. Solar minimum; Güneş lekeleri sayısının en az olduğu yılları, Solar maksimum ise Güneş lekeleri sayısının en fazla olduğu yılları belirtir. Solar maksimum yılları süresince güneşte ortaya çıkan aktivitelerin yaşadığımız dünyaya oldukça fazla etkileri vardır. İçinde bulunduğumuz şu günler, 24. Güneş çevriminin solar minimum yılları içerisinde (Memarzadeh, 2009). Aşağıdaki Şekil 3.3' de 23. ve 24. güneş çevrimi Güneş lekeleri etkinliği birlikte görülmektedir



Şekil 3.3. 23. ve 24. Güneş çevrimi Güneş Lekesi etkinliği [4].

Güneş parlamaları ve Güneş'in koronasında sürekli hareket eden plazma tabakaları, solar maksimum boyunca çok sık bir şekilde meydana gelirler. Bu nedenle Güneş'ten gelen parçacık yağmurları bu dönemde hem daha sık hem de daha şiddetli olurlar. Ayrıca solar maksimumlar sırasında Güneş rüzgarlarında da artış gözlenir. Güneş aktivitesi sadece Güneş çevrimine göre değil, günden güne de değişebilir. Güneş lekeleri sayısı solar aktiviteyi açıklamanın bir yoludur ve Güneş'in kısa dalga boylu ışınım (X ışını ve ultraviyole ışın) değişimleri hakkında yaklaşık bir büyüklük verir. Solar ışınım indeksi adı verilen başka bir indekste kullanılmaktadır (Tascione, 1988; Memarzadeh, 2009).

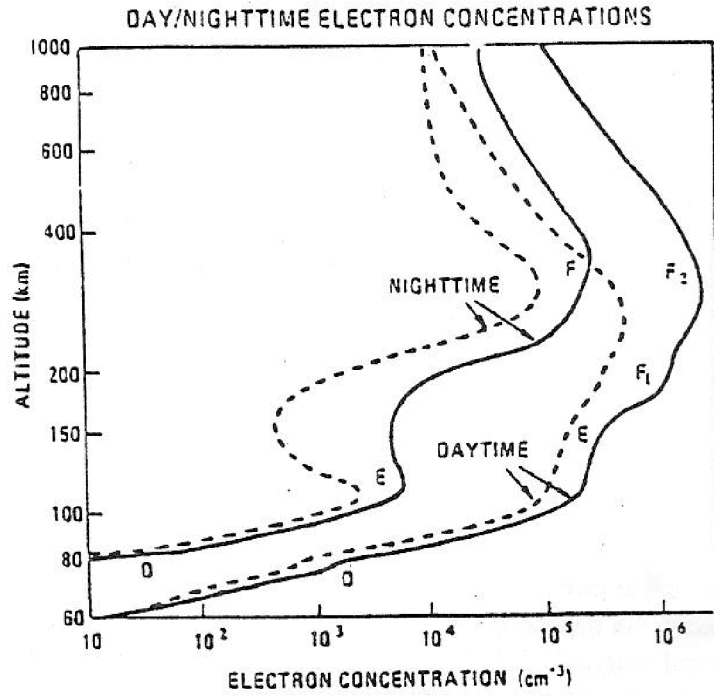
4. İYONOSFER

Dünya atmosferinin üst kısımlarında, yaklaşık 50 km yükseklikte başlayan, Güneş ışınları ile iyonize olmuş, oldukça yüksek elektron yoğunluğuna sahip iyonlaşmış gaz tabakası İyonosfer olarak adlandırılmaktadır. İyonosfer'in içerisinde, elektronların ve iyonların yeniden birleşimi yavaş bir şekilde gerçekleştiği için (düşük gaz yoğunluğuna rağmen) oldukça yüksek olan elektron konsantrasyonu tüm gece boyunca devam etmektedir (Davies, 1968; Tascione, 1988).

Dünya'nın üst atmosferindeki iletken bir bölgenin varlığı William Thomson (Lord Kelvin) tarafından düşünülmüştü. Buna rağmen Guglielmo Marconi'nin Aralık 1901'deki uzun mesafeli radyo iletişimi, bu konudaki çalışmaları harekete geçirmiştir. Başkalarının açıklama olarak dağılma etkisini araştırdığı sıralarda, 1902'de Arthur Kennelly ve Oliver Heaviside birbirlerinden bağımsız olarak radyo dalgalarının iletimini açıklamak amacıyla iyonize olmuş atmosfer tabakasının varlığını önerdiler. On yıl sonra William Eccles radyo dalgalarının iyonize olmuş bölgeden nasıl yayıldığına dair temel teoriyi ortaya attı. 1924'de problem John Larmor tarafından tekrar ele alındı ve çalışmaları bize iyonize olmuş bölgeden yansıyan radyo dalgalarının ilk yaklaşıklık açıklamasında iyi bir başlangıç oluşturdu. "Kennelly-Heaviside tabakası"nın (E-tabakası) varlığına dair ilk doğrudan kanıt iki farklı antene ulaşan sinyallerindeki azalmanın kıyaslanması ile elde edilmiştir. Bu çalışma 1925 yılında Appleton ve Barnet ile 1927 yılında Smith-Rose ve Barfield tarafından yapılmıştır (Appleton ve Barnet, 1925; Smith-Rose ve Barfield, 1927). 1926'da Breit ve Tuve İyonosfer araştırmaları için, yerden gönderilen radyo dalgalarının gidiş gelişlerini ölçen bir metot geliştirdiler (Breit ve Tuve, 1926). Bu metodun çeşitleri, günümüzde İyonosfer araştırmalarında kullanılan temel yöntemlerdir. 1920'lerden beri bilinmektedir ki, İyonosfer, jeomanyetik enlem ile önemli ölçüde değişmektedir. Yüksek enlem, orta enlem ve düşük enlem olmak üzere üç İyonosfer bölgesi vardır. Orta enlem İyonosfer'i anlaşılması en kolay olanıdır ve klasik İyonosfer modellerine en yakındır. Yüksek enlem İyonosferi gergin auroral manyetik alan çizgileri tarafından doğrudan Magnetosfer'e bağlanmıştır ve bu etkileşimin yüksek enlem iyonosferi için önemli sonuçları vardır. Düşük enlem İyonosferi, plazma kararsızlıklarına karşı hassastır ve Magnetosferik halka akımını değiştirir (Tascione, 1988).

4.1 İyonosfer'in Dikey Elektron Yoğunluğu Profili

İyonosfer'in düşey yapısı sürekli olarak değişmektedir. Mevsim ve enlem ile gündüzden geceye değişir. Bunun yanında, Güneş aktivitesi ile beraber kısa dalgaboylu Güneş ışınım periyotlarına karşı duyarlıdır. Tüm bunlara karşın, nadir görülen yoğun jeomanyetik karışıklık süreçleri de dahil olmak üzere İyonosfer'in en önemli özellikleri tanımlanabilmektedir. İyonosferin değişik düşey katmanları şekil (4.1)'de gösterilmiştir. İyonlaşma miktarına bağlı olarak bu katmanlar sırasıyla D, E, F1 ve F2 olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca Şekil 4.1, gündüz ve gece boyunca elektron yoğunluğu profillerinin nasıl değiştiğini de göstermektedir. F2 bölgesindeki maksimum elektron yoğunluğunun üzerinde, elektron yoğunluğu azalır (Tascione, 1988).



Şekil 4.1. Orta enlemde, gündüz ve gece boyunca, maksimum (düz çizgi) ve minimum (kesikli çizgi) güneş lekeleri için elektron yoğunluğu profili. (Tascione, 1988)

Farklı İyonosfer tabakaları; Güneş spektrumunun atmosferin absorpsiyon özelliklerine bağlı olarak farklı yüksekliklerde enerjisini bırakması, yeniden birleşimin (recombination) fiziksel yapısının yükseklik ile değişen atmosferik yoğunluğa bağlı olması ve atmosfer bileşiminin

yükseklik ile değişmesi gibi sebeplerden dolayı meydana gelmektedir. Böylece dört temel İyonosfer bölgesi (D, E, F1 ve F2) basit yükseklik farklarından ziyade farklı fiziksel süreçler ile ilişkilendirilebilmektedir. İyonosfer'in her yerinde elektron yoğunluğu yaklaşık olarak iyon yoğunluğuna eşittir; bu özellik yük nötrlüğüne işaret eder. Bu eşitlikte istisna, elektronların negatif iyon formundaki moleküllerle birleşebildiği D bölgesindedir. Genellikle elektriksel kuvvetler, serbest elektronların kaynak iyonlarından fazla uzaklaşmalarına engel olurlar. İyon çarpışma frekansının yüksek olduğu bölgelerde yük dağılımı olur ve hareketli elektronlar gözlenebilen iyonosferik yapılandırmayı şekillendirmesine yardımcı olan iyonosferik akımı oluştururlar. İyonizasyon tüm atmosferde meydana gelmesine rağmen özellikle 75 km ve üzerinde çok daha etkilidir. Herhangi bir yükseklikteki elektron yoğunluğu, o yükseklikteki iyonizasyon ve yeniden birleşim oranı ile belirlenmektedir. D ve F1 tabakaları geceleri tamamen kaybolmakta E tabakası ise gece saatlerinde oldukça zayıflamaktadır. Fakat F2 tabakası gece boyunca varlığını sürdürmekte, yoğunluğu giderek azalmasına rağmen güneş doğmadan hemen önce minimum değerine ulaşmaktadır. İyonlar ve elektronlar verilen yükseklikteki atmosferik bileşenlerin sadece 0,4% 'ünü oluştururlar (Tascione, 1988).

5. CHAPMAN MODELİ

Sydney Chapman 1931 yılında, İyonosfer'in karışık yapısına açıklık kazandırabilmek için birtakım kabuller altında basit bir tabaka modeli geliştirmiştir (Chapman, 1930). Bu modelin geliştirilmesine sebep olan temel problem; İyonosferik elektron yoğunluğunun, İyonosfer'in düzensiz bir yapıya sahip olmasından dolayı yüksekliğe bağlı olarak hesaplanmasının zorluğudur.

Model için kullanılan temel kabuller kesinlikle gerçeği yansıtmadığı halde, bu teori deneysel verilerin analizi için çok değerli bir rehber niteliğindedir (Davies, 1968).

Chapman, kabullerini atmosfer ve atmosferde absorbe olan (emilen) radyasyon ile ilgili olarak iki kısımda yapmıştır.

Atmosferde absorbe olan radyasyon için;

1. Gelen ışınlar birbirlerine paralel olarak gelmektedir.
2. Gelen ışınlar, monokromatiktir yani tek dalga boyuna sahiptir.

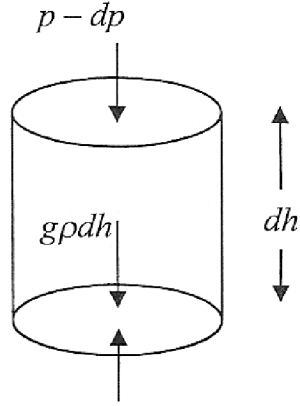
Atmosferin kendi özelliği olarak da;

3. Tek tip molekülden oluşması.
4. Her noktasında ısının aynı olması, izotermal özelliği.
5. Düzlemsel tabakalardan meydana gelmesi.

Şeklinde toplam beş adet varsayımdan yola çıkılmaktadır (Davies, 1968).

5.1 Hidrostatik Denge

Tek tip molekülden oluşan izotermal bir sistemde, yüksekliğe göre moleküler kütle yoğunluğu değişimi olan ρ değerini belirleyebilmek için, dh yüksekliğinde bir silindir düşünelim. Silindirin alt ve üst tabanları arasındaki basınç farkı şekil 5.1'de gösterildiği gibi olacaktır ve bu basınç farkı denklem (5.1) ile ifade edilir.



Şekil 5.1 Silindirik bir hacme etki eden gaz basınçları (Davies, 1968).

$$dp = -\rho g dh \quad (5.1)$$

İdeal gaz denkleminde p basınç değeri; k Boltzmann sabiti, T mutlak sıcaklık ve n moleküler sayı yoğunluğu olmak üzere,

$$p = nkT \quad (5.2)$$

şekilde ifade edilmektedir.

Amacımız moleküler yoğunluğu, yükseklik cinsinden ifade etmek olduğundan, (5.2) denkleminin her iki tarafını, m (kütle) ile çarpıp diferansiyelini alırsak,

$$m p = m n k T = \rho k T \quad (5.3)$$

$$m dp = k T d\rho \quad (5.4)$$

$$dp = \frac{kT}{m} d\rho \quad (5.5)$$

(5.5) denklemini (5.1) denkleminde yerine yazdığımızda,

$$\frac{d\rho}{\rho} = -\frac{mg}{kT} dh \quad (5.6)$$

Bu bağıntıdaki $\frac{kT}{mg}$ ifadesi denklem (3.7)'de tanımlanan, H skala yüksekliğidir,

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{h-h_0}{H}\right) \quad (5.7)$$

(5.7) denklemi, moleküler kütle yoğunluğunun yükseklik ile üstel olarak azaldığını göstermektedir.

Birim taban alanına sahip ve zenit ile χ açısı yapan bir silindirin, atmosferde h ile $h+dh$ yüksekliği arasında konumlandığını ve h birim alandan geçen akı miktarının da S olduğunu düşünelim, bu durumda $h+dh$ yüksekliğinden geçen akı miktarı da $S+dS$ olacaktır.

İçerisinde tek çeşit gaz bulundurduğu düşünülen bu silindirde σ , N moleküler kütle yoğunluğu sayısına sahip olan atomların oluşturduğu absorpsiyon (emilim) kesiti olsun.

Bu durumda emilen enerji dS aşağıdaki şekilde ifade edilir (Davies, 1965).

$$dS = S \sigma N dh \sec \chi \quad (5.8)$$

(5.8) denklemini integral formunda yazılırsa;

$$\int \frac{dS}{S} = \sec \chi \int_{\infty}^h N \sigma dh = -\tau \sec \chi \quad (5.9)$$

burada,

$$\tau = - \int_{\infty}^h N \sigma dh \quad (5.10)$$

τ , atmosferin optik derinliğidir ve negatif işaretli olmasının sebebi de integral sınırlarının ters olmasıdır (sonsuzdan, h yüksekliğine kadar).

τ değerinin belirlenmesi için, (5.10) denkleminin çözümündeki yerine H skala yüksekliği ifadesi yazılırsa;

$$\tau = N \sigma H \quad (5.11)$$

değeri bulunur. Yükseklik arttıkça $S \rightarrow S_{\infty}$ ve $\tau \rightarrow 0$ olacaktır ve (5.9) numaralı denklemin çözümü;

$$S = S_{\infty} \exp(-\tau \sec \chi) \quad (5.12)$$

Birim hacimde absorbe edilen enerji ise, (5.8) ve (5.12) denklemlerinin birleşiminden;

$$\frac{dS}{dh \sec \chi} = N \sigma S = N \sigma S_{\infty} \exp(-\tau \sec \chi) \quad (5.13)$$

şeklinde elde edilir.

5.2 İyon Üretim Oranı

İyonlaşmaya sebep olan ışınım (radyasyon) izotermal olan atmosfere girdiği zaman, atmosferin en üst kısımlarında seyrek olan gaz tarafından çok az miktarda emilecektir ve daha yoğun olan alt kısma ulaştığı zaman, büyük çoğunluğu zaten bir üst tarafta emilmiş olacaktır. Bu durumda sonuç olarak, maksimum enerji Emilimi ve İyon Üretimi de orta seviyedeki yüksekliklerde olmaktadır (Davies, 1968).

İyonizasyon verimi de denilen ve birim enerjinin ürettiği İyon çiftlerinin sayısı, İyonizasyon sabiti olan η ile ifade edilmektedir. Bu durumda, her saniyede birim hacimde üretilen İyon sayısı;

$$q(\chi, h) = N \sigma S_{\infty} \eta \exp(-\tau \sec \chi) \quad (5.14)$$

Denklem (5.11)'i kullanarak, denklem (5.14)'ü aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz,

$$q(\chi, h) = \frac{\tau S_{\infty}}{H e} \eta \exp(1 - \tau \sec \chi) \quad (5.15)$$

İfadesine ulaşılır, yerçekimi ivmesinin (g) yükseklik ile değişimi ihmal edilmiş olup burada $e = 2.718...$ değeridir.

Chapman'ın ifadesine ulaşabilmemiz için, skala yüksekliği olan H 'nin yükseklikten bağımsız olduğu bir yaklaşım yapmalıyız, bunun için de aşağıdaki tanımları yapmamız uygun olacaktır (Davies, 1968).

$$z = -\ln \tau \quad (5.16)$$

yani,

$$\tau = \exp(-z) \quad (5.17)$$

Denklem (5.17), denklem (5.15)'de yerine yazılırsa, solar zenit açısı (χ) ve yüksekliğe (z) bağlı olarak iyon çiftlerinin üretim oranı aşağıdaki şekilde verilir;

$$q(\chi, z) = \frac{S_\infty}{H e} \eta \exp(1 - z - \sec \chi \exp(-z)) \quad (5.18)$$

$$q_0 = \frac{S_\infty}{H e} \eta \quad (5.19)$$

olarak tanımlanırsa, denklem (5.18),

$$q(\chi, z) = q_0 \exp(1 - z - \sec \chi \exp(-z)) \quad (5.20)$$

Diğer bir ifade ile denklem (5.20), aşağıdaki şekilde de gösterilebilir.

$$\ln\left(\frac{q(\chi, z)}{q_0}\right) = (1 - z - \sec \chi \exp(-z)) \quad (5.21)$$

$$z = \frac{h - h_0}{H} \quad (5.22)$$

Burada; q_0 , Güneş en tepedeyken $z = 0$ seviyesindeki iyon çiftleri üretim oranıdır. H skala yüksekliği ve h_0 , iyon üretiminin maksimum olduğu referans yüksekliğidir.

Artık elimizdeki veriler yardımıyla, Ne elektron yoğunluğunu hesaplayabiliriz. Herhangi bir seviyedeki Ne elektron yoğunluğu, üretim ve kaybolma süreçlerinin bir sonucudur. Bu durumlar, lineer yada kuadratik yasalar ile ifade edilirler.

$$\text{Lineer yasa; } \frac{dN}{dt} = q - \beta N \quad (5.23)$$

$$\text{Kuadratik yasa; } \frac{dN}{dt} = q - \alpha N^2 \quad (5.24)$$

β ve α katsayıları sırasıyla; etkin bağlanma ve etkin yeniden birleşme katsayılarıdır (Davies, 1965). Denklem (5.24), (5.21) denkleminde yerine yazılırsa,

$$2 \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = (1 - z - \sec \chi \exp(-z)) \quad (5.25)$$

Denklemini elde edilir. Burada N_0 , güneşin en tepede olduğu zamanki elektron yoğunluğunun pik noktasıdır.

Elektron yoğunluğunun pik noktası,

$$N_{\max}^2 = \frac{q_0}{\alpha} \cos \chi \quad (5.26)$$

şeklinde ifade edilir.

Güneş en tepede olduğu zaman zenit açısı $\chi = 90^\circ$ olacağından dolayı, N_0 değeri aşağıdaki şekilde ifade edilir,

$$N_0^2 = \frac{q_0}{\alpha} \quad (5.27)$$

Denklem (5.23), (5.21) denkleminde yerine yazılırsa (attachement-like loss),

$$\ln\left(\frac{N}{N'}\right) = (1 - z - \sec \chi \exp(-z)) \quad (5.28)$$

şeklinde ifade edilir (Davies, 1965).

$$N' = \frac{q_0}{\beta} \quad (5.29)$$

Buradan da N_{\max} değeri aşağıdaki şekilde verilir.

$$N_{\max} = \frac{q_0}{\beta} \cos \chi \quad (5.30)$$

Eğer gelen ışınımında farklı dalga boyları mevcut ise iyonizasyon sabitleri de farklı olacaktır ve bunun sonucunda da farklı tabakalar meydana gelecektir. Çok güçlü şekilde emilen ışınım, en üst tabakayı meydana getirecektir ve tersi olarak da; radyasyonun en az emildiği tabaka ise en alt tabaka olacaktır. Farklı biçimde iyonize olmuş olan tabakalar da, atmosferdeki farklı gazların varlığının bir sonucudur (Davies, 1965).

Dünya atmosferi farklı türde gazlar içermektedir ve gelen dalganın spektrumu da oldukça geniştir, bunun yanı sıra izotermal atmosfer varsayımının tamamen geçersiz olmasının sonucu olarak, gerçek iyonosferik tabakalar Chapman'ın gösterdiği şekliyle kesin N_e ve $\sec \chi$ değerlerine uymazlar. Buna rağmen Chapman teorisi, gözlem verilerinin analizi ve iyonosferde meydana gelen fiziksel süreçlerin anlaşılmasında önemli bir yol gösterici olmaktadır (Davies, 1968).

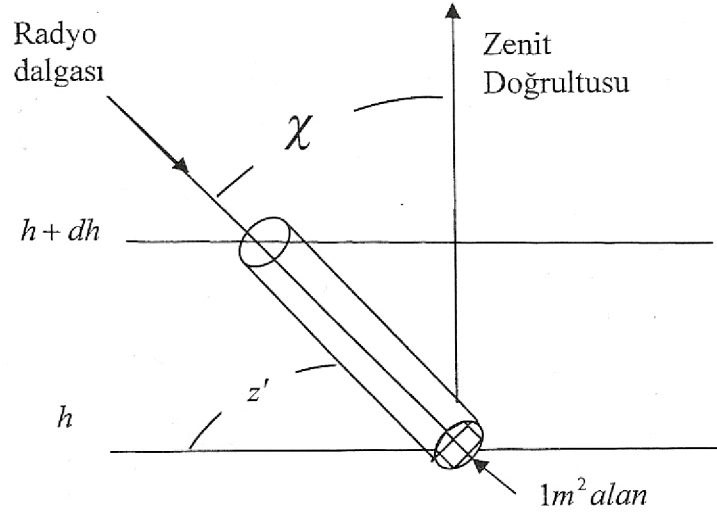
6. İYONOSFERİK TOPLAM ELEKTRON İÇERİĞİ (TEC)

İyonosfer, dünya atmosferinin en üst katmanıdır ve bu katman Güneş'ten gelen yüksek enerjili radyasyon sayesinde iyonize olmuş bir plazma ortamıdır. Bu doğal plazma içerisindeki serbest elektronların miktarı, günün saati, mevsim, gece-gündüz, coğrafi enlem ve boylam gibi birçok değişkene bağlı olarak sürekli biçimde değişmektedir.

Bu kadar sürekli değişim halinde olan bu ortamdaki elektron içeriğini tam olarak tespit etmek oldukça zordur, fakat bazı yaklaşımlar ile İyonosferik toplam elektron içeriği hakkında bir kestirim yapılmaktadır.

Toplam elektron içeriği miktarı (TEC) tahmini yapılırken, alıcı üzerindeki ve çevresindeki iyonosferin yaklaşık olarak 15 dk boyunca değişmediği kabul edilmektedir. İyonosfer çok değişken bir yapıya sahip olduğundan, doğru bir TEC tahmini yapılabilmesi için, çok kısa zaman aralıkları ve bir tek uydudan alınan değerlerle analizin yapılması gerekmektedir. Tek uydu kullanılmasındaki amaç, literatür taramalarının gösterdiği üzere farklı uydular ile yapılan ölçmelerde elde edilen STEC (Slant Total Electron Content) değerlerinin değişik olmasıdır (Arıkan vd., 2004)

Şekil (6.1)'de görüldüğü gibi, sinyal yolu boyunca zenit ile χ açısı yapan $1m^2$ kesit alanına sahip olan silindir içerisindeki toplam elektron miktarı, 1TECU (Total Electron Content Unit) olarak kabul edilir. $1TECU = 10^{16} \text{ el} / m^2$ dir (Kahveci ve Yıldız, 2007).



Şekil 6.1 1TECU, $1m^2$ kesit alanına sahip silindirdeki toplam elektron miktarıdır (Davies, 1965).

Toplam elektron içeriği, uydu (S) ve alıcı (R) arasındaki yol (sinyal yolu) boyunca elektron miktarının integrali alınarak bulunur

$$TEC = \int_S^R Ne ds \quad (6.1)$$

TEC değeri, STEC ve VTEC (Vertical Total Electron Content) olmak üzere ikiye ayrılır. VTEC; zenit doğrultusu boyunca olan elektron içeriğidir, STEC ise uydu ve alıcı arasındaki toplam elektron içeriğidir (Memarzadeh, 2009; Can ve Gümrükçü, 2009; [1]).

$$VTEC = \frac{1}{F} TEC \quad (6.2)$$

Burada F haritalandırma faktörü yada eğrilik faktörü olarak adlandırılmaktadır. (Seeber, 2003)

$$F = \frac{1}{\cos z'} \quad (6.3)$$

$$z' = \arcsin \left(\frac{r_E}{r_E - h_i} \sin z \right) \quad (6.4)$$

z' değeri, şekil 6.1'den de görülebileceği gibi sinyal yolu ile yatay düzlem arasındaki zenit açısıdır. r_E yer kürenin yarıçapı, h_i iyonosferin yüksekliğidir ve zenit açısının artmasıyla haritalandırma faktörü F de artmaktadır (Seeber, 2003)

TEC kestirimi için kullanılan yöntemler, yer tabanlı ve uydu tabanlı yöntemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yer tabanlı yöntemde iyonosonda, geri saçılım radarı gibi teknikler kullanılarak iyonosfere radyo dalgaları gönderilir ve inceleme yapılır. Uydu tabanlı gözlemlerde ise Dünya yörüngesine konumlanmış GPS, GLONASS gibi uydu sistemlerinden gelen dalgalardan faydalanılmaktadır [1].

6.1 İyonosfer'in Elektromanyetik Dalga Yayılımına Etkisi

Bir elektromanyetik dalganın v_g grup hızı ve v_p faz hızı ile dalganın yayıldığı ortamın kırılma indisi ve dalganın o ortamdaki dalga boyu arasında bir ilişki vardır. Boşlukta, grup hızı ve faz hızı birbirine eşittir ve ışık c hızı ile ilerlerler.

$$v_g = v_p = c \quad (6.5)$$

Fakat iyonosfer, yapısı itibarıyla bir plazma ortamı olduğundan elektromanyetik dalganın faz ve grup hızları dispersiyon etkisinden ötürü eşit olmayacaktır. Bu tip ortamlara anormal dispersif ortamlar denir ve grup hızı, faz hızından büyüktür (Hofmann, 2001).

$$v_g > v_p \quad (6.6)$$

Plazma ortamı için grup ve faz hızları arasındaki ilişki, λ dalgaboyu olmak üzere aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$v_g = v_p - \lambda \frac{dv_p}{d\lambda} \quad (6.7)$$

Elektromanyetik dalga, ortamda ilerlerken farklı kırılma indislerinin etkisine uğrar, bu kırılma indisleri; n_g grup kırılma indisi ve n_p faz kırılma indisidir. f frekans olacak şekilde, grup ve faz kırılma indisleri arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$n_g = \frac{n_p^2}{n_p - f \frac{dn_p}{df}} = n_p \left(\frac{1}{1 - \frac{f}{n_p} \cdot \frac{dn_p}{df}} \right) \quad (6.8)$$

İfadeyi daha basitleştirmek için; eşitliğin en sağındaki ifadenin paydası $\frac{1}{(1-x)}$ durumuna benzetilmektedir ve bu ifade seriye açılırsa.

$$\frac{1}{(1-x)} = 1 + x - x^2 + \dots \quad (6.9)$$

İlk iki terim alındığı takdirde n_g , grup faz kırılma indisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$n_g = n_p + f \left(\frac{dn_p}{df} \right) \quad (6.10)$$

Denklemleri ile grup ve faz kırılma indisi arasındaki ilişki ifade edilebilir (Seeber, 2003).

6.2 İyonosferik Kırılma

Dalga yayılımını açıklayan kırılma sabiti aşağıdaki biçimde bir kuvvet serisi olarak yazılabilir (Seeber, 2003).

$$n_p = 1 + \frac{c_2}{f^2} + \frac{c_3}{f^3} + \frac{c_4}{f^4} + \dots \quad (6.11)$$

c katsayısının hesaplanması için denklem (6.12)'de gösterilen n kırılma indisi ifadesi kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir, burada m elektronun kütlesi ve w değeri de dalganın açısal frekansını ifade etmektedir (Davies, 1968).

$$n^2 = 1 - \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m w^2} \quad (6.12)$$

$$n = \left[1 - \frac{Ne^2}{\epsilon_0 m w^2} \right]^{1/2} \quad (6.13)$$

n ifadesi $(1-x)^{1/2}$ terimine benzer ve aşağıdaki şekilde seriye açılabilir;

$$(1-x)^{1/2} = 1 - \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 - \frac{1}{48}x^3 \dots \quad (6.14)$$

İlk iki terim alınırsa n değeri aşağıdaki şekilde bulunur,

$$n = \frac{1}{8} \frac{Ne^2}{\epsilon_0 \pi^2 m f^2} \quad (6.15)$$

Sabitlerin sayısal değerleri yerlerine yazılırsa,

$$n = \frac{40.3}{f^2} Ne \quad (6.16)$$

bulunur.

n değeri yerine yazıldığında faz kırılma indisi.

$$n_p = 1 - \frac{40.3}{f^2} Ne \quad (6.17)$$

Olarak bulunur. Benzer şekilde, grup kırılma indisi için,

$$n_g = 1 - \frac{c_2}{f^2} - \frac{c_3}{f^3} - \frac{c_4}{f^4} - \dots \quad (6.18)$$

serisi kullanılırsa, grup kırılma indisi ifadesi aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$n_g = 1 + \frac{40.3}{f^2} N_e \quad (6.19)$$

Faz ve grup kırılma indisleri ile faz ve grup hızları arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$v_g n_g = c \quad (6.20)$$

$$v_p n_p = c \quad (6.21)$$

Kırılma indisleri, yukarıdaki ifadelerdeki yerlerine yazılırsa, grup ve faz hızları sırasıyla denklem (6.22) ve (6.23) olmak üzere elde edilirler (Hofmann, 2001).

$$v_g = \frac{c}{1 + \frac{40.3}{f^2} N_e} \quad (6.22)$$

$$v_p = \frac{c}{1 - \frac{40.3}{f^2} N_e} \quad (6.23)$$

İyonosferik yayılma esnasındaki gecikmenin sebep olduğu ΔS menzil hatası aşağıdaki şekilde kolayca hesaplanabilir. Ölçülen menzil için sinyal yolu boyunca integral alınır (Hofmann, 2001; Seeber, 2003). İntegral sınırları, R alıcı ve S uydu arasındadır.

$$S = \int_S^R n ds \quad (6.24)$$

Kırılma indisi $n = 1$ alındığı takdirde, uydudan alıcıya gelen sinyalin düz bir hat üzerinde ilerlediği düşünülebilir. Bu durumda menzil değeri aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$S_0 = \int_S^R ds_0 \quad (6.25)$$

Sinyalin iyonosferdeki gecikmesinden doğan menzil hesabı için bu iki yolun farkı alınır,

$$\Delta S_{ION} = S - S_0 = \int_S^R n ds - \int_S^R ds_0 \quad (6.26)$$

İyonosferik etkilerden doğan faz ve grup gecikmeleri, faz ve grup kırılma indisi değerleri denklem (6.26)'daki yerlerine yazılarak belirlenir (Seeber, 2003).

$$\Delta S_{ION,p} = -\frac{40.3}{f^2} TEC \quad (6.27)$$

$$\Delta S_{ION,g} = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (6.28)$$

6.3 TEC Hesaplama Yöntemleri

TEC değerini hesaplamak için sözde menzil (pseudorange) verilerinden yada faz verilerinden faydalanılır. Faz verileri kullanılarak hesaplanan TEC değerine bağlı TEC, sözde menzil değerleri kullanılarak hesaplanan TEC değerine ise mutlak TEC denir. Sözde menzil verilerinin kullanılması basit bir yöntemdir fakat ölçümler gürültülü olabilmekte ve çok yol etkisi

görülebilmektedir. Faz ölçüm değerlerinde ise çok yol etkisi azdır fakat bu yöntemde ilk faz belirsizliği ve faz kopmaları görülmektedir (Nayir, 2007; [1])

Sözde menzil değerlerini kullanarak f_1 ve f_2 frekansları için TEC hesabı aşağıdaki şekilde yapılır. Bu iki frekans için sözde menzil ifadeleri,

$$P_{1,u}^m = \rho_u^m + d_{ion,1,u}^m + d_{trop,u}^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) \quad (6.29)$$

$$P_{2,u}^m = \rho_u^m + d_{ion,2,u}^m + d_{trop,u}^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) \quad (6.30)$$

Şeklinde yazılabilir (Hofmann,2001; Seeber, 2003; Nayir, 2007; [1]). (6.29) ve (6.30) denklemlerinde, m ve u sırasıyla uydu ve alıcı numarası, ρ_u^m uydu ve alıcı arasındaki gerçek mesafe, $d_{ion,1,u}^m$ ve $d_{ion,2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekansları için iyonosferik etki, $d_{trop,u}^m$; troposfer etkisi, $\Delta t_u, \Delta t^m$; alıcı ve uydu için saat hatası, $\varepsilon_1^m, \varepsilon_2^m$; f_1 ve f_2 frekansları için uydu yanlılığı, $\varepsilon_{1,u}, \varepsilon_{2,u}$ de f_1 ve f_2 frekansları için alıcı yanlılığıdır.

Denklem (6.29) ve (6.30), sözde menzil ifadelerinin farkı alındığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P_{4,u}^m = P_{2,u}^m - P_{1,u}^m = d_{ion,2,u}^m - d_{ion,1,u}^m + c(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) + c(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) \quad (6.31)$$

(6.29) ve (6.33) denklemlerinde $\rho_u^m, d_{trop,u}^m, \Delta t_u$ ve Δt^m terimleri frekanstan bağımsızdır.

$d_{ion,1,u}^m, d_{ion,2,u}^m, \varepsilon_1^m, \varepsilon_2^m, \varepsilon_1^u$ ve ε_2^u terimleri ise frekansa bağımlıdır.

Aynı şekilde, faz verilerine göre de bir model kurulabilir. Faz sayısı, dalga boyu ile çarpılarak dalganın aldığı yol hesaplanabilir.

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_1 \Phi_{ion,1,u}^m + \lambda_1 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_1^m + \varepsilon_{1,u}) + \lambda_1 N_1^m \quad (6.32)$$

$$\lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \rho_u^m + c(\Delta t_u - \Delta t^m) + \lambda_2 \Phi_{ion,2,u}^m + \lambda_2 \Phi_{trop,u}^m - c(\varepsilon_2^m + \varepsilon_{2,u}) + \lambda_2 N_2^m \quad (6.33)$$

Burada, $\Phi_{ion,1,u}^m$ ve $\Phi_{ion,2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekansları için iyonosferik faz gecikmesidir. $\Phi_{1,u}^m$ ve $\Phi_{2,u}^m$ sırasıyla f_1 ve f_2 frekansları için alıcı tarafından kaydedilen faz değerleri, N_1^m ve N_2^m ; frekanslar için, m uydusundan alınan ilk faz belirsizliğidir.

(6.32) ve (6.33) denklemlerinde ρ_u^m , $\Phi_{trop,u}^m$, Δt_u ve Δt^m terimleri frekanstan bağımsızdır.

$\Phi_{ion,1,u}^m$, $\Phi_{ion,2,u}^m$, ε_1^m , ε_2^m , $\varepsilon_{1,u}$ ve $\varepsilon_{2,u}$ terimleri ise frekansa bağımlıdır.

(6.32) ve (6.33) denklemlerinin farkı alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$\lambda_1 \Phi_{1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{2,u}^m = \lambda_1 \Phi_{ion,1,u}^m - \lambda_2 \Phi_{ion,2,u}^m + c(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) + c(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) + \Delta N^m \quad (6.34)$$

$$\Delta N^m = \lambda_1 N_1^m - \lambda_2 N_2^m \quad (6.35)$$

(6.34) denklemindeki $(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m)$ ve $(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u})$ fark terimleri, diferansiyel yanlışlık olarak ifade edilirler.

$$(\varepsilon_2^m - \varepsilon_1^m) = DCB_m \quad (6.36)$$

$$(\varepsilon_{2,u} - \varepsilon_{1,u}) = DCB_u \quad (6.37)$$

6.4 Söзде Menzil Değerleri Kullanılarak Yapılan STEC Hesabı

İlerleyen bir elektromanyetik dalganın grup gecikmesini ve faz ilerlemesini veren denklemler sırasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\Delta r = \frac{A}{f^2} \int Ne \, dl \quad (6.38)$$

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\lambda} \int (n_p - 1) \, dl = -\frac{A}{c f} \int Ne \, dl \quad (6.39)$$

Denklem (6.38) ve (6.39)'daki $\left(\int Ne \, dl \right)$ terimi yerine STEC yazabiliriz. Öyleyse,

$$\Delta r = \frac{A}{f^2} STEC \quad (6.40)$$

ve

$$\Delta \Phi = -\frac{A}{c f} STEC \quad (6.41)$$

yazılabilir (Güven ve Erol, 2001; Nayir, 2007; [1]).

m uydusu ve u alıcısı için iyonosferdeki grup ve faz gecikmesiyle STEC arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$d_{ion,u}^m = -\Phi_{ion,u}^m \frac{c}{f} \approx \frac{A}{f^2} STEC_u^m \quad (6.42)$$

Denklem (6.36), (6.37) ve (6.42)'den faydalanarak sözde menzil ve faz değerleri sırasıyla aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$P_{4,u}^m = \frac{A}{f_2^2} STEC_u^m - \frac{A}{f_1^2} STEC_u^m - c(DCB_m + DCB_u) \quad (6.43)$$

$$P_{4,u}^m = A \left[\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 \cdot f_2^2} \right] STEC_u^m - c(DCB_m + DCB_u) \quad (6.44)$$

ve

$$L_{4,u}^m = A \left[\frac{f_1^2 - f_2^2}{f_1^2 \cdot f_2^2} \right] STEC_u^m - c(DCB_m + DCB_u) + \Delta N^m \quad (6.45)$$

(6.44) denklemindeki $STEC_u^m$ ifadesi çekilirse,

$$STEC_u^m = \frac{1}{A} \left[\frac{f_1^2 \cdot f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right] \cdot [P_{4,u}^m + c(DCB_m + DCB_u)] \quad (6.46)$$

ifadesi elde edilir.

(6.46) denklemi, m uydusu ve u alıcısı arasındaki eğik toplam elektron içeriğidir. Uydu ve alıcı arasındaki düşey toplam elektron içeriği ($VTEC$) değerini hesaplamak için ise denklem (6.47)'deki gibi bir dönüşümden faydalanılır.

$$VTEC_u^m(n) = \frac{STEC_u^m(n)}{M(\varepsilon_m(n))} \quad (6.47)$$

Burada,

$$M = \left[1 - \left(\frac{R \cos(\varepsilon_m(n))}{R+h} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (6.48)$$

(6.48) denkleminde, n ; ölçüm zamanı, R ; Dünya'nın yarıçapı, ε ; yerel yükseklik açısı ve h ; İyonosfer'de en fazla iyonlaşmanın olduğu yüksekliktir.

TEC değeri hesaplanırken, sözde menzil ve faz değerlerinin ayrı ayrı kullanımının yanı sıra ikisini birlikte kullanarak da hesaplama yapılabilir. Bu yöntemde faz belirsizlikleri giderilebilir ve daha hassas TEC değerleri hesaplanabilir fakat faz kopmaları sorunu devam etmektedir [1]

7. GPS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN FORMATLAR

GPS ölçümlerinde elde edilen tüm veriler, kullanılan alıcının markasına bağlı olarak 'binary' formatında kaydedilmektedir. Alıcı üreten çeşitli firmalar, kendi özel veri tabanı sistemlerini oluşturmakta ve toplanan GPS verilerini, kendi hazırladıkları veri tabanı sistemine uygun özel değerlendirme yazılımlarını kullanarak hesaplanılmasını önermektedirler. Binary formatında kaydedilen veriler, bilgisayarlara ASCII formatında aktarılsa bile veri formatı alıcı markasına göre değişeceğinden, kaydedilen verilerin başka yazılım programları kullanılarak doğrudan değerlendirilmesi olanak dahilinde değildir. Sonuç olarak, her değerlendirme yazılımının kendi özel formatı olduğundan farklı alıcılarda toplanmış GPS verilerinin değerlendirilebilmesi için verilerin alıcıdan bağımsız bir format biçimine çevrilmesi gerekmektedir. Bu gerçekleştiği takdirde, GPS verileri ne tür alıcı ile kaydedilirse kaydedilsin, bu veriler alıcıdan bağımsız formata dönüştürülerek farklı yazılımlarla değerlendirilebilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2007).

GPS verilerinin değerlendirilmesi amacıyla ticari ve bilimsel kullanıma hizmet etmek üzere hazırlanmış çeşitli yazılımlar mevcuttur. Yüksek doğruluk gerektiren akademik çalışmalarda, farklı firmaların bilimsel olarak hazırladıkları programların kullanılması daha uygundur. Bu programlar BERNESE, GAMIT/GLOBK, GIPSY olarak ifade edilebilir [5]. GAMIT/GLOBK yazılım paketi MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilmiştir. Bu yazılım paketi Linux ve benzeri Unix türevi işletim sistemleri üzerinde çalışmaktadır (Tarı ve Baykal, 2007; [5]).

Verilerin alıcıdan bağımsız olarak değerlendirilebilmesi için ortak bir format olan RINEX formatı kullanılmaktadır. İsviçre'deki Bern Üniversitesi tarafından hazırlanan RINEX formatı, 1989 yılında Las Cruces'de düzenlenen, Beşinci Uluslararası Uydularla Konum Belirleme, Jeodezi Sempozyumu'nda ilk olarak sunulmuş ve sempozyum süresince yapılan bir takım geliştirmeler sonucu uluslararası kullanım için önerilmiştir. RINEX formatının küresel olarak kullanılmaya başlanmasıyla, farklı alıcı türlerinden kaynaklanan veri karışıklığı gibi önemli bir sorun da ortadan kalkmıştır (Seeber, 2003). Bir RINEX dosyası, başlık (header) ve veri kaydı (data block) olarak adlandırılan iki bölüme oluşmaktadır; başlık kısmında gözlemci kurum, anten türü, alıcı türü, gözlem tarihi ve alıcının yaklaşık koordinatları gibi bilgiler verilmektedir. Veri kaydı bölümünde ise L1 ve L2 faz gözlemleri, C1, P1 ve P2kod (sözde menzil) gözlemleri ile D1 ve D2 Doppler gözlemleri gibi bilgilere yer verilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2007). Son yıllarda

yapılan uluslar arası ortak çalışmalarda, farklı alıcılarda elde edilmiş GPS ölçüleri, RINEX formatını girdi kabul eden tek bir yazılımla değerlendirilebilmektedir. RINEX formatı, alıcı formatından bağımsız olup, farklı alıcı sistemleri ile gerçekleştirilmiş GPS kampanyaları ile toplanmış değişik veri formatlarının alıcıdan bağımsız ortak ve standart bir format haline dönüştürülmesini sağlamaktadır. Bu da GPS verilerini tek bir yazılım kullanarak değerlendirme olanağını vermektedir. RINEX formatı dört farklı ASCII dosyasından oluşmaktadır. Bu dosyalar; Gözlem veri dosyası, GPS Navigasyon Mesaj dosyası, Meteorolojik veri dosyası ve GLONASS Navigasyon Mesajı dosyasıdır (Kahveci ve Yıldız, 2007).

GPS verilerinin analizi için kullanılan diğer bir akademik yazılım ise Bernese'dir. 2010 yılı itibarıyla yazılımın en yeni sürümü, 5.0 sürümüdür.

7.1 Bernese 5.0

Bernese, İsviçre'deki Bern Üniversitesi Astronomi Enstitüsü tarafından hazırlanan akademik kullanıma hizmet eden bir yazılımdır, bu yönüyle ticari kullanım için geliştirilen diğer yazılımlardan farklıdır. Esas amaç olarak tektonik plaka hareketlerinin incelenmesi ve GPS sistemlerinden alınan verinin analizi için kullanılmaktadır.

Yazılımın kullanıcıları; eğitim ve araştırma, yüksek derecede doğrulukla gözlem yapmakla sorumlu olan şirketler ve yüksek doğruluk, güvenilirlik gerektiren karmaşık uygulamaları kullanan ticari kullanıcılar olarak sınıflandırılabilir (Dach vd., 2007).

Bernese GPS yazılımı GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sistemlerini kullanmada yüksek kalite standartlarını karşılayan çok yönlü bir araçtır. Her ikisi de aktif olan, Amerikan Küresel Konumlandırma sistemi (GPS) ve Rus Küresel Konumlandırma Sistemi (GLONASS) tarafından desteklenmektedir (Dach vd., 2007).

Bernese yazılımında veri analizi yapabilmek için öncelikli olarak tamamlanması gereken adımlar mevcuttur; bunların birincisi ve en önemlisi kullanıcının bir kampanya (campaign) oluşturmasıdır. Tüm işlem (process) bu kampanya klasörü altına açılacak olan ve kullanıcının, programı kullanım amacına yönelik olarak oluşturduğu alt klasörler içerisindeki dosyalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu klasörler; atmosfer bilgilerini içeren ATM, istasyon bilgilerini içeren STA, yörünge bilgilerini içeren ORB ve program çıktılarının alındığı OUT gibi

dosyalar. Programın yüklenmesi ile birlikte bazı dosyalar da otomatik olarak yüklenmektedir fakat özellikle yörünge bilgileri, uydu hataları ve saat düzeltmeleri ile ilgili dosyalar Bernese'nin kendi internet sitesi tarafından düzenli olarak güncellenip kullanıcıya sunulmaktadır. Bu nedenle herhangi bir işleme başlamadan önce gerekli olan dosyaların güncel halleri, kullanıcı tarafından internette indirilerek programda ait oldukları klasörlerin içerisine kopyalanmalıdır (Dach vd., 2007).

Yazılımın genel özellikleri, aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- * Tek yada çift frekans verileri, aynı hesaplama adımları ile işlenebilmektedir. İyonosfer modellerinin kullanımı, istasyon koordinatlarındaki iyonosferik sapma etkilerini ve diğer hesaplanan parametreleri minimize etmektedir.
- * Tek başına GPS, GLONASS ve ikisinin kombinasyonu olan GPS/GLONASS alıcılarından gelen verileri işlemek mümkündür.
- * Farklı alıcı türlerinden gelen verilerin kombinasyonu ve işlenmesini, aynı işlem basamakları ile yapmak mümkündür.
- * Uluslar arası girdi (input) ve çıktı (output) formatları desteklenmektedir; LEO ekiyle RINEX, SP3c, SINEX, IONEX, Clock RINEX, Troposphere SINEX, ANTEX, IERS, IERS ERP.
- * UNIX/Linux ve Microsoft-Windows işletim sistemlerinin her ikisi ile de kullanılabilir.

Çalışmamızın bu kısmında, Bernese 5.0 yazılımını kullanarak, 20-31 Ocak 2010 tarihleri arasında veri değerlendirmesi yaparak İstanbul üzerindeki TEC değişim değerlerini elde etmek amacıyla izlenmesi gereken prosedürler incelenmiştir.

Bernese 5.0 yazılımı ile herhangi bir işleme başlamadan önce uygulanması ve takip edilmesi gereken belirli bir prosedür vardır. Öncelikli olarak hangi IGS istasyonları ile çalışılacağı belirlenmelidir, ölçüm yapılacak olan coğrafi bölgeye göre en yakın IGS istasyonlarından faydalanılabilir.

Tek istasyondan alınan sonuçların doğruluğundan emin olmak ve herhangi bir karşılaştırma yapabilmek amacıyla, asıl istasyona yakın bir veya iki istasyondan da ölçüm sonuçlarının alınmasında fayda vardır. Bu amaç doğrultusunda araştırmamız kapsamında ISTN (İstanbul) istasyonu ile birlikte KABR (Karaburun) ve SLEE (Şile) istasyonlarının da değerleri hesaplanmaya çalışılmıştır.

Ölçüm yapılmak istenen güne ait İstasyon koordinatlarını, hız vektörleri değerlerini ve RINEX dosyalarını, Scripps Orbit and Permanent Array Center'in (SOPAC) internet sitesinden günlük ve hassas olarak elde etmek mümkündür [9]. RINEX dosyaları, .O uzantılı "gözlem dosyası" (Observation file) ve .N uzantılı "navigasyon dosyası" (Navigation file) olmak üzere iki ayrı türdedir ve kullanıcı kendi isteği ve amacı doğrultusunda bu formatlardan birini seçerek işleme devam edebilir. Araştırmamız kapsamında gözlem dosyalarından faydalanılmıştır ve anlatılan işlem süreçleri gözlem dosyalarına ait süreçlerdir.

RINEX dosyalarının düzenli olmasına ve kullanıcı tarafından herhangi bir müdahaleye ihtiyaçları olmamasına rağmen, koordinat ve hız dosyaları herhangi bir yazı editörü yardımıyla, kullanıcı tarafından manüel olarak oluşturulmalıdır.

Ölçüm yapılması planlanan noktalar dışında, koordinatlarını sabit olarak kabul ettiğimiz yedi IGS istasyonu daha seçilmiştir. Bu istasyonlar; ISTA (İstanbul), ANKR (Ankara), SOFI (Sofya/Bulgaristan), BUCU (Bükreş/Romanya), CRAO (Simeiz/Ukrayna), NICO (Nicosia [Lefkoşa]/Kıbrıs) ve TUBI (Gebze) olarak belirlenmiştir. Bu istasyonların tamamen keyfi olarak seçilmesinin yanı sıra coğrafi olarak İstanbul'un etrafını sarmış olmaları dikkate alınmıştır. Sabit istasyonların seçilmesindeki amaç, ölçüm yapılması planlanan istasyon koordinatlarının, sabit kabul edilen istasyonlara göre, hız vektörleri vasıtasıyla daha hassas olarak belirleyebilmektir ve bu işlem Bernese yazılımı ile yapılmaktadır. Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus da, İstanbul için iki adet istasyon ismi söz konusudur; ISTA – İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki alıcıyı, ISTN ise İstanbul Kültür Üniversitesi'ndeki alıcıyı simgelemektedir. İstasyon isimlerindeki olası karışıklığa karşı dikkatli olunmalıdır.

Yazılımın kullanım mantığı, çeşitli dosyalar yaratıp, yaratılan bu dosyaların yazılımdaki farklı amaçlar için hazırlanan fasiliteler ile okunmasını sağlamak ve bu şekildeki bir sürecin ardından sonuca ulaşmaktır. Bunun yapılabilmesi, öncelikli olarak yazılımda kullanıcı adının belirlendiği ve isteğe yönelik klasörlerin oluşturulabildiği bir kampanya (yazılımdaki değimiyle "campaign") başlatmak gerekmektedir. Bu konuya ilişkin detaylı bilgi yazılımın orijinal kullanım kılavuzunda bulunabilir (Dach, vd., 2007).

Bernese 5.0 yazılımını kullanarak İyonosferik TEC değişimine yönelik hesap yapılabilmesi için öncelikle, verilerin Bernese formatına aktarılması (RINEX, hız, koordinat, istasyon bilgisi vb dosyalar) gerekmektedir. Menu>RINEX>Import_RINEX_to_Bernese_format>Observation Files sekmesinden bu işlem için faydalanılmalıdır. Dosyalar sorunsuz bir şekilde okutulduktan sonra

.CZO uzantılı “sıfır fark kod ölçü dosyası”, .CZH uzantılı başlık dosyası ile .PZO uzantılı “sıfır fark faz ölçü dosyası” ve .PZH uzantılı başlık dosyaları yaratılır. Böylece yazılıma okutulmuş olan her bir RINEX dosyası için toplam dört ayrı dosya oluşturulmuş olur.

Diğer bir adım ise yörünge dosyalarının oluşturulmasıdır, bunun için ise ölçüm yapılan yılın gününe ait .ERP uzantılı dosya internetten indirilebilir (Dach, vd., 2007). Alınan dosyanın uzantısı, .IEP olacak şekilde değiştirildikten sonra Convert_IERS_to_Bernese_format sekmesi ile tarihe ilişkin, COD\$YD+0.ERP isimli yörünge dosyaları yaratılmış olur.

Sonraki adımda, SPP çözümü, tek fark ölçüleri için dosyaların oluşturulması, faz sıçramalarının belirlenmesi ve kötü ölçülerin işaretlenmesinin ardından oturumdaki koordinat belirlemesine ait son çözümler elde edilir.

Tüm bu işlemlerin ardından kullanıcı, yazılımın İyonosfer modelleri ve TEC kestirimine ilişkin hesaplamaları yapabilmesi için gerekli olan tüm dosyaları oluşturmuş olur.

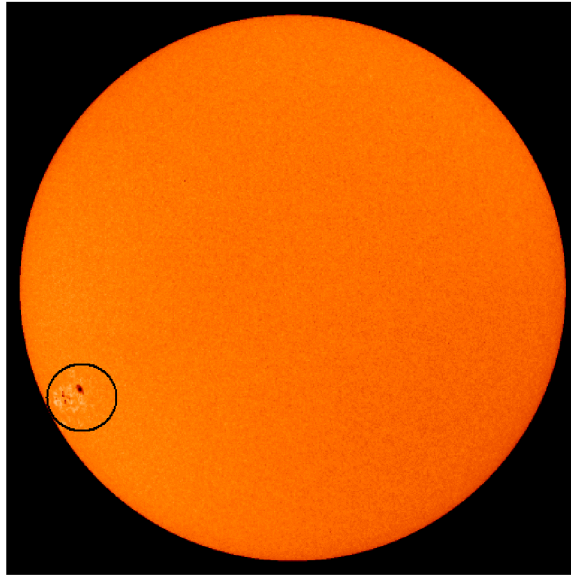
Bernese 5.0 yazılımı kullanıcıya; yerel, bölgesel ve istasyon bazlı olmak üzere üç ayrı İyonosfer modeline göre sonuç alma imkanı sunmaktadır. Bu aşamada yapılacak olan işlemde Kod veya Faz ölçmelerinden faydalanılabilir ve TEC kestirimine yönelik sonuçlara ulaşılabilir (Dach, vd., 2007).

Bu sürece ilişkin çalışmalarımız halen devam etmektedir.

8. IONOLAB ve IRI 2007 İLE ELDE EDİLEN TEC GRAFİKLERİ

Çalışmamızın bu kısmında İstanbul (ISTA), Ankara (ANKR) ve Tübitak (TUBI) istasyonlarından alınan veriler için ayrı ayrı TEC değişimini inceledik. Bu incelemede iyonosonda dataalarını kullanarak hesaplama yapan IRI 2007 yazılımından ve GPS verilerini kullanarak düzgünleştirilmiş toplam elektron içeriği (D-TEİ) kestirimi elde edilebilen Ionolab-TEİ metodundan faydalandık ([1], [6], [8]).

Bu TEC hesaplarında 24. Güneş çevrimindeki zaman dilimini kullandık, bu çevrimin ilk lekesi 4 Ocak 2008 tarihinde gözlenmiştir. Hesaplamamızda 20-31 Ocak 2010 tarihleri arasındaki Ne İyonosferik elektron yoğunluğu değişimi ve TEC değişim grafiklerini elde ettik. Bu tarih aralığı sözü edilen 24. Güneş çevriminin çıkış kolundaki bir sürece karşılık gelmektedir. 19 ve 20 Ocak 2010 tarihlerinde Güneş'te hiçbir etkinlik gözlenmezken 21 Ocak 2010 tarihinde Güneş'in uzak kenarında 1041 numaralı Güneş lekesi belirmiştir, şekil (8.1). Bu Güneş lekesi çok güçlü flare ler oluşturmamakla beraber Güneş'i bir taraftan diğer tarafa kadar kat etmektedir [7].

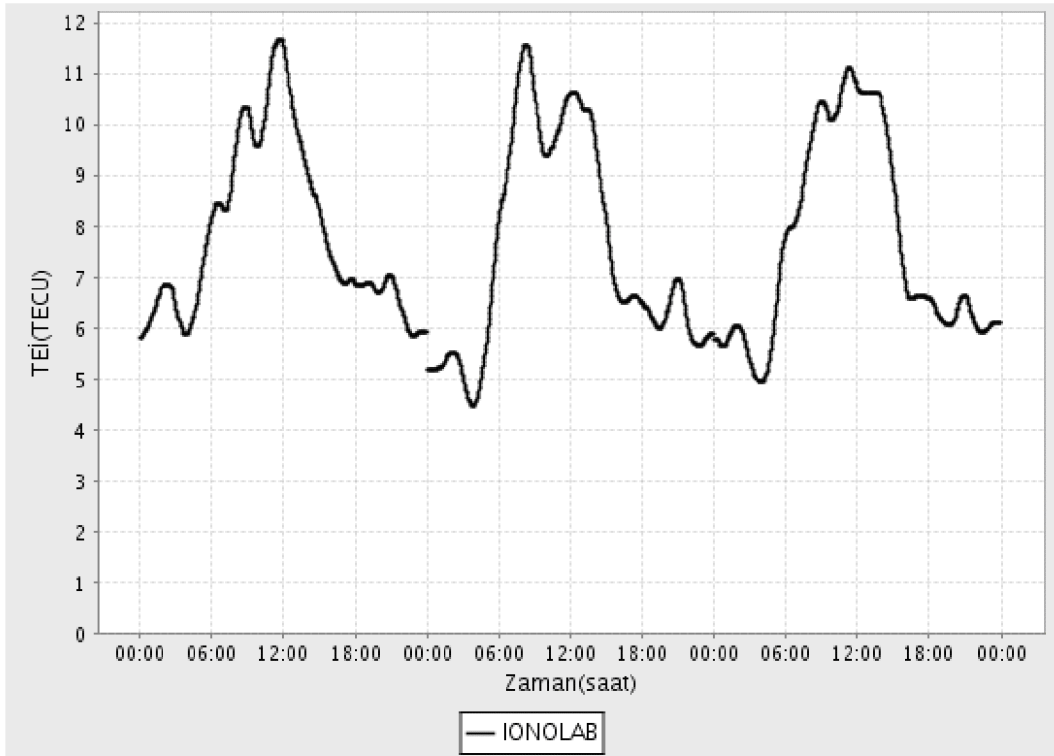


Şekil 8.1 1041 numaralı Güneş lekesinin 22 Ocak 2010 tarihinde Güneş üzerindeki konumu (siyah halka içerisinde) [7].

8.1 Ionolab İle Elde Edilen TEC Değişimi Grafikleri

Aşağıda, 20 - 31 Ocak 2010 tarihleri arasında İstanbul için tek istasyon (ISTA) kullanılarak yapılan TEC kestirimlerinin grafikleri görülmektedir. Grafiklerin tamamı saat bazında ölçümleri gösterdiğinden TEC miktarındaki değişimlerin öncelikli sebebi günü saatlerine bağlı olarak İyonosfer'deki iyonlaşma miktarındaki değişimdir.

Alicı yanılığı İONOLAB tarafından hesaplanmıştır.

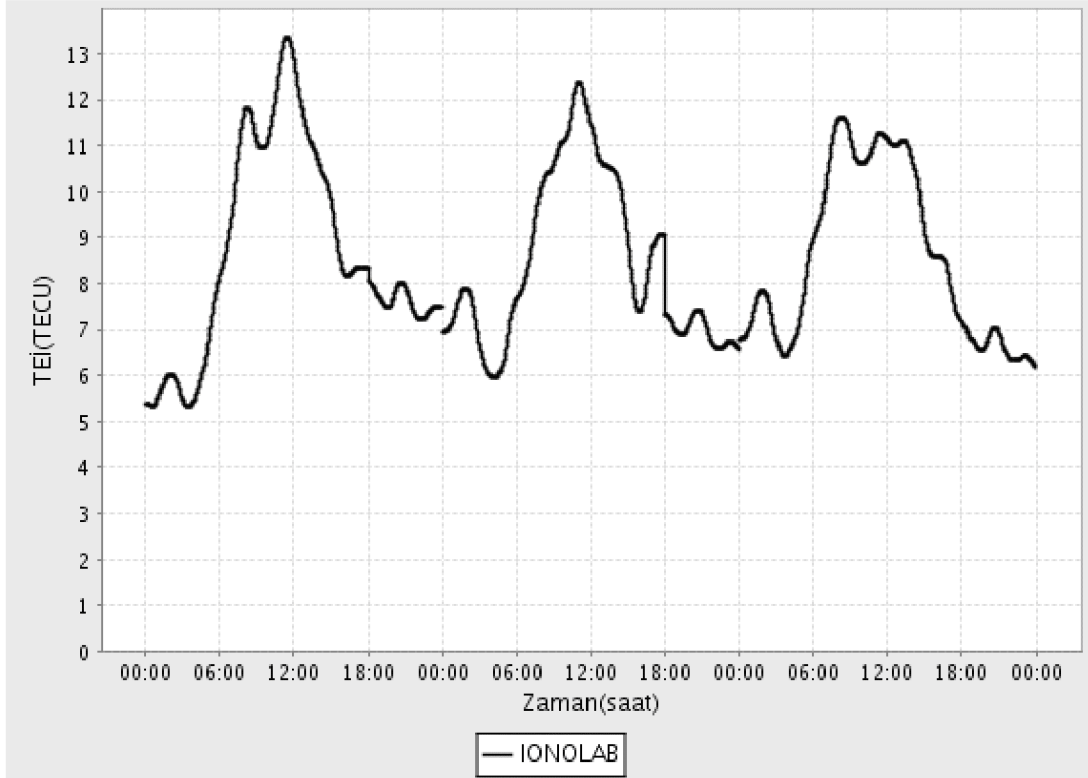


Şekil 8.2 20-21-22 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.

Şekil 8.2'de, 20 Ocak 2010 tarihinde İstanbul üzerindeki TEC değişimine bakıldığında saat 12:00 civarında, yaklaşık 12 TECU olduğu görülmektedir, takip eden iki gün içerisindeki maksimum TEC değerleri, ufak azalmalar göstermektedir. 21 Ocak'ta öğlen saatine doğru TEC miktarı

artmış fakat saat 12:00 – 18:00 saatleri arasında önce düşüş ardından yükseliş göstermiş ve ilerleyen saatlerde ise anormal bir davranış sergilememiştir.

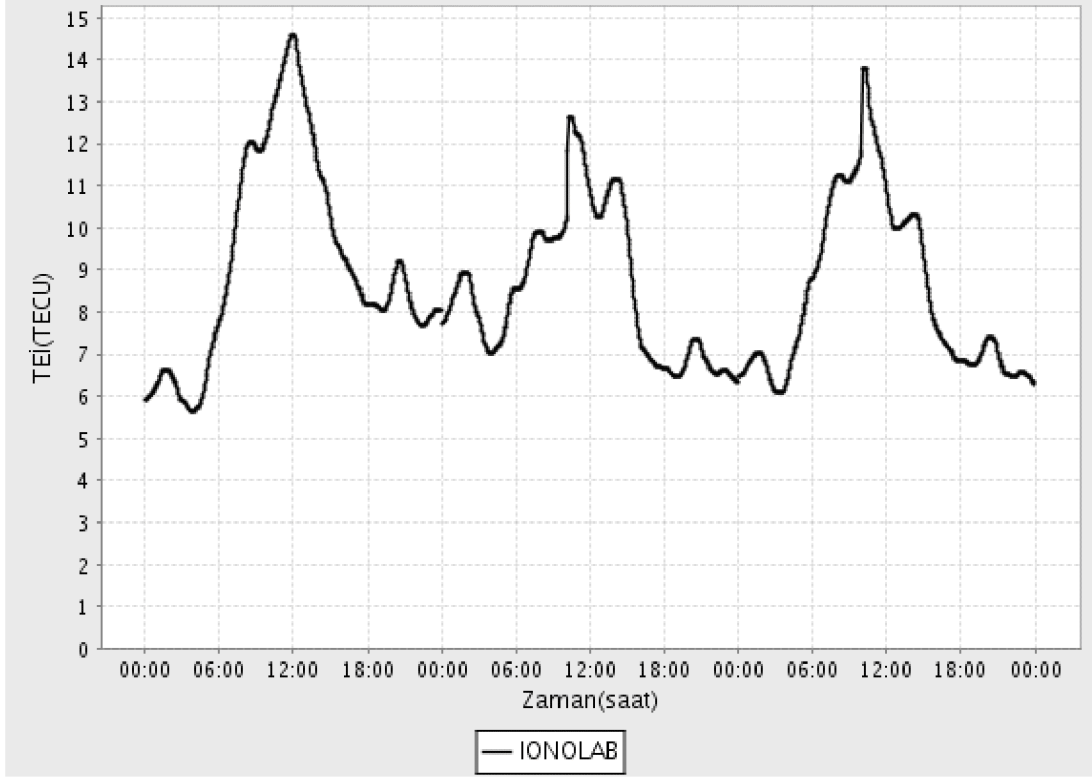
Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.3 23-24-25 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.

Şekil 8.3'de 23-24 ve 25 Ocak 2010 tarihinde İstanbul'daki TEC değişim grafiği gösterilmektedir. 23 Ocak 2010 tarihinde öğlen saatindeki TEC miktarının ani bir yükseliş gösterdiği ve 13 TECU'nun üzerine çıktığı görülmektedir. 24 Ocak'ta maksimum TEC değeri düşüşe geçmiştir fakat bu düşüş, saat 18:00 civarında yerini ani bir yükselişe bırakmıştır. 25 Ocak tarihinde ise maksimum TEC miktarı 12 TECU kadardır ve yaklaşık 6 saat boyunca TEC miktarında fazla bir değişim görülmemektedir.

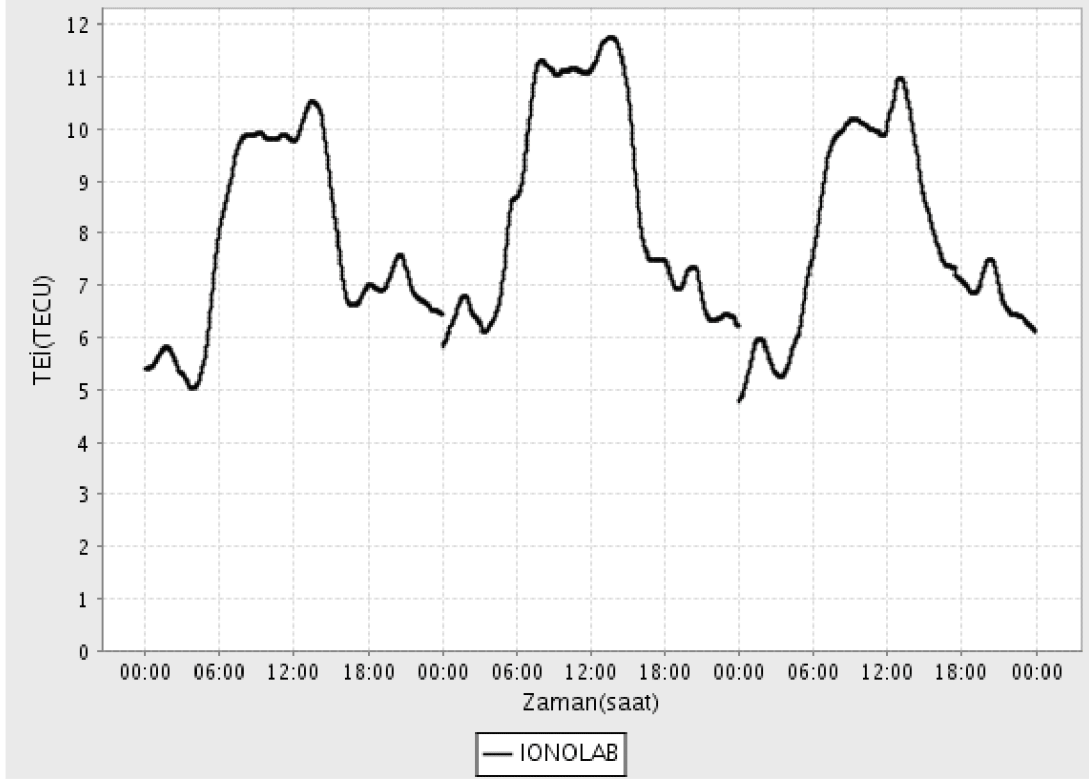
Alıcı yanlılığı İONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.4 26-27-28 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.

26 Ocak tarihinde, saat 12:00 civarında TEC değeri ay içerisindeki maksimum değerine ulaşmıştır, şekil (8.4). 15 TECU'ya yaklaşan bu değer, Güneş aktivitesinin İyonosfer'deki etkisi olduğu söylenebilir. Takip eden iki gün boyunca TEC değeri düşüş göstermiş olmasına rağmen diğer günlere oranla TEC değeri fazladır.

Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.

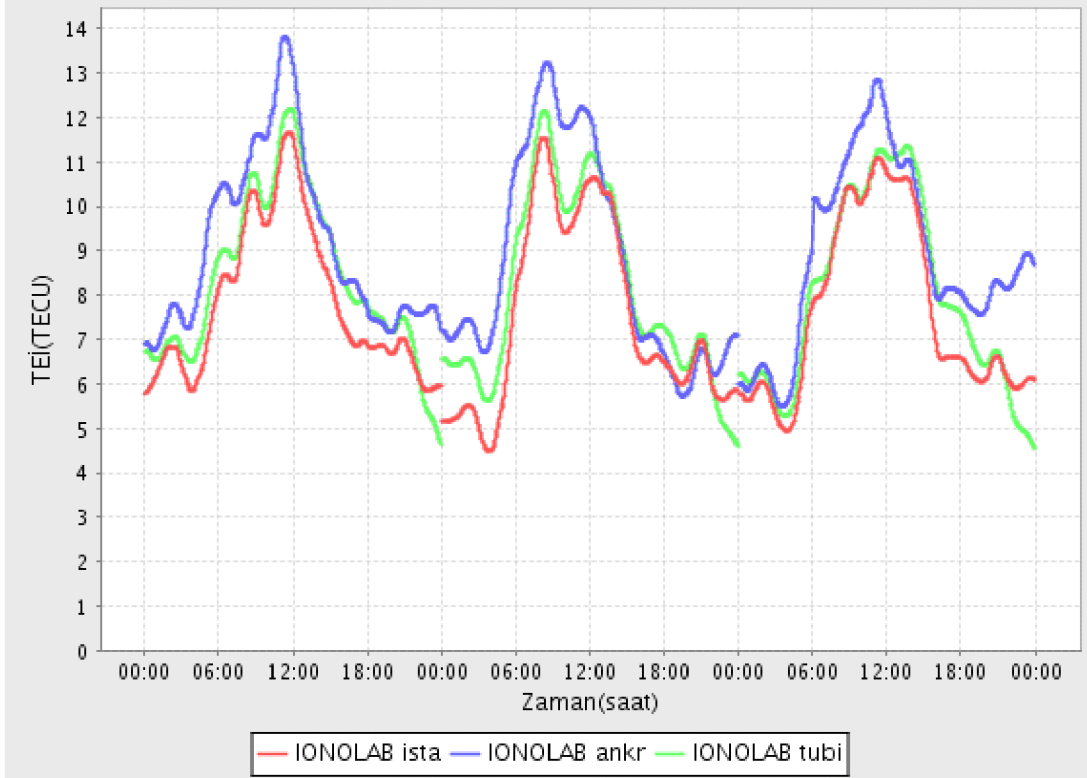


Şekil 8.5 29-30-31 Ocak 2010 tarihlerinde İstanbul üzerindeki TEC değerleri.

Şekil 8.5 incelendiğinde, 29-31 Ocak tarihlerinde 3 gün boyunca, TEC değerinde ani değişimler olmadığı görülmektedir. Bu tarihler arasında gün ortasındaki TEC değerlerinin daha kararlı olarak değişimi bize, Güneş aktivitelerinin etkisinin azaldığını göstermektedir.

Şekil 8.6, 8.7, 8.8 ve 8.9'da, İstanbul-ISTA, Ankara-IONOLAB ve Gebze, TUBI istasyonlarından elde edilen TEC değişim değerleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

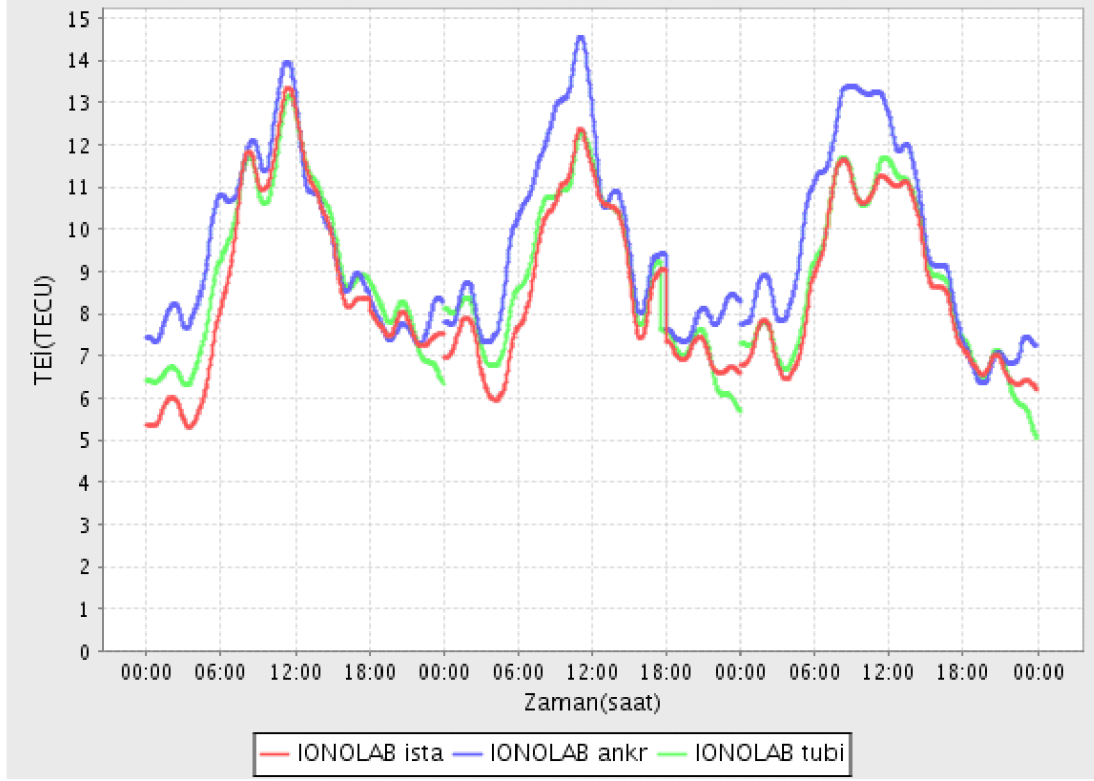
Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.6 20-21-22 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 8.6'da, 20 - 22 Ocak tarihleri arasında İstanbul, Gebze ve Ankara için ölçülen TEC değerleri arasında tutarlı değişimler olduğu görülmektedir. Maksimum TEC değerleri sırasıyla Ankara, Gebze ve İstanbul olarak sıralanmaktadır. Üç şehir için TEC değerleri aynı olmamakla birlikte, grafiklerden görüldüğü gibi gün içindeki değişimleri benzerdir.

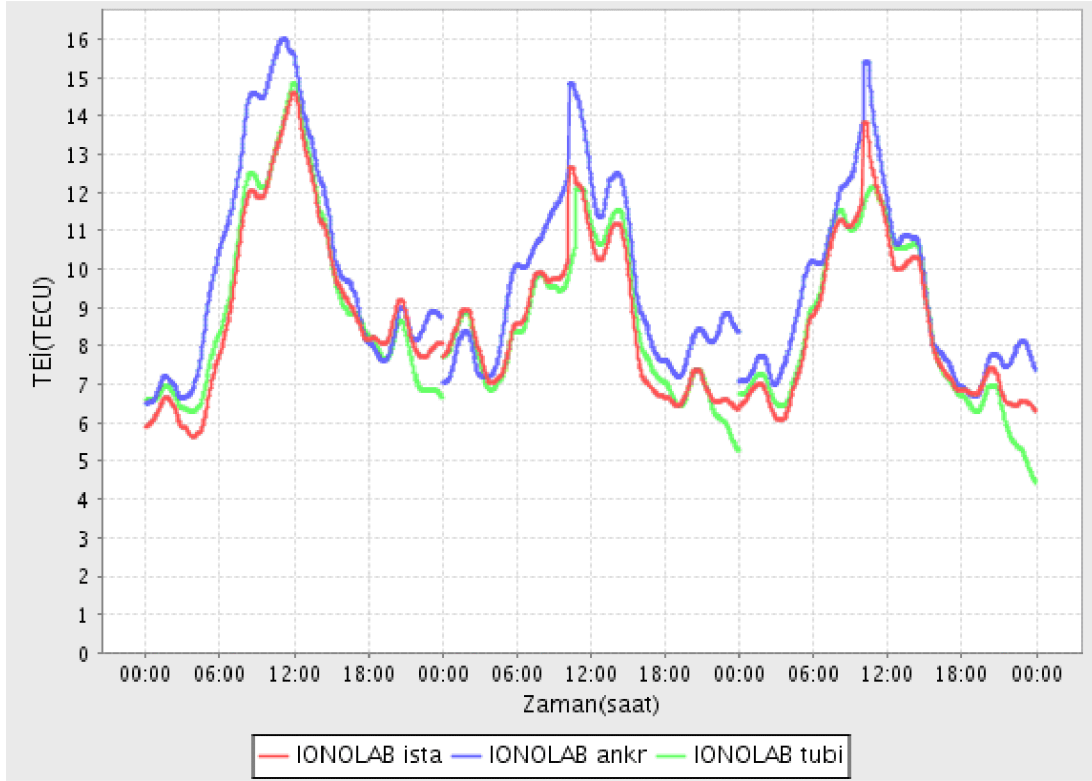
Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.7 23-24-25 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 8.7 incelendiğinde ise 23 Ocak'ta üç şehir için de TEC değerleri neredeyse aynı olduğu görülmektedir fakat 24 ve 25 Ocak'ta Ankara'daki TEC değerinin, İstanbul ve Gebze'den farklı olarak ani biçimde yükseldiği gözlenmektedir. 24 Ocak'ta maksimum fark yaklaşık 2 TECU kadardır. 25 Ocak'ta ise, tüm şehirlerde TEC değeri düşüş göstermesine rağmen maksimum fark değişmemiştir. Fakat bu değişim farkları çok büyük değerleri göstermemektedir.

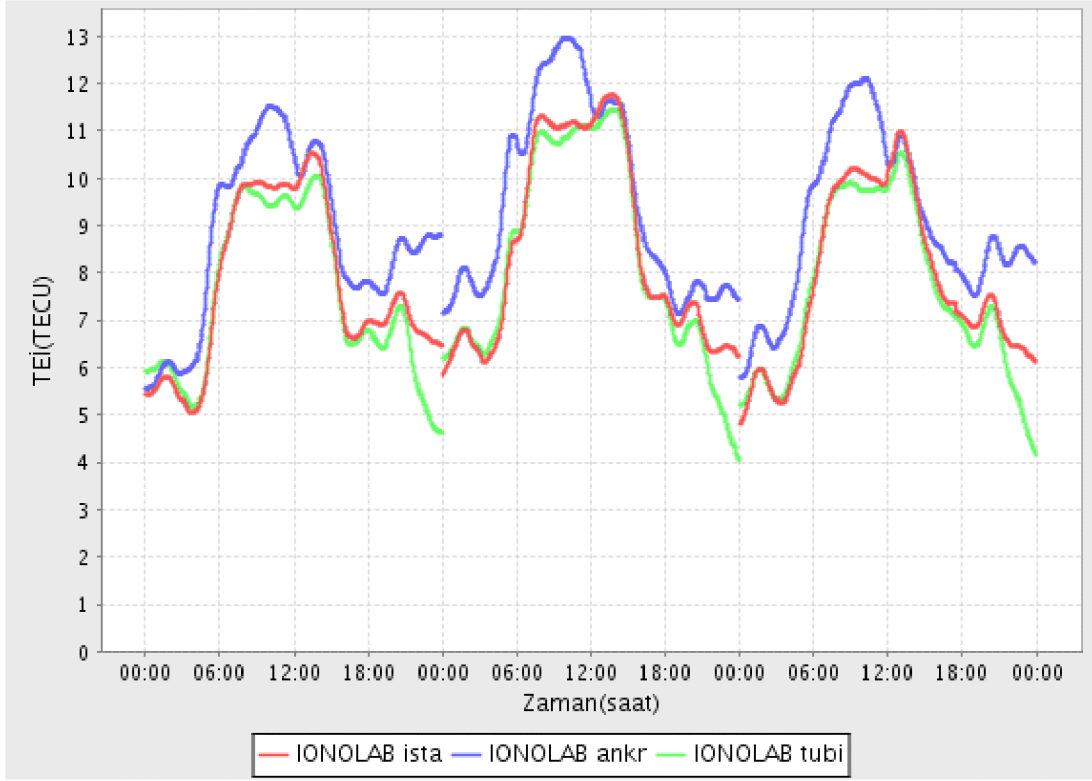
Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.8 26-27-28 Ocak 2010 tarihinde ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.

Şekil 8.8'de, 26 Ocak'ta TEC değerleri maksimuma ulaşmıştır ve saat 12:00 civarında üç şehir için neredeyse aynı olduğu görülmüştür. 27 Ocak'ta gün ortasına doğru İstanbul için ölçülen TEC değeri, Gebze'nin üzerine çıkmıştır ve 28 Ocak boyunca bu durum devam etmektedir.

Alıcı yanlılığı IONOLAB tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 8.9 29-30-31 Ocak 2010 tarihinde ANKR, İSTA ve TUBI istasyonlarından alınan TEC değerlerinin karşılaştırması.

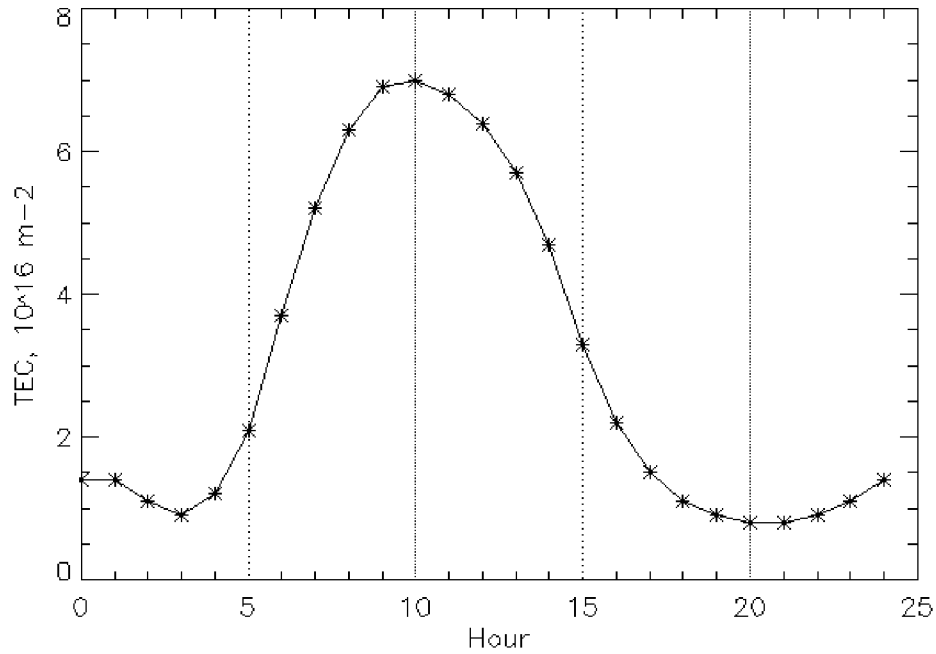
Şekil 8.9 incelendiğinde, 29 – 31 Ocak tarihleri arasında ölçülen TEC değişim değerleri Ankara’da, İstanbul ve Gebze’nin üzerindedir. İstanbul ve Gebze arasındaki fark giderek kapanmıştır fakat gün içindeki değişimlerin Ankara’dan farklı olarak daha kararlı olduğu görülmektedir. Ankara’daki değişim ise daha ani ve keskin pikler oluşmasına sebep olmuştur.

8.2 IRI 2007 İle Elde Edilen TEC Değişimi Grafikleri

Aşağıdaki şekillerde, 19-31 Ocak 2010 tarihinde ISTN, ANKR ve TUBI istasyon koordinatları kullanılarak IRI 2007 ile elde edilen ölçümlere ait grafikler gösterilmiştir. Ionolab yazılımından farklı olarak IRI 2007, GPS verileri yerine iyonogram parametrelerini kullandığından dolayı, grafiklerin elde edilebilmesi için istasyonlara ait hassas koordinat bilgilerine ihtiyaç duyulmuştur

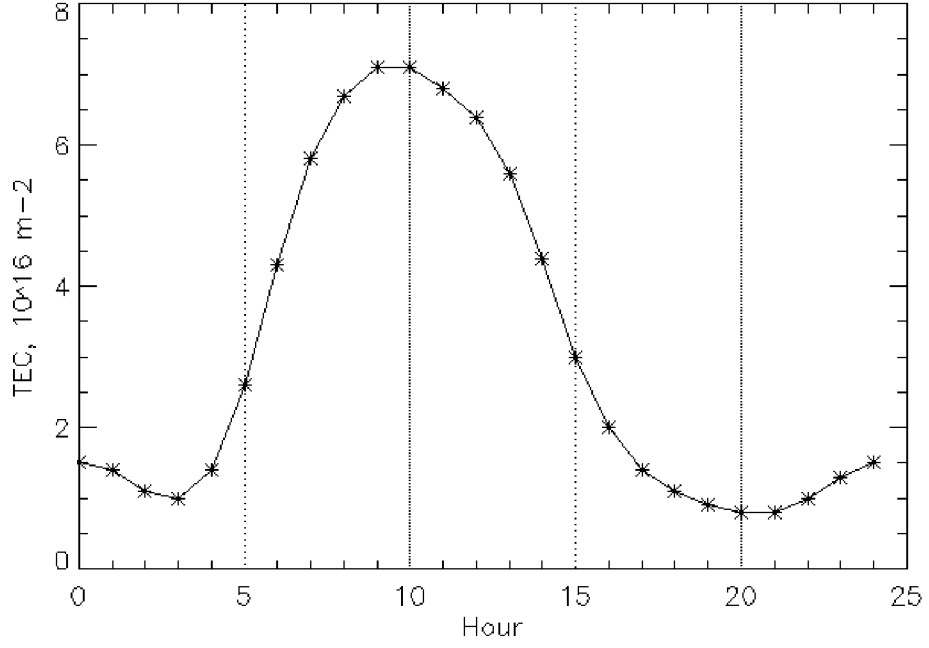
[6, 8]. Koordinat değerleri, Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) tarafından, yeryüzü hareketleri de göz önünde bulundurularak hesaplanmakta ve internet sitesinden güncel olarak elde edilebilmektedir [9]. Data analizinde kullanılan veri türünün farklılığından dolayı tüm günlere ait grafikler yerine, karşılaştırma amacıyla seçilen belirli günlere ait grafiklere yer verilmiştir. Aynı istasyonlardan alınan ve tüm günlere ait olan grafikler incelendiğinde birbirleri arasında tutarlılık olduğu gözlenmiştir.

Şekil 8.10'da 25 Ocak 2010 tarihi için ISTN istasyon koordinatları kullanılarak elde edilen 24 saatlik TEC değişim grafiği gösterilmiştir. TEC, değişimi sabah saat 10:00'da maksimum seviyededir.



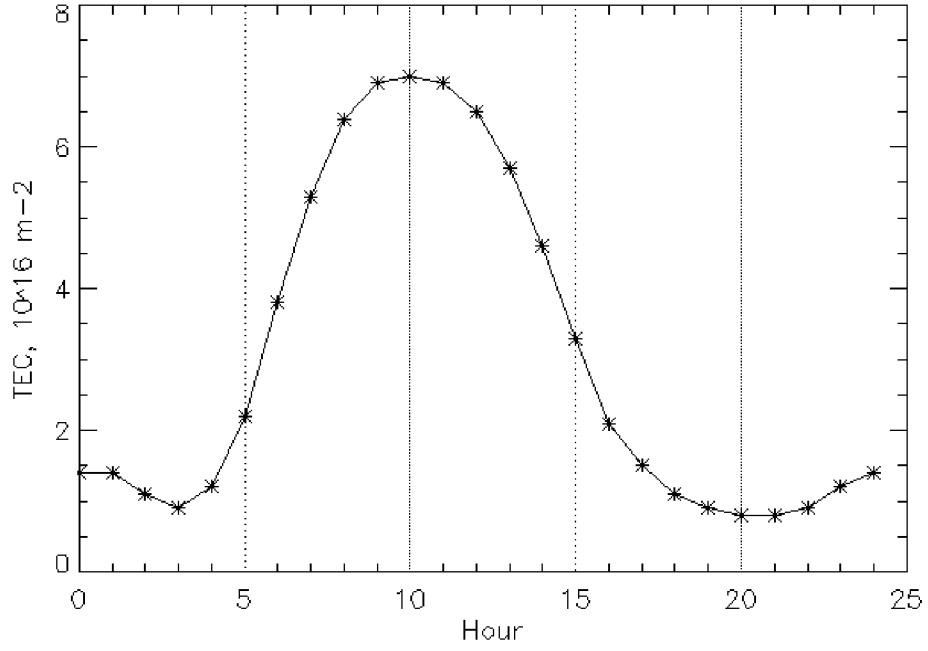
Şekil 8.10 ISTN istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 41.10444802 ve boylam: 29.01934175

Şekil 8.11 incelendiğinde 25 Ocak 2010 tarihi için ANKR istasyon koordinatları kullanılarak oluşturulan TEC değişim grafiğinin 24 saatlik ölçüm değerleri gösterilmiştir. TEC değerinin, sabah saat 09:00 ve 10:00 arasında bir saat süre ile maksimum değerinde sabit kaldığı görülmektedir.



Şekil 8.11 ANKR istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 39.88737168 ve boylam: 32.75846992

Şekil 8.12'de ise 25 Ocak 2010 tarihi için TUBI istasyonundan alınan değerlere ait 24 saatlik TEC değişim grafiği gösterilmiştir. TEC, değişimi sabah saat 09:00 ve 11:00 arasında maksimum seviyededir.



Şekil 8.12 TUBI istasyonundan elde edilen TEC değişim grafiği. Koordinatlar, enlem: 40.78672546 ve boylam: 29.45068468

19-31 Ocak 2010 tarihleri arasında faaliyet gösteren 1041 nolu Güneş lekesinin, atmosferdeki TEC değişimini büyük ölçüde etkilemediği, grafiklerdeki tutarlılığa bakılarak anlaşılabilmektedir. Güneş'in sakin bir evrede olduğu bilindiğinden, bu durum önceki tahminlerimizle de çelişmemektedir.

9. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Dünya yörüngesinde yaklaşık 20200 km yükseklikte konumlanmış GPS uyduları yeryüzündeki alıcı ve istasyonlara sürekli olarak veri ulaştırmaktadır. Gönderilen bu veri, uydulardan yayınlanan belirli frekanslardaki sinyaller üzerinden elde edilmektedir. Uydudan yayınlanan sinyaller atmosfere girdiğinde, alıcıya ulaşabilmesi için önce İyonosfer ardından da Troposfer tabakasından geçmektedir. İyonosfer'in yapısı karmaşık olmakla birlikte, koronal kütle atımı gibi Güneş aktiviteleri, enlem, mevsim, günün saati gibi birçok etken tarafından da büyük ölçüde etkilenmektedir. İyonosfer'deki TEC değerinin değişmesine sebep olan bu etkiler, uydulardan gelen sinyalleri büyük ölçüde etkilemektedir. Doğru ve hassas konum belirlemesi için, İyonosfer'in doğru şekilde modellenmesi ve anlaşılması büyük önem taşımaktadır. İyonosfer araştırmalarında, iyonosonda ve iyonogram parametrelerinden faydalandığı gibi, gerçek İyonosfer verilerinin olmadığı durumlarda GPS uydularından yayınlanan sinyaller aracılığıyla İyonosferik parametreleri elde etmek de mümkün olmaktadır. Bu yöntem çok daha ucuz ve kullanışlı olduğu için tercih edilmektedir. Biz de bu tez çalışmamızda GPS verilerinden faydalanarak TEC değişimini nasıl belirleyebileceğimizi araştırdık.

İyonosfer araştırmalarında Ne elektron yoğunluğu ve TEC değişiminin belirlenmesi amacıyla çeşitli üniversiteler ve araştırma merkezleri tarafından hazırlanan akademik veya ticari yazılımlardan faydalanılabilir. Bernese ve Gamit, bu yazılımların önde gelenlerindedir. Çalışmamız kapsamında, Bernese 5.0 yazılımı ile TEC değerini elde etmeye çalışırken karşılaştığımız bazı teknik aksaklıklardan dolayı Bernese yazılımı ile TEC hesabı çalışmalarımız halen devam etmektedir.

Tez çalışmamızda atmosfer ve doğal bir plazma olan İyonosfer'deki elektromanyetik dalganın davranışı üzerinde durulmuştur ve GPS sinyalleri ile TEC değişiminin hesaplanma yöntemlerine yönelik detaylı bilgi verilmiştir. Farklı İyonosfer modellerinden söz edilerek bir karşılaştırması yapılmıştır. Teorik verilerin ışığında, 20-31 Ocak 2010 tarihleri arasında Güneş'te 1041 numaralı leke aktif iken, TEC değişimi grafikleri, ANKR, ISTA ve TUBI istasyonlarından alınan veriler ile iyonogram verilerini kullanarak hesaplama yapabilen IRI 2007 ve GPS sinyallerinden faydalanarak hesaplama yapan Ionolab yazılımları kullanılarak elde edilmiş ve aralarında karşılaştırma yapılarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçların karşılaştırılması neticesinde literatürde de belirlediğimiz gibi bu iki sonucun birbirleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

İyonosfer'in bir modellemesini yapabilmek için bu çalışmada yaptığımız gibi Güneş'in sadece sakin olduğu günleri değil, Güneş'te ortaya çıkabilecek pek çok etkinliği de dikkate alarak TEC değişiminin belirlenmesi gerekecektir.

KAYNAKÇA

Appleton, E. V., ve Barnett, M. A. F. (1925), “On Some Direct Evidence For Downward Atmospheric Reflections Of Electric Waves”, in Proceedings of Royal Society, London, A109:621

Arıkan, F., C.B. Erol ve O. Arıkan, (2004), “İstenen Periyot için Düzgünleştirilmiş TEC Kestirimi”, URSI-TÜRKİYE 2004 İkinci Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 393-395, Eylül 2004

Ataç, T. ve A. Özgüç., (2002) “23. Güneş Çevrimi Çıkış Kolunda Güneş Etkinliği İndekslerinin önemli Değişimleri”, XIII. Ulusal Astronomi Toplantısı., 2-6 Eylül 2002 TUG, Antalya.

Baykal, O.,E. Tarı. (2007) “Kuzey Anadolu fay’ının Batı Marmara bölümünün kinematığının GPS ölçmeleri ile belirlenmesi”, Tübitak Çaydağ 103Y033.

Bent, R. B., S. Llewellyn, and M. Walloch., (1972), Description and Evaluation of the Bent Ionospheric Model, AD 753081, Nat. Tech. Inf. Serv., Springfield , Va.

Bilitza, D., (1990), “Empirical Modeling of Ion Composition in The Middle and Topside Ionosphere”, Advances in Space Resarch, Issue 11, 10:47-56

Bilitza, D.,(2001) “International Reference Ionosphere 2000”, Radio Science, Vol. 36(2):261-275

Breit, G. ve M. A. Tuve (1926), “ A Test of the Existence of the Conducting Layer”, Phys. Rev. 28: 554-575

C.B. Erol ve F. Arıkan, 'GPS Sinyalleri ile İyonosferin İstatistiksel Özelliklerinin Belirlenmesi', URSI-T ÜRKİYE 2004 İkinci Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 390-392, Eylül 2004.

Camargo, P. de O., “Quality Of TEC Estimated With Mod_Ion Using GPS And GLONASS Data”, Mathematical Problems in Engineering, Vol. (2009), 2009

Can, Z. ve O. Gümrükçü (2009), “İyonosfer ile GPS Sinyallerinin Etkileşimi”, İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Sayı 15: 69-77

Chapman, S., (1930), “The Absorbtion And Dissociative or İonizing Effect Of Monochromatic Radiation In An Atmosphere On A Rotating Earth”, Proc. Phys. Soc., 43:26

Coisson, P., S. M. Radicella, R. Leitinger ve B. Nava., (2006) “Topside Electron Density in IRI and NeQuick: Features and Limitations”, Advances in Space Resarch 37, pp. 937-942

Dach R., Hugentobler U., Fridez P. ve Meindl M., (2007), Bernese GPS Software Version 5.0 User Manual

- Davies, K. (1965), *Ionospheric Radio Propagation*, Central Radio Propagation Laboratory, Washington, 1965
- Davies, K., "Ionospheric Radio Waves", Colorado, 1968
- F. Arıkan, C.B. Erol ve O. Arıkan, (2004), "İstenen Periyot için Düzgünleştirilmiş TEC Kestirimi", URSI-TÜRKİYE 2004 İkinci Ulusal Kongresi, Bilkent Üniversitesi, Ankara, 393-395, Eylül 2004.
- Georgiadou, Y., ve A. Kleusberg, (1988) "On the Effect of Ionospheric Delay on Geodetic Relative GPS Positioning", *Manuscripta Geodetica.*, 13:1-8.
- Gümrükçü, O, (2009) *GPS Sinyalleri İle Konum Belirlemede İyonosferik Etkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*
- Güven, P. ve C. B. Erol, (2001)" İyonosferdeki Toplam Elektron Miktarının GPS Sinyalleri ile Belirlenmesi"
- Hajj, G. A., Ibanez-Meier, E. R.Kursinski, ve L. J. Romans, (1994) "Imaging the Ionosphere with Global Positioning System", *Int. J. Imaging Syst. Technol.*, 5,174-184
- Ho, C. M., A. J. Manucci, U. J. Lindqwister, ve B. T. Tsurutani, (1996) "Global Ionospheric Perturbations Monitored by the Worldwide GPS Network", *Geophys. Res. Lett.*, 23,3219- 3222
- Hochegger, G., B. Nava, S. Radicella ve R. Leitiger, (1999) "A Family of Ionospheric Models for Different Uses", *Phys. Chem. Earth*, 25(4):307-310
- Hofmann, B., H. Lichtenegger ve J. Collins, (2001) *GPS Theory and Practice*, Fifth revised edition, Springer-Wien, Newyork
- Kahveci M. ve F. Yıldız, (2007), *Global Konum Belirleme Sistemi-Teori ve Uygulama*, 3'üncü Baskı – Nobel Yayın.
- Leick A., (1990) *GPS Satellite Surveying*, New York
- Memarzadeh, Y., (2009), "Ionospheric Modeling for Precise GNSS, Applications"., *Publications on Geodesy 71.*, NCG., Delft.
- Nava, B. P. Coisson, G. M. Amarante, F. Azpilicueta ve S. Radicella, (2005), "A Model Assisted Ionospheric Electron Density Reconstruction Method Based On Vertical TEC Data İngestion" *Annals of Geophysics*, 48(2)
- Nayir, H., (2007), "Küresel Konumlama Sistemi İşaretleri Kullanarak İyonosferik Toplam Elektron İçeriği Kestirimi". *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara*
- Radicella, S. M. ve Man-Lian Zhang, (1995) "The Improved DGR Analytical Model of Electron Density Height Profile and Total Electron Content in The Ionosphere", *ANNALI DI GEOFISICA*, Vol. XXXVIII(1)

Radicella, S. M., ve R. Leitinger, (2001), “ The Evolution Of The DGR Approach To Model Electron Density Profiles”, *Adv. Space. Res.* 27 (1), 34-40

Rawer, K., (1983) “Replacement of the Present Sub-peak Plasma Density Profile by a Unique Expression”, *Adv Space. Res.* 2, 183

Seeber, G. (2003), *Satellite Geodesy*, 2nd Edition, de Gruyter

Smith-Rose R. L. ve Barfield R. H., (1927), “Further Measurements On Wireless Waves Recieved From The Upper Atmosphere”, in *Proceeding of Royal Society, London*, A116:682

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

Wilson, B. D. ve A. J. Manucci, (1993) “Instrumental Biases in Ionospheric Measurements Derived from GPS Data”, *Proceedings of ION GPS-93*, pp.1343-1351, *Ins. of Navig.*, Alexandria, Va.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.ionolab.org/
- [2] <http://ursiweb.intec.ugent.be/Proceedings/ProcGA02/papers/p1480.pdf>
- [3] <http://rp.iszf.irk.ru/hawk/URSI2002/rsreview/28.pdf>
- [4] <http://www.solarcycle24.com>
- [5] <http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt>
- [6] http://omniweb.gsfc.nasa.gov/vitmo/iri_vitmo.html
- [7] <http://www.spaceweather.com/>
- [8] <http://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/ionos/iri.html>
- [9] <http://sopac.ucsd.edu/>

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	27.05.1983	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1997 – 2001	Boğaziçi Behçet Kemal Çağlar Süper Lisesi
Lisans	2001 – 2006	Trakya Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü
Yüksek Lisans	2007 – 2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Fizik Programı

Katıldığı proje

Proje Adı: “CORS-TR Sistemi ile Bölgesel İyonosfer Modellemesi ve Yerkabuğu Hareketlerinin İncelenmesi.” İstanbul Kültür Üniversitesi, Geomatik Uygulama Araştırma Merkezi, 2010

Görevi: Araştırmacı

Yayımlar

O. ÜNVER and Z. CAN, “Determination Of Total Electron Content Through GPS Signals”, Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi, Sözlü bildiri. İstanbul-2010

C. AKPAÇA., K. BOZKURT, **O. ÜNVER** ,Z. CAN, O. OĞUZ and K. KUTLU, “Eartquakes-Ionospeheric Model Derived From GPS-TEC Measurements”, Türk Fizik Derneği 27. Uluslararası Fizik Kongresi, Sözlü bildiri. İstanbul-2010